



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

ESTUDO DE CARACTERÍSTICAS DE EXPLOSÕES SOLARES E DE SEUS EFEITOS NA TERRA

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

PROCESSO: CNPq N° 111755/2008-5

Aline Seeger Santos – Bolsista PIBIC/INPE – CNPq/MCT
Laboratório de Clima Espacial e Previsão de Tempestades Magnéticas
LCEPTM/CRS/INPE – MCT
Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais
CRS/INPE – MCT
E-mail: alineseeger@lacesm.ufsm.br

Tardelli Ronan Coelho Stekel - Bolsista Substituído
Laboratório de Eletrônica
LE/CRS/INPE – MCT
E-mail: tardelli@lacesm.ufsm.br

Dr. Ezequiel Echer - Orientador
Divisão de Geofísica
DGE/CEA/INPE – MCT
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
INPE - MCT
E-mail: eecher@dge.inpe.br

Santa Maria, Julho de 2009



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

PROJETO

**ESTUDO DE CARACTERÍSTICAS DE EXPLOSÕES SOLARES
E DE SEUS EFEITOS NA TERRA**

Processo: CNPq N° **111755/2008-5**

Relatório elaborado em conjunto pela bolsista com o aluno substituído:

Aline Seeger - Bolsista PIBIC/INPE – CNPq/MCT

E-mail: alineseeger@lacesm.ufsm.br

Tardelli Ronan Coelho Stekel – Bolsista Substituído

E-mail: tardelli@lacesm.ufsm.br

Dr. Ezequiel Echer – Orientador

Divisão de Geofísica Espacial – DGE/CEA/INPE – MCT

E-mail: eecher@dge.inpe.br

Dr. Nelson Jorge Schuch - Co-Orientador

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

E-mail: njschuch@lacesm.ufsm.br

Nivaor Rodolfo Rigozo - Co-Orientador

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

E-mail: rigozo@lcesm.ufsm.br



DADOS DE IDENTIFICAÇÃO

Título do projeto:

ESTUDO DE CARACTERÍSTICAS DE EXPLOSÕES SOLARES E DE SEUS EFEITOS NA TERRA

Processo: CNPq N° 111755/2008-5

Aluno Bolsista no período de Abril/2009 a Julho/2009:

Aline Seeger Santos

Curso de Física – Bacharelado

Centro de Ciências Naturais e Exatas – CCNE/UFSM

Universidade Federal de Santa Maria – UFSM

Orientador:

Dr. Ezequiel Echer

Divisão de Geofísica Espacial – DGE/CEA/INPE – MCT

Co-orientadores:

Dr. Nelson Jorge Schuch

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

Dr. Nivaor Rodolfo Rigozo

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

Colaboradores/:

Dr. Kazuoki Munakata

Physics Department, Faculty of Science, Shinshu University - Japan

Dr. John W. Bieber

Bartol Research Institute, University of Delaware - EUA

Dr. Takao Kuwabara

Bartol Research Institute, University of Delaware (BARTOL/UDEL), Newark (DE), USA



Marlos Rockenbach da Silva

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE/MCT

Carlos Roberto Braga

Mestrando - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE/MCT

Marcos Vinicius Silveira

Mestrando - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE/MCT

Tardelli Ronan Coelho Stekel

Acadêmico do curso de Engenharia Elétrica

Lucas Ramos Vieira

Acadêmico do curso de Física – Bacharelado

José Fernando Thuorst

Acadêmico de curso de Física – Bacharelado

Nikolas Kemmerich

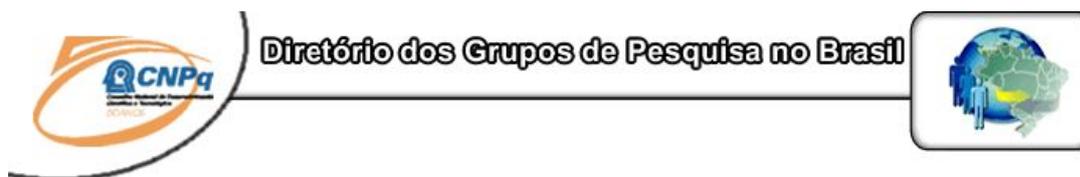
Acadêmico de curso de Física – Bacharelado

Local de Trabalho/Execução do Projeto:

Laboratório de Clima Espacial e Previsão de Tempestades Magnéticas – LCEPTM/CRS/INPE-MCT, em Santa Maria, RS.

Observatório Espacial do Sul – OES/CRS/INPE – MCT (29.4°S, 53.8° W, 480 m acima do nível do mar), São Martinho da Serra, RS.

Trabalho desenvolvido no âmbito da parceria INPE/MCT – UFSM, através do Laboratório de Clima Espacial e Previsão de Tempestades Magnéticas - LCEPTM/CRS/INPE - MCT com o Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria - LACESM/CT - UFSM.



Estudante
Aline Seeger Santos



[Link para
Currículo Lattes](#)

Dados gerais

Indicadores de produção C, T & A

Dados gerais

Identificação do estudante

Nome: Aline Seeger Santos

Nível de treinamento: Graduação

Currículo Lattes: 10/06/2009 15:06

E-mail: alineseegeer@lacesm.ufsm.br

Homepage:

Grupos de pesquisa que atua na instituição

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

Linhas de pesquisa que atua

[MAGNETOSFERAS x GEOMAGNETISMO](#)

[MEIO INTERPLANETÁRIO - CLIMA ESPACIAL](#)

Orientadores participantes de grupos de pesquisa na instituição

[Ezequiel Echer](#)

Indicadores de produção C, T & A dos anos de 2006 a 2009

Tipo de produção	2006	2007	2008	2009
Produção bibliográfica	0	0	0	0
Produção técnica	0	0	0	0
Orientação concluída	0	0	0	0
Produção artística/cultural e demais trabalhos	0	0	0	0



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



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

Identificação**Dados básicos**

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

Status do grupo: **certificado pela instituição**

Ano de formação: 1996

Data da última atualização: 23/06/2009 11:43

Líder(es) do grupo: Nelson Jorge Schuch - nelson.schuch@pq.cnpq.br

Natanael Rodrigues Gomes - natanael.gomes@lacesm.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@lacesm.ufsm.br

Home page: <http://>

Repercussões dos trabalhos do grupo

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

Recursos humanos

Pesquisadores

Total: 42

*Relatório Final de Atividades*

Ademar Michels	Jean Pierre Raulin
Alan Prestes	Joao Paulo Minussi
Alicia Luisa Clúa de Gonzalez	Jose Humberto Andrade Sobral
Alisson Dal Lago	Juliano Moro
Antonio Claret Palerosi	Mangalathayil Ali Abdu
Barclay Robert Clemesha	Marcelo Barcellos da Rosa
Caitano Luiz da Silva	Marco Ivan Rodrigues Sampaio
Carlos Roberto Braga	Marcos Vinicius Dias Silveira
Clezio Marcos De Nardin	Nalin Babulal Trivedi
Cristiano Max Wrasse	Natanael Rodrigues Gomes
Delano Gobbi	Nelson Jorge Schuch
Eurico Rodrigues de Paula	Nivaor Rodolfo Rigozo
Ezequiel Echer	Odim Mendes Junior
Fabiano Luis de Sousa	Osmar Pinto Junior
Fábio Augusto Vargas dos Santos	Otavio Santos Cupertino Durão
Fernanda de São Sabbas Tavares	Pawel Rozenfeld
Fernando Luís Guarnieri	Petrônio Noronha de Souza
Gelson Lauro Dal' Forno	Polinaya Muralikrishna
Hisao Takahashi	Rajaram Purushottam Kane
Ijar Milagre da Fonseca	Severino Luiz Guimaraes Dutra
Jean Carlo Santos	Walter Demetrio Gonzalez Alarcon

Estudantes**Total: 33**

Aline Seeger Santos	Jose Fernando Thuorst
Bernardo Henz	Josemar de Siqueira
Carlos Pinto da Silva Neto	Lilian Piecha Moor
Cassio Espindola Antunes	Lucas Antunes Tambara
Cássio Rodinei dos Santos	Lucas Lopes Costa
Celito Muck Felipetto	Lucas Ramos Vieira
Claudio Machado Paulo	Luis Fernando Nicolini
Cristiano Sarzi Machado	Nikolas Kemmerich
Edson Rodrigo Thomas	Rafael Lopes Costa
Eduardo Escobar Bürger	Ricardo Cartier dos Santos
Eduardo Weide Luiz	Rodrigo da Rosa Azambuja
Felipe Cipriani Luzzi	Rubens Zolar Gehlen Bohrer
Fernando de Souza Savian	Tardelli Ronan Coelho Stekel
Guilherme Aluizio Steffens Lorenset	Thalis José Girardi
Guilherme Grams	Tiago Jaskulski
Guilherme Simon da Rosa	Willian Rigon Silva
Igor Freitas Fagundes	

Técnicos**Total: 2**

Eduardo Ceretta Dalla Favera - Ensino Profissional de nível técnico - Técnico em Computação
Vinicius Ceregati Costa - Graduação - \Outra Função

Linhas de pesquisa**Total: 4**

- [AERONOMIA - IONOSFERAS x AEROLUMINESCÊNCIA](#)
- [Desenvolvimento de CubeSats - NANOSATC-BR](#)



- [MAGNETOSFERAS x GEOMAGNETISMO](#)
- [MEIO INTERPLANETÁRIO - CLIMA ESPACIAL](#)

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

Indicadores de recursos humanos do grupo

Integrantes do grupo	Total
Pesquisador(es)	42
Estudante(s)	33
Técnico(s)	

Linha de Pesquisa**MAGNETOSFERAS x GEOMAGNETISMO****Linha de pesquisa****MAGNETOSFERAS x GEOMAGNETISMO**

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

Palavras-chave: Anomalia Magnética do Atlântico Sul - AMAS; Desenvolvimento de Instrumentação Espacial; Eletricidade Atmosférica - Descargas Elétricas; Física Magnetosferas, Física Solar e Heliosférica; Geomagnetismo; Magnetômetros;

Pesquisadores:

[Alisson Dal Lago](#)
[Clezio Marcos De Nardin](#)
[Gelson Lauro Dal' Forno](#)
[Jean Carlo Santos](#)
[Joao Paulo Minussi](#)
[Mangalathayil Ali Abdu](#)
[Nalin Babulal Trivedi](#)
[Nivaor Rodolfo Rigozo](#)
[Osmar Pinto Junior](#)
[Pawel Rozenfeld](#)
[Severino Luiz Guimaraes Dutra](#)

Estudantes:

[Aline Seeger Santos](#)
[Cassio Espindola Antunes](#)
[Celito Muck Felipetto](#)
[Claudio Machado Paulo](#)
[Edson Rodrigo Thomas](#)
[Fernando de Souza Savian](#)
[Josemar de Siqueira](#)
[Rubens Zolar Gehlen Bohrer](#)
[Willian Rigon Silva](#)

Árvore do conhecimento:

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

Ciências Exatas e da Terra; Geociências; Instrumentação Científica;

Setores de aplicação:

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

Objetivo:

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

Linha de Pesquisa**MEIO INTERPLANETÁRIO - CLIMA ESPACIAL****Linha de pesquisa****MEIO INTERPLANETÁRIO - CLIMA ESPACIAL**

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

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

Pesquisadores:

[Alan Prestes](#)
[Alicia Luisa Clúa de Gonzalez](#)
[Alisson Dal Lago](#)
[Carlos Roberto Braga](#)
[Ezequiel Echer](#)
[Fernando Luís Guarnieri](#)
[Jean Pierre Raulin](#)
[Juliano Moro](#)
[Marcos Vinicius Dias Silveira](#)
[Nelson Jorge Schuch](#)
[Nivaor Rodolfo Rigozo](#)
[Rajaram Purushottam Kane](#)
[Severino Luiz Guimaraes Dutra](#)
[Walter Demetrio Gonzalez Alarcon](#)

Estudantes:

[Aline Seeger Santos](#)
[Claudio Machado Paulo](#)
[Eduardo Escobar Bürger](#)
[Guilherme Grams](#)
[Jose Fernando Thuorst](#)
[Josemar de Siqueira](#)
[Lucas Antunes Tambara](#)
[Lucas Ramos Vieira](#)
[Luis Fernando Nicolini](#)
[Nikolas Kemmerich](#)
[Tardelli Ronan Coelho Stekel](#)

Árvore do conhecimento:

Ciências Exatas e da Terra; Geociências; Geofísica Espacial;
Ciências Exatas e da Terra; Astronomia; Astrofísica do Sistema Solar;
Ciências Exatas e da Terra; Geociências; Instrumentação Científica;

Setores de aplicação:

Aeronáutica e espaço

Objetivo:

Pesquisar e prover em tempo real com o Telescópio Multidirecional de Raios Cósmicos-Muons, 2x(4mx7m), >50GeV, no Observatório Espacial do Sul, o monitoramento de muons e fenômenos das interações Sol-Terra, a



previsão no Geoespaço de eventos solares e distúrbios geofísicos, graves efeitos das tempestades e subtempestades geomagnéticas sobre dispositivos e sistemas tecnológicos afetando equipes de trabalho e equipamentos na superfície da Terra e no Espaço. Vice-Líder: Alisson Dal Lago.

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar, ao apoio dos meus pais José Pereira Santos e Marta Helena Seeger, pelo incentivo ao aprendizado, e total apoio nas minhas escolhas e decisões.

Ao meu orientador, Doutor Ezequiel Echer, pela oportunidade, sua atenção e disposição em auxiliar-me durante a realização de minhas atividades de iniciação científica. Em especial,

Ao Doutor Nelson Jorge Schuch, pela Co-orientação do Projeto de Pesquisa, bem como ao seu incentivo e confiança em seus alunos, e por seus ensinamentos tanto na parte profissional quanto no pessoal.

Agradeço a todos os meus colegas de laboratório, pelo apoio técnico, amizade e companheirismo, que sempre estavam dispostos a me auxiliar.

Meus sinceros agradecimentos: (i) aos funcionários, servidores do CRS/INPE – MCT e do LACESM/CT – UFSM, pelo apoio e pela infra-estrutura disponibilizada; (ii) ao Programa PIBIC/INPE – CNPq/MCT pela aprovação do Projeto de Pesquisa, que me permitiu dar os primeiros passos na iniciação científica e tecnológica, propiciando grande crescimento profissional; (iii) ao Coordenador Dr. José Carlos Becceneri e a Secretária do Programa PIBIC/INPE – CNPq/MCT, Sra. Egidia Inácio da Rosa, pelo constante apoio, alertas e sua incansável preocupação com toda a burocracia e datas limites do Programa para com os bolsistas de I. C. & T do CRS/INPE - MCT.

Resumo

O Relatório apresenta as atividades de pesquisa vinculadas ao Programa PIBIC/INPE – CNPq/MCT realizadas pela Bolsista Aline Seeger Santos, durante o período de março de 2009 a julho 2009 e de Tardelli Ronan Coelho Stekel de agosto de 2008 a fevereiro de 2009, no Projeto “**ESTUDO DE CARACTERÍSTICAS DE EXPLOSÕES SOLARES E DE SEUS EFEITOS NA TERRA**” junto ao Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRS/INPE-MCT. As atividades relativas ao Projeto foram desenvolvidas pelo bolsista no Laboratório de Clima Espacial do CRS/INPE-MCT, no âmbito da Parceria: INPE/MCT – UFSM, através do Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria – LACESM/CT – UFSM. O Projeto de pesquisa tem como principal objetivo a identificação e análise de fenômenos físicos ligados às interações Terra – Sol, especificamente as características das explosões solares e suas influências na alta atmosfera e ionosfera terrestres. O Projeto está sendo desenvolvido no Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRS/INPE – MCT, em Santa Maria, RS. Para analisarmos os dados do solares e verificar a ocorrência de explosões solares utilizamos os dados dos satélites da série Geostation Operational Environmental Satellites (GOES) que possuem o instrumento X-ray Sensor (XRS) na qual monitora a radiação em Raios-X nas faixas de 0.5-4.0 °A. Com o objetivo de verificar os efeitos destas Explosões Solares na Ionosfera terrestre, utilizamos os dados dos equipamentos dedicados ao estudo da relação Terra-Sol, o Riômetro e o Magnetômetro que estão instalados no Observatório Espacial Sul – OES/CRS/INPE – MCT, em São Martinho da Serra – RS. Com esses instrumentos, investigamos a correspondência com os fenômenos na Ionosfera, entre eles, o Distúrbio Ionosférico súbito (DIS) que é um súbito aumento na densidade de matéria ionizada (o plasma) na camada D ionosférica, interferindo com a propagação de ondas rádio. Outro efeito é o Magnetic Crochet que é produzido por um salto na variação das componentes do campo geomagnético, que ocasiona em variações súbitas nas componentes do Campo Geomagnético e nos permite inferir sobre as correntes elétricas perturbadas na Ionosfera. Foram encontrados efeitos por explosões solares nos dados de ruído cósmico do Riômetro e nas componentes do magnetômetro, os quais serão apresentados neste trabalho.



SUMÁRIO

ÍNDICE DE FIGURAS	15
ÍNDICE DE TABELAS	17
CAPÍTULO 1.....	18
INTRODUÇÃO	18
1.1 – OBJETIVOS DO PROJETO.....	20
1.2 – METODOLOGIA	20
1.3 – PLANO DE TRABALHO.....	20
1.4 – CRONOGRAMA DE ATIVIDADES	21
1.5 – RESULTADOS ESPERADOS	21
CAPÍTULO 2.....	22
O SOL, A ATIVIDADE SOLAR E EXPLOSÕES SOLARES	22
2.1 – O SOL	22
2.2 – A ESTRUTURA DO SOL	22
2.2.1 – <i>O Interior Solar e sua Energia</i>	23
2.2.2 – <i>A Atmosfera Solar</i>	24
2.3 – A ATIVIDADE SOLAR	30
2.3.1 – <i>Campo magnético Solar</i>	31
2.3.2 – <i>Regiões Ativas</i>	33
2.3.3 – <i>Ciclo de Atividade Solar</i>	34
2.4 – AS EXPLOSÕES SOLARES	38
CAPÍTULO 3.....	43
RELAÇÕES TERRA - SOL: A ATMOSFERA TERRESTRE E CONSEQUÊNCIAS DAS EXPLOSÕES SOLARES	43
3.1 – A IONOSFERA TERRESTRE.....	43
3.2 – EFEITOS DAS EXPLOSÕES SOLARES NA IONOSFERA	46
3.3 – CAMPO GEOMAGNÉTICO	48
3.3.1 – <i>Anomalia Magnética do Atlântico Sul (AMAS)</i>	50
3.4 – EFEITO DAS EXPLOSÕES SOLARES NA INTERAÇÃO MAGNETOSFERA-IONOSFERA.	51
CAPÍTULO 4.....	53
INSTRUMENTAÇÃO PARA A COLETA DE DADOS REFERENTES À INTERAÇÃO TERRA-SOL	53
4.1 – SENSORES DE RAIOS-X DOS SATÉLITES GOES	53
4.2 – MAGNETÔMETROS	56
4.3 – RIÔMETRO	56
CAPÍTULO 5.....	58
CARACTERÍSTICAS DE EXPLOSÕES SOLARES E SEUS EFEITOS VISTOS NOS EQUIPAMENTOS DO OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL	58
5.1 – CARACTERÍSTICAS DE EXPLOSÕES SOLARES	58
5.2 – EFEITO DAS EXPLOSÕES SOLARES IDENTIFICADAS NOS MAGNETÔMETROS	60
5.3 – EFEITO DAS EXPLOSÕES SOLARES IDENTIFICADAS NO RIÔMETRO	63
CAPÍTULO 6.....	65



AS ATIVIDADES DESENVOLVIDAS EM SANTA MARIA, RS,	65
PARCERIA INPE – UFSM NO PROGRAMA PIBIC/INPE – CNPQ/MCT.....	65
6.1 – REVISÃO TEÓRICA	66
6.2 – ATIVIDADE DE PESQUISA RELACIONADA À FENOMENOLOGIA DAS EXPLOSÕES SOLARES	66
6.2.1 – <i>Redução de Dados dos Satélites GOES</i>	66
6.3 – ATIVIDADE DE PESQUISA DESENVOLVIDA PARA A IDENTIFICAÇÃO DOS EFEITOS DE EXPLOSÕES SOLARES ATRAVÉS DE EQUIPAMENTOS.....	68
6.3.1 – <i>Redução de Dados</i>	69
6.4 – PARTICIPAÇÃO EM ATIVIDADES DE EXTENSÃO E CONGRESSOS	74
CAPÍTULO 7	78
CONCLUSÕES.....	78
APÊNDICE A	82
APÊNDICE B.....	86
APENDICE C	100

ÍNDICE DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
FIGURA 2.1 – ESQUEMA REPRESENTATIVO DA ESTRUTURA GLOBAL DAS CAMADAS DO SOL, INTERIOR SOLAR (NÚCLEO, ZONA DE RADIAÇÃO E ZONA DE CONVECÇÃO) E ATMOSFERA SOLAR (FOTOSFERA, CROMOSFERA E A COROA SOLAR).....	23
FIGURA 2.2 – FOTOSFERA SOLAR, CAMADA DA ATMOSFERA DO SOL ONDE PODEM SER VISTO ALGUMAS CONSEQÜÊNCIAS DO CICLO SOLAR DE 11 ANOS, COMO AS MANCHAS SOLARES.	25
FIGURA 2.3 – MANCHA SOLAR, PODENDO IDENTIFICAR A UMBRA (REGIÃO CENTRAL E MAIS ESCURA) E A PENUMBRA (REGIÃO MAIS CLARA E COM ESTRUTURA RADIAL EM TORNO DA UMBRA).	26
FIGURA 2.4 – CROMOSFERA SOLAR EM H-ALFA. PODE-SE IDENTIFICAR AS REGIÕES ATIVAS E ESTRUTURAS COMO: FILAMENTO – ESCUROS, FÁCULAS – CLARAS E ESPÍCULOS – NO LIMBO SOLAR.	28
FIGURA 2.5 – A. ECLIPSE SOLAR, REPRESENTANDO A COROA SOLAR; FOTOGRAFADO E EDITADO POR ANDREAS GADA, 1988. B. ECLIPSE ARTIFICIAL PRODUZIDO PELO SATÉLITE SOHO.	30
FIGURA 2.6 – EVOLUÇÃO DO CAMPO MAGNÉTICO SOLAR E FORMAÇÃO DAS MANCHAS SOLARES EM MEIO PERÍODO DE UM CICLO DE ATIVIDADE SOLAR.	32
FIGURA 2.7 – (A) POLARIDADES DAS MANCHAS SOLARES “PRECURSORAS” E “SEGUIDORAS” DO CAMPO MAGNÉTICO DURANTE O PERÍODO DE CICLO DE ATIVIDADE SOLAR. (B) INVERSÃO DAS POLARIDADES MAGNÉTICAS DAS MANCHAS SOLARES EM UM CICLO SOLAR POSTERIOR.	33
FIGURA 3.1 – (ESQUERDA) O PERFIL IONOSFÉRICO E SUAS CAMADAS. (DIREITA) DIMENSÃO APROXIMADA DAS CAMADAS IONOSFÉRICAS.....	45
FIGURA 3.2 – REPRESENTAÇÃO DOS EFEITOS DO FLUXO DE RAIOS-X DAS EXPLOSÕES SOLARES NA IONOSFERA E NA PROPAGAÇÃO DE ONDAS DE RÁDIO PARA O HEMISFÉRIO ILUMINADO.	47
FIGURA 3.3 – SISTEMAS DE COORDENADAS MAIS ACEITO DOS ELEMENTOS DO VETOR MAGNÉTICO, COMPOSTO DE ELEMENTOS LINEARES E ANGULARES.	49
FIGURA 3.4 – REPRESENTAÇÃO DO MAPEAMENTO DE DENSIDADES DE ERROS NOS DADOS A BORDO DO EXPERIMENTO ICARE, NOVEMBRO DE 2000 A SETEMBRO DE 2002.	51
FIGURA 3.5 – GRÁFICOS REPRESENTATIVOS DA OCORRÊNCIA DO FENÔMENO MAGNETIC CROCHET OCORRIDO ÀS 06H00MIN (UT) DO DIA 4 DE NOVEMBRO DE 1997 EM CAMBERRA, AUSTRÁLIA.	52
FIGURA 4.1 – IMAGEM REPRESENTATIVA DE UM DOS SATÉLITES DA SÉRIE GOES E AS RESPECTIVAS LOCALIZAÇÕES DE SEUS INSTRUMENTOS DEDICADOS A MONITORAÇÃO DA TERRA E DE ALGUMAS CARACTERÍSTICAS DO CLIMA ESPACIAL, TAMBÉM PODE SER VISUALIZADO O INSTRUMENTO X-RAY SENSOR, UTILIZADO NESTE TRABALHO PARA A MONITORAÇÃO DO FLUXO DE RADIAÇÃO SOLAR NO ESPECTRO DOS RAIOS-X.	53
FIGURA 4.2 – ESQUEMA REPRESENTATIVO DO INSTRUMENTO X-RAY SENSOR (XRS), ABORDO DOS SATÉLITES DAS SÉRIES GOES, QUE POSSUI A FINALIDADE DE MONITORAR E IDENTIFICAR EXPLOSÕES SOLARES ATRAVÉS DO MONITORAMENTO DO FLUXO DE RAIOS-X PROVINDOS DA RADIAÇÃO SOLAR.	54
FIGURA 4.3 – GRÁFICO CARACTERÍSTICO DO FLUXO DE RADIAÇÃO SOLAR MONITORADO PELOS SATÉLITES GOES PARA OS DIAS 24, 25 E 26 DE MARÇO DE 2008. FONTE: HTTP://WWW.SEC.NOAA.GOV/	55
FIGURA 5.1 – FLUXOS DE RAIOS-X OBTIDOS A PARTIR DOS DADOS DOS SATÉLITES GOES PARA O PERÍODO DE 25 DE OUTUBRO A 5 DE NOVEMBRO DE 2003.....	58
FIGURA 5.2 – FLUXO DE RADIAÇÃO SOLAR E EFEITOS NAS TRÊS COMPONENTES DO CAMPO GEOMAGNÉTICO NA OCORRÊNCIA DE UMA EXPLOSÃO SOLAR PARA O DIA 15 DE ABRIL DE 2001.....	62
FIGURA 5.3 – FLUXO DE RADIAÇÃO SOLAR EM RAIOS-X E EFEITO DA EXPLOSÃO SOLAR IDENTIFICADO NOS DADOS DE TRÊS ANTENAS DO RIÔMETRO PARA O DIA 6 DE DEZEMBRO DE 2006.	64
FIGURA 6.1 – DADOS OBTIDOS DOS SATÉLITES DAS SÉRIES GOES PARA A INTENSIDADE DO FLUXO DE RADIAÇÃO SOLAR PARA O DIA 28 DE OUTUBRO DE 2003. AS 11H10MIN (UT) O HORÁRIO DO PICO DA EXPLOSÃO SOLAR DE INTENSIDADE X17.2.	67
FIGURA 6.2 – DADOS OBTIDOS DOS SATÉLITES DAS SÉRIES GOES PARA A INTENSIDADE DO FLUXO DE RADIAÇÃO SOLAR PARA O DIA 2 DE NOVEMBRO DE 2003. AS 17H25MIN (UT) O HORÁRIO DO PICO DA EXPLOSÃO SOLAR DE INTENSIDADE X8.3.	68



FIGURA 6.3 – DADOS OBTIDOS DOS SATÉLITES DAS SÉRIES GOES PARA A INTENSIDADE DO FLUXO DE RADIAÇÃO SOLAR PARA O DIA 4 DE NOVEMBRO DE 2003. AS 17H25MIN (UT) O HORÁRIO DO PICO DA EXPLOÇÃO SOLAR DE INTENSIDADE X28.	68
FIGURA 6.4 – DADOS OBTIDOS DOS SATÉLITES GOES E DOS MAGNETÔMETROS DO OBSERVATÓRIO ESPACIAL DE SUL – OES/CRS/INPE – MCT, EM SÃO MARTINHO DA SERRA, RS, PARA O DIA 15 DE ABRIL DE 2001. O PRIMEIRO GRÁFICO REPRESENTA A INTENSIDADE DO FLUXO DE RAIOS-X EMITIDO PELO SOL, E OS DEMAIS GRÁFICOS REPRESENTAM À VARIAÇÃO DAS TRÊS COMPONENTES (H, D, Z) DO CAMPO MAGNÉTICO TERRESTRE.	70
FIGURA 6.5 – DADOS OBTIDOS DOS SATÉLITES GOES E DOS MAGNETÔMETROS DO OBSERVATÓRIO ESPACIAL DE SUL – OES/CRS/INPE – MCT, EM SÃO MARTINHO DA SERRA, RS, PARA O DIA 4 DE NOVEMBRO DE 2003. O PRIMEIRO GRÁFICO REPRESENTA A INTENSIDADE DO FLUXO DE RAIOS-X EMITIDO PELO SOL, E OS DEMAIS GRÁFICOS REPRESENTAM À VARIAÇÃO DAS TRÊS COMPONENTES (H, D, Z) DO CAMPO MAGNÉTICO TERRESTRE.	71
FIGURA 6.6 – DADOS OBTIDOS DOS SATÉLITES GOES E DOS MAGNETÔMETROS DO OBSERVATÓRIO ESPACIAL DE SUL – OES/CRS/INPE – MCT, EM SÃO MARTINHO DA SERRA, RS, PARA O DIA 16 DE JULHO DE 2004. O PRIMEIRO GRÁFICO REPRESENTA A INTENSIDADE DO FLUXO DE RAIOS-X EMITIDO PELO SOL, E OS DEMAIS GRÁFICOS REPRESENTAM À VARIAÇÃO DAS TRÊS COMPONENTES (H, D, Z) DO CAMPO MAGNÉTICO TERRESTRE.	71
FIGURA 6.7 – DADOS OBTIDOS DOS SATÉLITES GOES DA NOAA E DO RIÔMETRO DO OBSERVATÓRIO ESPACIAL DE SUL – OES/CRS/INPE – MCT, EM SÃO MARTINHO DA SERRA, RS, PARA O DIA 5 DE DEZEMBRO DE 2006. O PRIMEIRO GRÁFICO REPRESENTA A INTENSIDADE DO FLUXO DE RAIOS-X EMITIDO PELO SOL, E OS DEMAIS GRÁFICOS REPRESENTAM À INTENSIDADE MEDIDA POR TRÊS ANTENAS DO RIÔMETRO.	72
FIGURA 6.8 – DADOS OBTIDOS DOS SATÉLITES GOES DA NOAA E DO RIÔMETRO DO OBSERVATÓRIO ESPACIAL DE SUL – OES/CRS/INPE – MCT, EM SÃO MARTINHO DA SERRA, RS, PARA O DIA 6 DE DEZEMBRO DE 2006. O PRIMEIRO GRÁFICO REPRESENTA A INTENSIDADE DO FLUXO DE RAIOS-X EMITIDO PELO SOL, E OS DEMAIS GRÁFICOS REPRESENTAM À INTENSIDADE MEDIDA POR TRÊS ANTENAS DO RIÔMETRO.	73
FIGURA 6.9 – DADOS OBTIDOS DOS SATÉLITES GOES DA NOAA E DO RIÔMETRO DO OBSERVATÓRIO ESPACIAL DE SUL – OES/CRS/INPE – MCT, EM SÃO MARTINHO DA SERRA, RS, PARA O DIA 14 DE DEZEMBRO DE 2006. O PRIMEIRO GRÁFICO REPRESENTA A INTENSIDADE DO FLUXO DE RAIOS-X EMITIDO PELO SOL, E OS DEMAIS GRÁFICOS REPRESENTAM A INTENSIDADE MEDIDA POR TRÊS ANTENAS DO RIÔMETRO.	73



ÍNDICE DE TABELAS

Pág.

TABELA 1.1– CLASSIFICAÇÃO DAS EXPLOSÕES SOLARES CONFORME A SUA INTENSIDADE.	42
TABELA 5.1– RESULTADOS DA ANÁLISE DAS CARACTERÍSTICAS DE EXPLOSÕES SOLARES	60
TABELA 5.2 – TABELA DE DADOS DO COMPORTAMENTO DAS TRÊS COMPONENTES DO CAMPO GEOMAGNÉTICO NA OCORRÊNCIA DE EXPLOSÕES SOLARES SUPER INTENSAS.	61
TABELA 5.3 – TABELA DE DADOS DAS DATAS E CARACTERÍSTICAS EM QUE FORAM ENCONTRADOS EFEITOS DAS EXPLOSÕES SOLARES NO RIÔMETRO.	63
TABELA 6.1 – DATAS DOS DADOS DE CADA EQUIPAMENTO ONDE FORAM ENCONTRADOS EFEITOS DAS EXPLOSÕES SOLARES.	69

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

O Sol é a estrela predominante no sistema planetário em que se encontra a Terra. A presença ou ausência da radiação solar determina o dia e a noite. A energia solar irradiada é aproveitada por seres fotossintéticos que constituem a base da cadeia alimentar, assim, o Sol é a principal fonte de energia que mantém a vida na Terra.

A variabilidade do ciclo de atividade solar está fortemente relacionada aos distúrbios espaciais nas proximidades da Terra, afetando de várias maneiras os sistemas tecnológicos no espaço, como os satélites e na superfície terrestre, os sistemas de telecomunicações. Os fenômenos decorrentes da atividade solar são de grande interesse para nós, tendo em vista a vulnerabilidade da Terra diante de eventos como as Ejeções Coronais de Massas (CME da sigla em inglês), Explosões Solares (*Solar flares*, em inglês), além de proeminências eruptivas. Tais eventos liberam grandes quantidades de radiação e matéria na forma de plasma, que viajam a velocidades supersônicas.

No Projeto foi dada uma atenção especial as Explosões Solares, que são as principais causas dos efeitos da atividade solar na Ionosfera terrestre (Avakyan et. al., 1998). Explosões Solares são perturbações transientes que ocorrem na atmosfera solar e que liberam grandes quantidades de energia, emitidas na forma de radiação eletromagnética e corpuscular. As Explosões Solares são, normalmente, ocasionadas pela ação e dinâmica dos complexos fenômenos magnéticos das regiões ativas na superfície do Sol, o que torna a Terra vulnerável a suas diversas consequências. Essas e outras características do Clima Espacial evidenciam claramente a necessidade do estudo do efeito das Explosões Solares, bem como de seus mecanismos de geração na Coroa Solar.



Para desenvolver o estudo no ambiente do Clima Espacial, foram utilizadas observações em plataformas espaciais e de superfície, como os dados de instrumentos dos satélites das séries GOES e de equipamentos na superfície terrestres, como os dados observacionais dos equipamentos dedicados aos estudos das interações Terra – Sol instalados no Observatório Espacial do Sul – OES/CRS/INPE – MCT, em São Martinho da Serra, RS, Brasil.

1.1 – Objetivos do Projeto

Os principais objetivos do Projeto são:

- Capacitar o bolsista a adquirir conhecimentos básicos sobre Física Solar, especificamente Explosões Solares (*Solar flares*) e seus efeitos sobre a Terra;
- Estudar técnicas para trabalhar com os dados de fluxo radiativo nas bandas de Raios-X medidos pelos satélites GOES, identificar e analisar os dados das súbitas variações de radiação das Explosões Solares em instrumentos dedicados a monitoração da interação Terra-Sol;
- Preparar trabalhos para a participação em conferências Científicas referentes ao estudo abordado.

1.2 – Metodologia

- Revisão bibliográfica sobre Física Solar, Clima Espacial e Explosões Solares;
- Revisão bibliográfica sobre efeitos de Explosões Solares na atmosfera terrestre e em sistemas tecnológicos;
- Aquisição de dados de Raios-X Solares e dos instrumentos que monitoram a interação Terra-Sol e posterior confecção de gráficos e análise.

1.3 – Plano de Trabalho

- O Bolsista deverá realizar um estudo bibliográfico sobre Física Solar, Clima Espacial, Explosões Solares e seus efeitos na terra;
- Aprender a adquirir os dados de fluxo de Raios-X solares dos satélites GOES/NOAA e desenvolver a confecção e análise dos gráficos;

- Posteriormente, o bolsista deverá se capacitar a interpretar os dados de fluxo de Raios-X e correlacionar a intensidade de *flares* com os efeitos sobre a terra.

1.4 – Cronograma de Atividades

- Revisão bibliográfica básica e aquisição de dados através internet
- Revisão bibliográfica e desenvolvimento de programas para a plotagem de gráficos.
- Revisão bibliográfica específica sobre Explosões Solares e seus efeitos, interpretação de dados de fluxo de Raios-X solares. Estudo e aplicação das técnicas de análise dos dados, estudo de casos, preparação de trabalhos e apresentação em conferências científicas.

1.5 – Resultados Esperados

- Aquisição de conhecimento de Física Solar e Clima Espacial, com ênfase na fenomenologia das Explosões Solares e de seus efeitos sobre a Terra.
- Análise estatística das características de fluxo de Raios-X das Explosões Solares e identificação e análise de dados referentes aos seus efeitos interferentes em instrumentos dedicados a interação Terra-Sol do Observatório Espacial do Sul – OES/CRS/INPE – MCT.

CAPÍTULO 2

O SOL, A ATIVIDADE SOLAR E EXPLOSÕES SOLARES

2.1 – O Sol

Muito mais do que iluminar e aquecer a terra, o Sol é o objeto mais relevante em nosso sistema solar. É o maior objeto e contém aproximadamente 98% da massa total do sistema solar. Cento e nove Terras seriam necessárias para cobrir o disco do Sol, e em seu interior caberiam 1,3 milhões de Terras. O Sol, nossa fonte de luz e de vida, é a estrela mais próxima de nós e a que melhor conhecemos, mas muito além de manter a vida em nosso planeta, a instabilidade superficial da estrela mãe causa alguns transtornos sobre a Terra, tal relação é aqui apresentada e denominada Clima Espacial.

2.2 – A Estrutura do Sol

O Sol, assim como as demais estrelas, é uma esfera gasosa que se encontra em equilíbrio hidrodinâmico entre as duas forças principais que agem dentro dele: para o seu exterior, a pressão térmica, produto das altas temperaturas internas, e para o interior, a força gravitacional. A estrutura solar pode ser dividida em duas grandes regiões: o Interior composto de Núcleo, Zona radiativa e Zona Convectiva e a Atmosfera, composta pela Fotosfera, Cromosfera e Coroa.

2.2.1 – O Interior Solar e sua Energia.

As estruturas internas das estrelas variam basicamente de acordo com sua massa, para o Sol a estrutura interna é composta de um Núcleo, Zona radiativa e uma região convectiva que pode chegar até a superfície. A Figura 2.1, mostra um esquema da estrutura das camadas do exterior e interior solar.

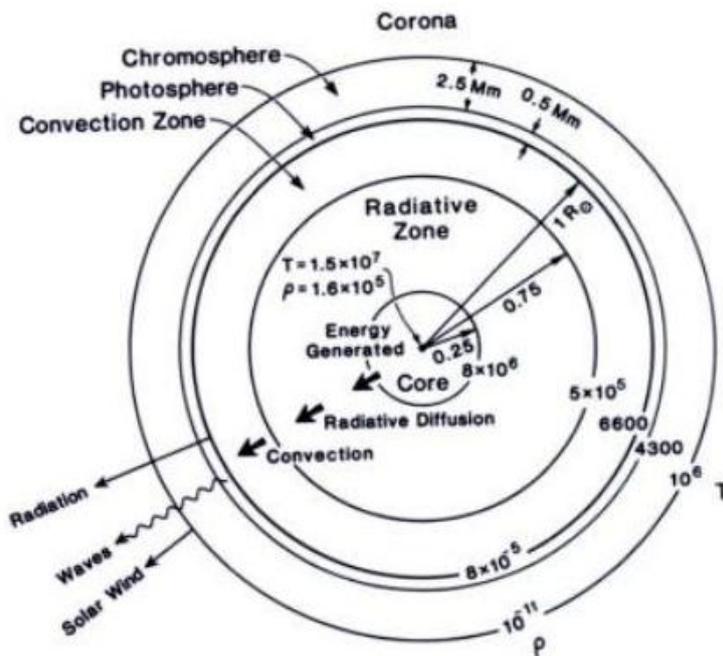


Figura 2.1 – Esquema representativo da estrutura global das camadas do Sol, Interior solar (Núcleo, Zona de radiação e Zona de convecção) e Atmosfera solar (fotosfera, cromosfera e a coroa solar)

Fonte: Kivelson e Russel, 1995

O Sol emite para todas as direções do espaço interplanetário uma enorme quantidade de energia, e toda essa energia se originam de reações nucleares que ocorrem no seu centro e demora cerca de 10^7 anos para ser transportada pela zona radiativa e em seguida pela zona convectiva, até atingir a superfície, onde a temperatura é de aproximadamente 5.800 K.

O Sol é uma gigantesca massa de gás ionizado (plasma) que se mantém coesa pela própria força gravitacional. Por este motivo, tanto a pressão quanto a temperatura do gás permanecem altíssimas no núcleo da estrela. A temperatura do Sol é de cerca de

15 milhões de graus, a estas temperaturas e pressões o gás encontra-se no estado ionizado, denominado plasma, estabelecendo um ambiente propício para a ocorrência de reações nucleares de fusão dos elementos mais leves (hidrogênio e seus isótopos e hélio). Devido a alta pressão no seu centro, o gás apresenta propriedades que podem ser melhor descritas no estado de fluido do que no estado gasoso. De toda energia produzida pela fusão dos elementos no núcleo do Sol, parte é usada para manter constantes as condições de temperatura e pressão interna e parte é emitida na forma de radiação, que escapa pela sua superfície, iluminando e aquecendo os astros do espaço interplanetário.

Observando-se a superfície solar com grande aumento podem-se ver grãos semelhantes a bolhas de água em ebulição dentro de uma panela. Os grãos são bolhas de gás muito quente transportando a energia do interior para a superfície solar. No envoltório abaixo da superfície, a energia é transportada por convecção do gás. A convecção ocorre devido a grande opacidade dessa camada à transferência de energia pelo processo radiativo. Assim, as porções mais internas do gás, aquecidas pela radiação que vem do núcleo, expandem-se e sobem até a superfície, onde perdem energia e esfriam, ao esfriarem tornam-se mais densas e pesadas, tornando a descer. As células de convecção têm cerca de 5.000 km e se movimentam em escalas de 10 minutos.

2.2.2 – A Atmosfera Solar

A atmosfera solar é composta basicamente por três camadas: Fotosfera, visível a olho nu, Cromosfera vista com o filtro H-alfa, e a Coroa solar, camada mais externa e imperceptível.

2.2.2.1 – Fotosfera

A Fotosfera trata-se da região visível do Sol, é uma estreita camada de cerca de 500 km de espessura, o que equivale a cerca de meio milésimo do raio solar. É da

fotosfera que vem a maior parte da luz visível. Entretanto, o gás desta camada não é totalmente transparente, e devido a sua opacidade o interior solar não pode ser visto. A sua densidade é de cerca de 10^{13} a 10^{15} partículas por centímetro cúbico. Além da granulação, nesta camada, podem ser observadas manchas escuras que surgem e praticamente desaparecem por completo em períodos regulares de cerca de 11 anos. A Figura 2.2 mostra exemplos de grupos de manchas solares observadas sobre o disco solar.

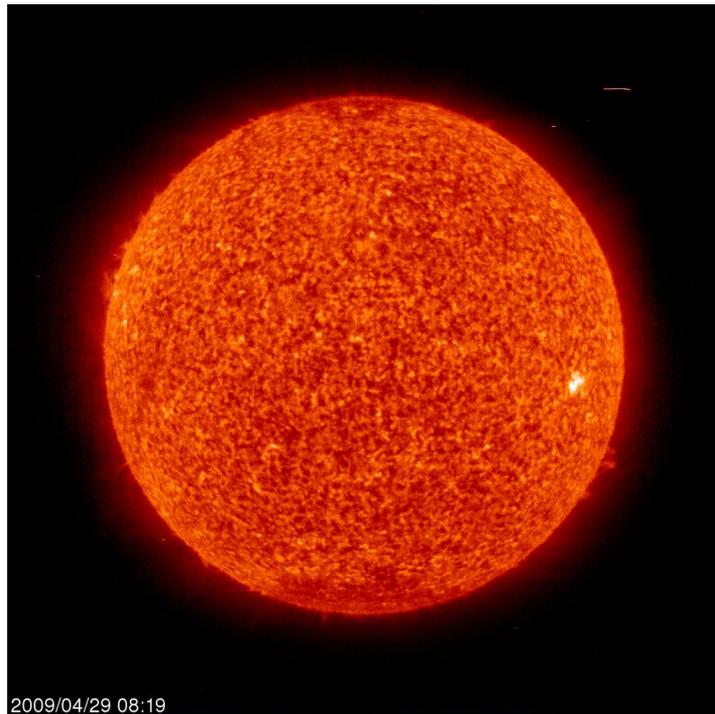


Figura 2.2 – Fotosfera Solar, camada da Atmosfera do Sol onde podem ser visto algumas conseqüências do ciclo solar de 11 anos, como as manchas solares.

Fonte: <http://earthobservatory.nasa.gov/IOTD/archive.php?m=01&y=2009>

As manchas sobre a fotosfera do Sol já eram observadas pelos chineses milhares de anos antes de Cristo e ficaram conhecidas, posteriormente, como manchas solares. Entretanto, o estudo mais sistemático e científico destas manchas solares só começou com o uso do telescópio, sendo observadas (por projeção da imagem do Sol) desde Galileu, no ano de 1612.

As manchas solares tendem a se formar em grupos e são constituídas de duas partes: a umbra, parte central mais escura, com temperaturas em torno de 3.800 K, e a

penumbra, região um pouco mais clara e com estrutura radial em torno da umbra. A Figura 2.3 mostra uma mancha solar onde se pode identificar a umbra e a penumbra.

A presença de manchas solares nos informa a respeito da existência de campos magnéticos intensos na atmosfera solar. Uma vez que o campo magnético inibe o processo convectivo, o transporte de energia nas manchas é bem menor, e conseqüentemente as manchas são significativamente mais frias emitindo bem menos radiação que o restante da superfície solar. Por este motivo, devido ao contraste com a superfície solar mais brilhante que as manchas aparentam ser escuras. Normalmente, as manchas aparecem na superfície solar em grupos que evoluem em número e área total e podem durar até duas rotações solares.

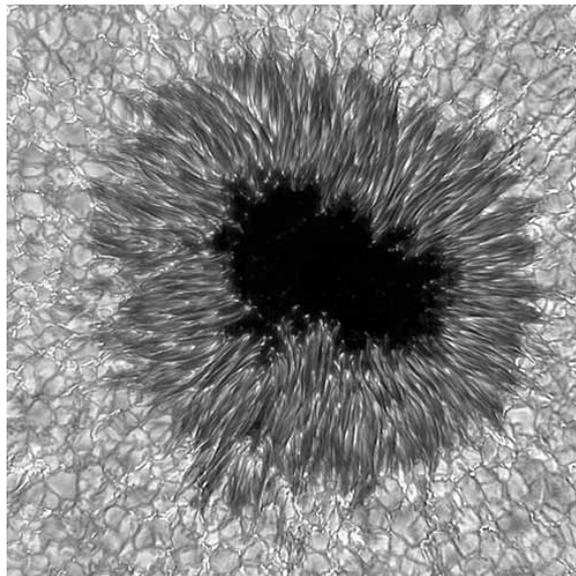


Figura 2.3 – Mancha solar, podendo identificar a umbra (Região central e mais escura) e a penumbra (Região mais clara e com estrutura radial em torno da umbra).

Fonte: <http://www.hao.ucar.edu/>

O número de manchas presentes no disco solar está diretamente relacionado ao nível de atividade do ciclo que será explicado posteriormente. Observando-se um determinado grupo de manchas ao longo de vários dias constata-se que o Sol possui rotação com um período médio de 27 dias (possui rotação diferenciada de 25 dias no Equador e 30 dias nas proximidades dos pólos).

A opacidade observada do limbo é uma informação de que a temperatura cai com a altura na Fotosfera. Esta camada apresenta uma temperatura que vai de aproximadamente 5.800 K na superfície solar até cerca de 4.200 K na sua parte mais elevada, próximo à base da Cromosfera.

2.2.2.2 – Cromosfera

Estendendo-se até cerca de 10.000 km acima da Fotosfera, a Cromosfera possui uma temperatura de dezenas a até centenas de milhares de graus. A densidade cai a até duas ordens de grandeza relativamente à Fotosfera. A cromosfera pode ser vista observando-se o Sol com um filtro especial na luz vermelha conhecido como H-alfa (correspondendo à primeira linha da serie de Balmer do átomo de Hidrogênio). Utilizando este filtro se podem distinguir as várias estruturas cromosféricas: proeminência, "praias" brilhantes, filamentos, fâculas, "plages" e espículos, com pode ser visto na Figura 2.4. A fronteira cromosfera à coroa é conhecida como região de transição, uma fina camada de poucas centenas de quilômetros na qual a temperatura se eleva dos valores cromosféricos até cerca de 2 milhões de graus, na base da coroa. Enquanto isso, a densidade decresce a valores de 10^9 a 10^8 cm^{-3} , valores estes típicos da Coroa solar calma, característica de períodos de baixa atividade solar.

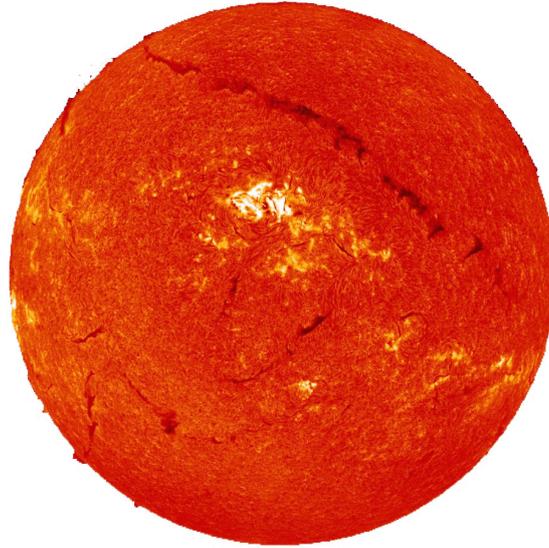


Figura 2.4 – Cromosfera solar em H-alfa. Pode-se identificar as regiões ativas e estruturas como: Filamento – escuros, Fáculas – claras e Espículos – no Limbo Solar.

Fonte: <http://www.hao.ucar.edu/>

Com um filtro H-alfa pode-se identificar a Cromosfera e distinguir as proeminências, que são estruturas que se erguem do limbo ou formam nuvens escuras sobre o disco.

Qualquer nuvem de material visível acima da superfície solar observada no H-alfa pode ser chamada de proeminência. Quando observada no limbo aparece brilhante em contraste ao céu escuro, quando observada no disco é chamada por filamento escuro, apresentando-se assim por possuir apenas 10% do brilho do disco solar em H-alfa (Parks, 2004).

Podem ser observadas em alguns pontos ao redor do disco escuro da Lua quando ocorre o máximo de eclipses solares totais. As proeminências podem ser classificadas pela forma como se apresentam em:

1- Calmas (de longa duração): proeminências ou filamentos localizados em ou próximos a regiões ativas.

2- Ativas (transitórias): proeminências geralmente associadas às Explosões Solares que ocorrem no limbo ou precipitações.

A proeminência eruptiva está entre os mais espetaculares eventos solares e é responsável por uma grande parcela das Ejeções Coronais de Massa (EMC). Todas as Explosões Solares estão associados aos filamentos, que normalmente desaparecem por erupção para cima. Os filamentos grandes se formam gradualmente, o primeiro passo ocorre quando uma região ativa se rompe em duas regiões unipolares, a seguir, as linhas neutras que se formam do rompimento desta e outras regiões ativas se unem para produzir um filamento extenso, às vezes durando por vários períodos de rotações solares. Um filamento típico é menor, dura por apenas uma rotação solar e sofre ligeira alteração de forma quase todo dia, além disso, podem ser usados para estimativas da rotação solar.

2.2.2.3 – Coroa Solar

A Coroa solar é a parte mais externa da Atmosfera solar e estende-se por milhões de quilômetros a partir do Sol. A Coroa é melhor observada durante os eclipses totais do Sol, pois apesar de ter um brilho equivalente ao da lua cheia, ela fica obscurecida quando a Fotosfera é visível. Desta forma, a Coroa é normalmente observada durante o eclipse solar, como pode ser visto na Figura 2.5a.. No entanto, satélites como o *Solar and Heliospheric Observatory* (SOHO), localizados no ponto Lagrangeano 1, produzem eclipse artificial com a finalidade de estudar e monitorar a Coroa Solar, Figura 2.5b.

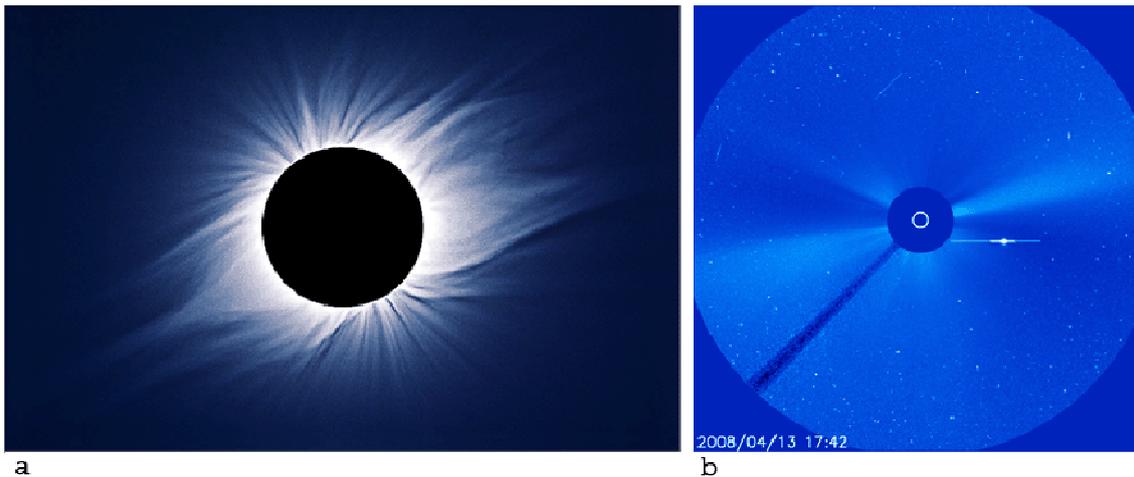


Figura 2.5 – a. Eclipse solar, representando a coroa solar; fotografado e editado por Andreas Gada, 1988. b. Eclipse artificial produzido pelo satélite SOHO.

Fonte: <http://sohowww.nascom.nasa.gov/>

A densidade da Coroa solar é de 2-3 ordens de grandeza mais baixa do que a da Cromosfera e sua temperatura são de 1 a 2 milhões de graus, com estas altas temperaturas, a coroa passa a emitir grande quantidade de Raios-X. Além disso, a esta temperatura o gás encontra-se na forma de plasma, gás ionizado, produzindo assim os elétrons e íons que podem formar o chamado vento solar que se propaga por todo o sistema solar e eventualmente atinge a Terra.

Na Coroa solar também são observadas as chamadas regiões ativas, locais onde a temperatura e a densidade são elevadas, além de possuírem campos magnéticos intensos, na ordem de centenas a poucos milhares de Gauss, distribuídos em formato de arcos com os pólos magnéticos situados na Fotosfera. É nas regiões ativas que se observam os fenômenos conhecidos como Explosões Solares que ocorrem com maior frequência nos períodos de máximo de atividade do ciclo solar.

2.3 – A Atividade Solar

Em 1612 Galileu revelou, através de suas observações do Sol, as manchas solares, a partir daí, o monitoramento sistemático da atividade solar se tornaram constante. Pouco depois da metade do século XVII foi identificado o Mínimo de

Maunder, num período de baixa atividade solar, o que causou espanto em cientistas da área. Na continuidade do processo observações acumuladas, o ciclo solar passou a indicar o intervalo de cerca de onze anos entre os máximos de atividade solar, para ampliar conhecimento destes fenômenos, hoje são utilizados vários satélites para o estudo.

2.3.1 – Campo magnético Solar

Nos períodos de baixa atividade do ciclo solar, o campo magnético do Sol é basicamente bipolar, a princípio coincidente com os pólos heliográficos. Neste período, as linhas do campo magnético solar seguem a direção de meridianos que atravessam o Sol do pólo norte para o pólo Sul, ou vice-versa, passando perpendicularmente pelo Equador solar. Entretanto, como a rotação diferencial do Sol no Equador é mais rápida do que nos pólos, o gás que está preso às linhas de campo os arrasta consigo causando uma distorção em sua direção a partir de médias latitudes em direção ao Equador. A cada rotação, as linhas de campo vão sendo mais e mais arrastadas e distorcidas nas proximidades do Equador, até que a densidade de linhas de campo torna-se muito elevada e sua direção passa a ser praticamente paralela à linha do equador solar. Nesse período, começa a ocorrer o afloramento das linhas de campo subsuperficial à superfície, em forma de arcos, e a emergência desses arcos magnéticos a partir da superfície em direção à Cromosfera e à Coroa solar. A Figura 2.6 ilustra bem o processo gradual durante um ciclo de atividade solar.

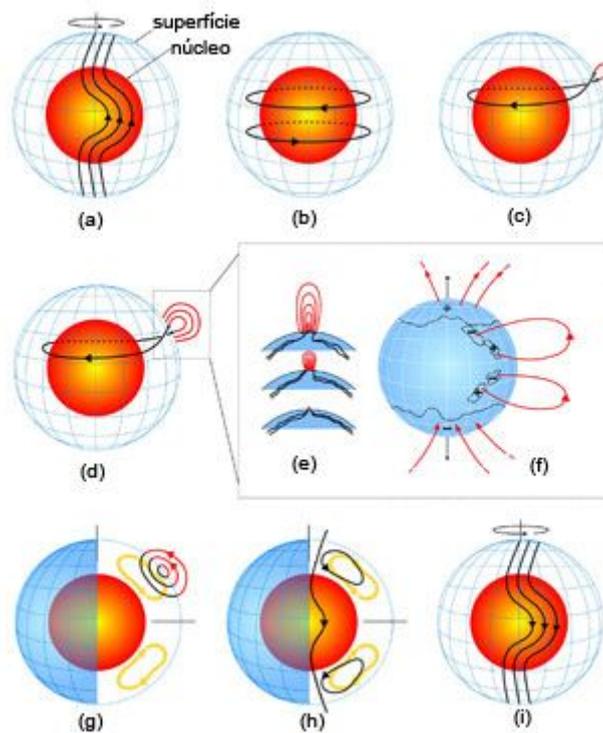


Figura 2.6 – Evolução do Campo Magnético Solar e formação das manchas solares em meio período de um ciclo de atividade solar.

Fonte: Adaptado de Revista Ciência Hoje, extraído de Oliveira Filho et. al., 2001.

Passados cerca de 11 anos do mínimo solar, o ciclo solar seguinte se inicia com as linhas de campo novamente seguindo os meridianos da superfície terrestre, porém com sentido invertido ao do ciclo solar anterior. Quando inicia o próximo ciclo de atividade as linhas de campo novamente invertem seu sentido, desta forma repetindo o mesmo sentido do penúltimo período. É por este motivo que se costuma dizer que o período do ciclo magnético solar é de cerca de 22 anos, correspondendo ao intervalo de tempo de dois ciclos completos de atividade solar.

O campo magnético das chamadas regiões ativas, associadas às manchas solares, se estende para a Atmosfera solar, Cromosfera e Coroa, assumindo uma forma característica de arco, na sua configuração mais simples, com seus extremos presos à superfície e correspondendo às polaridades magnéticas opostas. Entretanto, na grande maioria dos casos a geometria da configuração do campo magnético destas regiões é extremamente complexa, envolvendo a interação de vários arcos de tamanhos e

dinâmicos distintas. É esta complexidade que propicia as condições necessárias para a ocorrência de instabilidades que levam à liberação da energia armazenada no campo magnético gerando as Explosões Solares.

Na superfície do Sol as polaridades magnéticas das manchas se distribuem de forma característica com a mancha “precursora”, caracterizando uma polaridade magnética, enquanto a mancha “seguidora” possui a polaridade magnética oposta. Entretanto, as polaridades magnéticas das manchas “precursora” e “seguidora” são opostas nos hemisférios norte e sul do Sol como mostra a Figura 2.7, invertendo suas polaridades a cada ciclo de atividade.

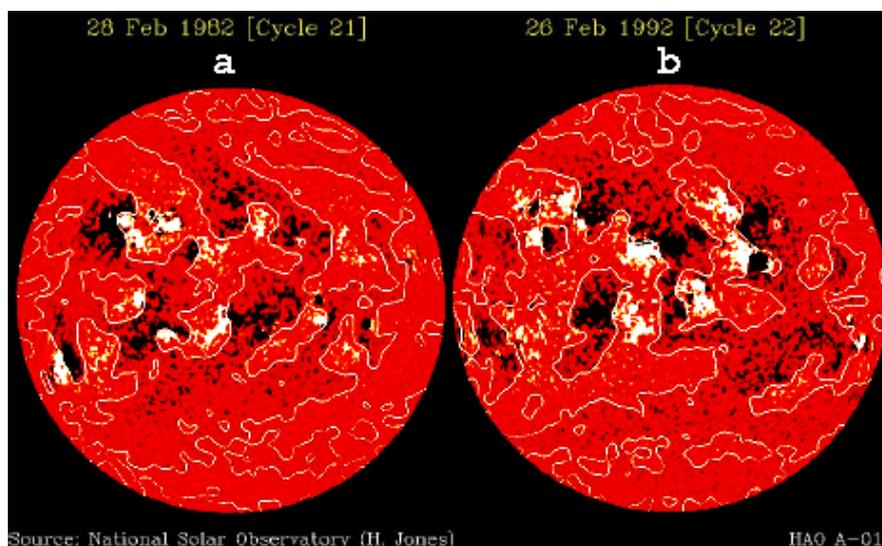


Figura 2.7 – (a) Polaridades das manchas solares “precursoras” e “seguidoras” do campo magnético durante o período de ciclo de atividade solar. (b) Inversão das polaridades magnéticas das manchas solares em um ciclo Solar posterior.

Fonte: <http://www.nso.edu/>

2.3.2 – Regiões Ativas

As regiões ativas estão situadas no interior de configurações de campo magnético em forma de ferradura ou arco, com linhas de fluxo magnético que se projetam pela Cromosfera até a Coroa solar, cujas extremidades estão presas na Fotosfera associados às manchas. Devido à ação destes campos, é nas regiões ativas que se observam as súbitas variações das radiações Solares das Explosões Solares.

2.3.3 – Ciclo de Atividade Solar

O ciclo solar é chamado de ciclo de Schwabe e tem duração aproximada de 11 anos. Neste período o Sol passa por momentos alternados de alta e baixa atividade eletromagnética, conhecidos por mínimos e máximos solares. Desde que as observações começaram a ser feitas, foram contados 23 ciclos solares até 2007.

A maioria das características da emissão solar está diretamente relacionada à atividade solar, o aspecto mais marcante da atividade é o ciclo de 11 anos, período no qual o número de manchas solares cresce e atinge um máximo, decrescendo em seguida. O número médio diário de manchas solares para os ciclos solares entre os anos de 1867 a 2008 está demonstrado na Figura A.B

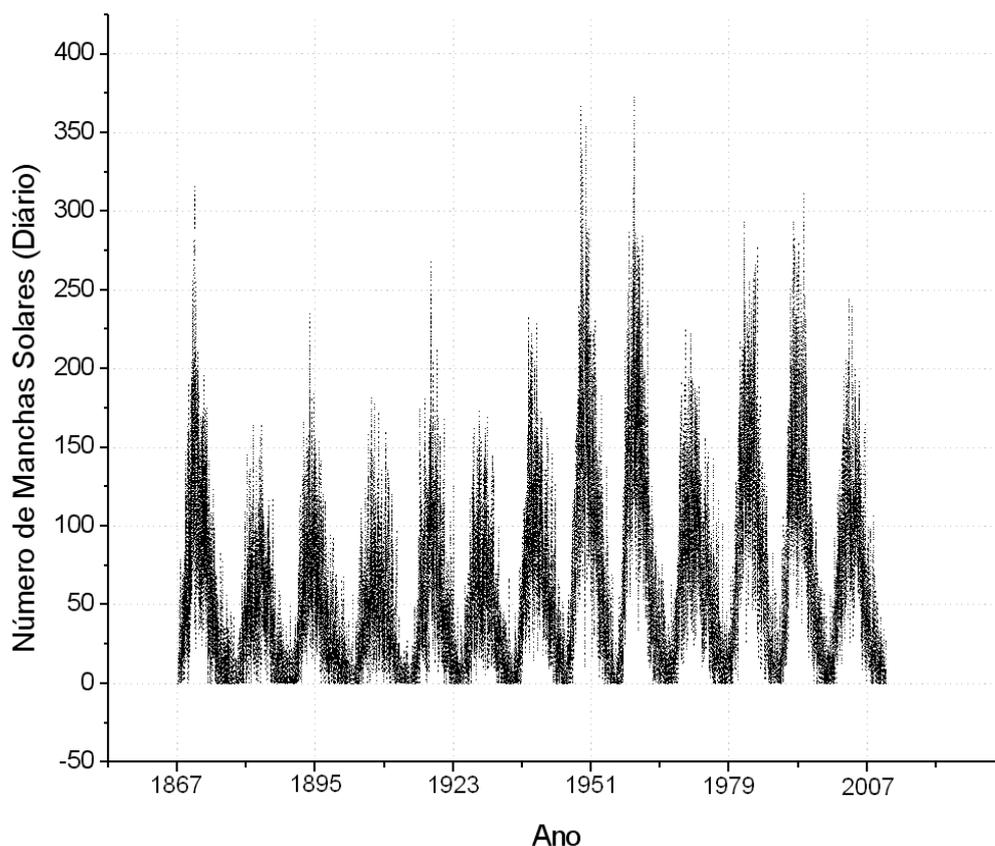


Figura A.B – Representação gráfica do número de manchas solares para os últimos 13 ciclos de atividade solar.

O Ciclo de atividades se deve principalmente ao fato do Sol possuir uma rotação maior no seu equador do que próximo aos pólos. Como a composição do Sol é basicamente hidrogênio em forma de plasma, sua rotação é diferenciada, sendo de 30 dias nos pólos e 26 dias no equador.

Para determinarmos o período de rotação Solar, que teoricamente é aproximado por 26 dias, foi realizado o FFT dos ciclos representados na Figura A.B. Portanto, obtivemos o espectro em frequência apresentado na Figura A.(B+1).

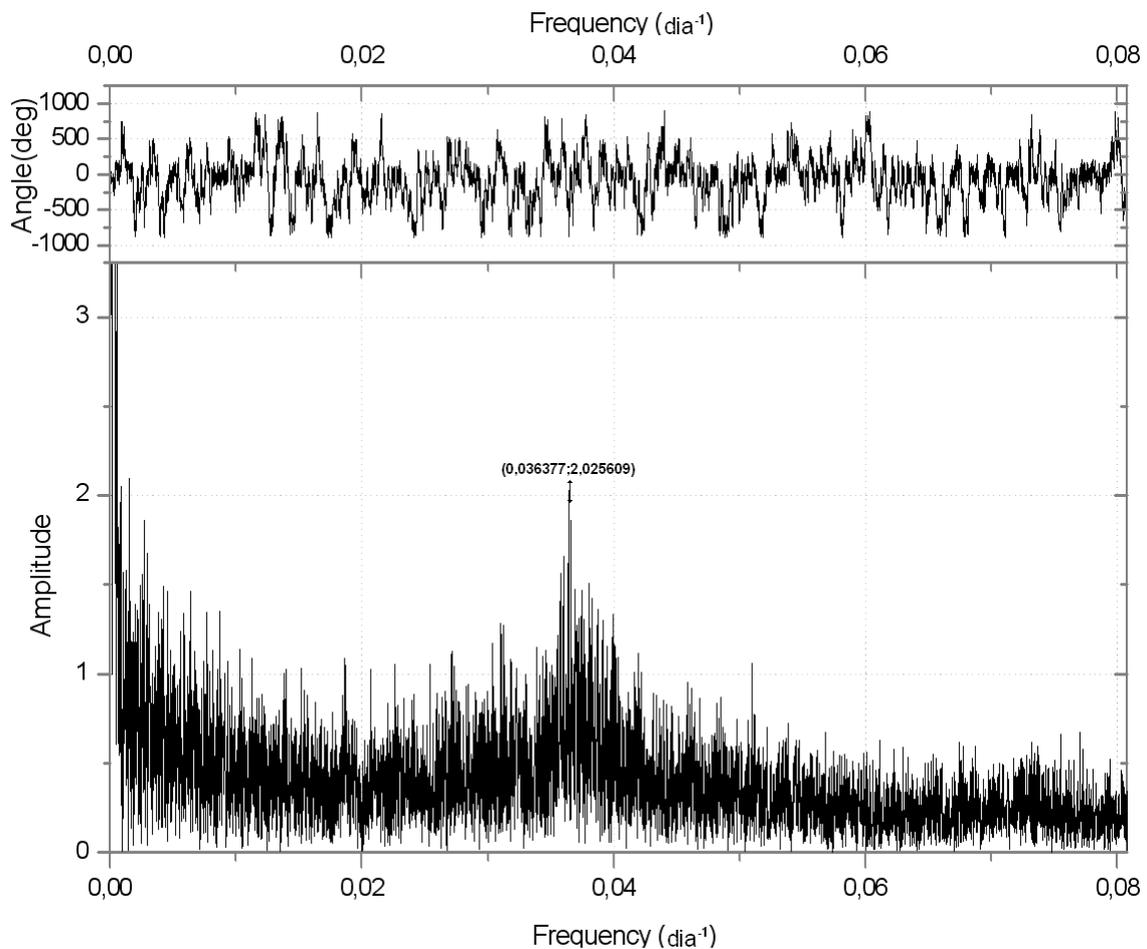


Figura A.(B+1) – Espectro de frequência do número de manchas solares para os últimos 28 ciclos de atividade solar.

Como pode ser visto na Figura A.(B+1), houve um pico na frequência $0,036377 \text{ dia}^{-1}$, pois estes dados são diários, portanto determinamos que o inverso deste valor, ou seja o período de rotação das regiões próximas ao equador solar determinado é de aproximadamente 27,5 dias.

O ciclo de atividade solar tem um período que leva em média 11 anos de duração. Entretanto, como uma mesma polaridade magnética do Sol se repete somente a cada 2 ciclos de atividade, o ciclo magnético solar é de cerca de 22 anos. O número médio anual de manchas solares para os ciclos solares entre os anos de 1700 a 2008 está demonstrado na Figura A.(B+2).

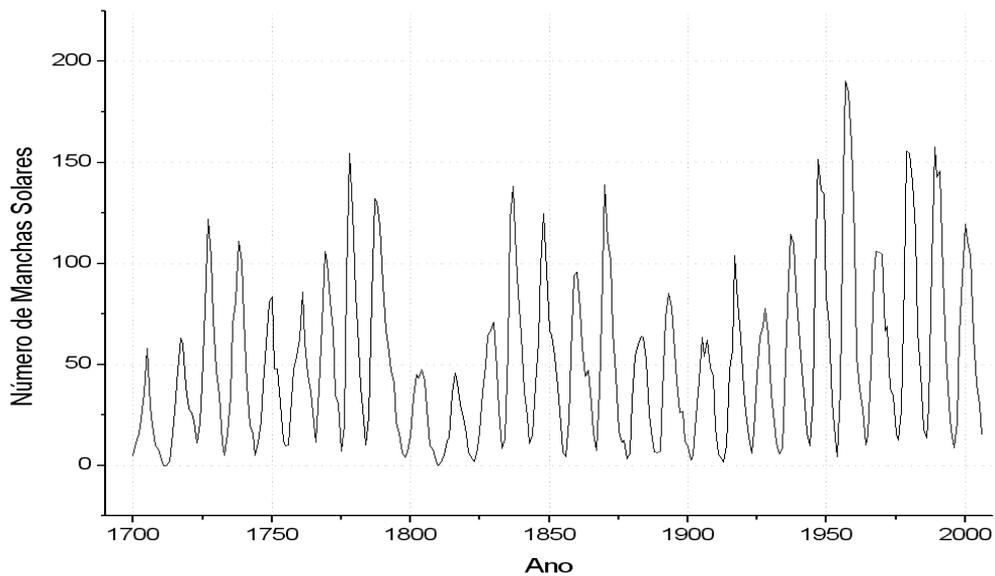


Figura A.(B+2) - Representação gráfica do número médio anual de manchas solares para os últimos 28 ciclos de atividade solar.

Para determinarmos o período de um ciclo de manchas solares, que teoricamente é aproximado por 11 anos, foi realizado o FFT dos ciclos representados na Figura (A.B+2). Portanto, obtivemos o espectro em frequência apresentado na Figura A.(B+3).

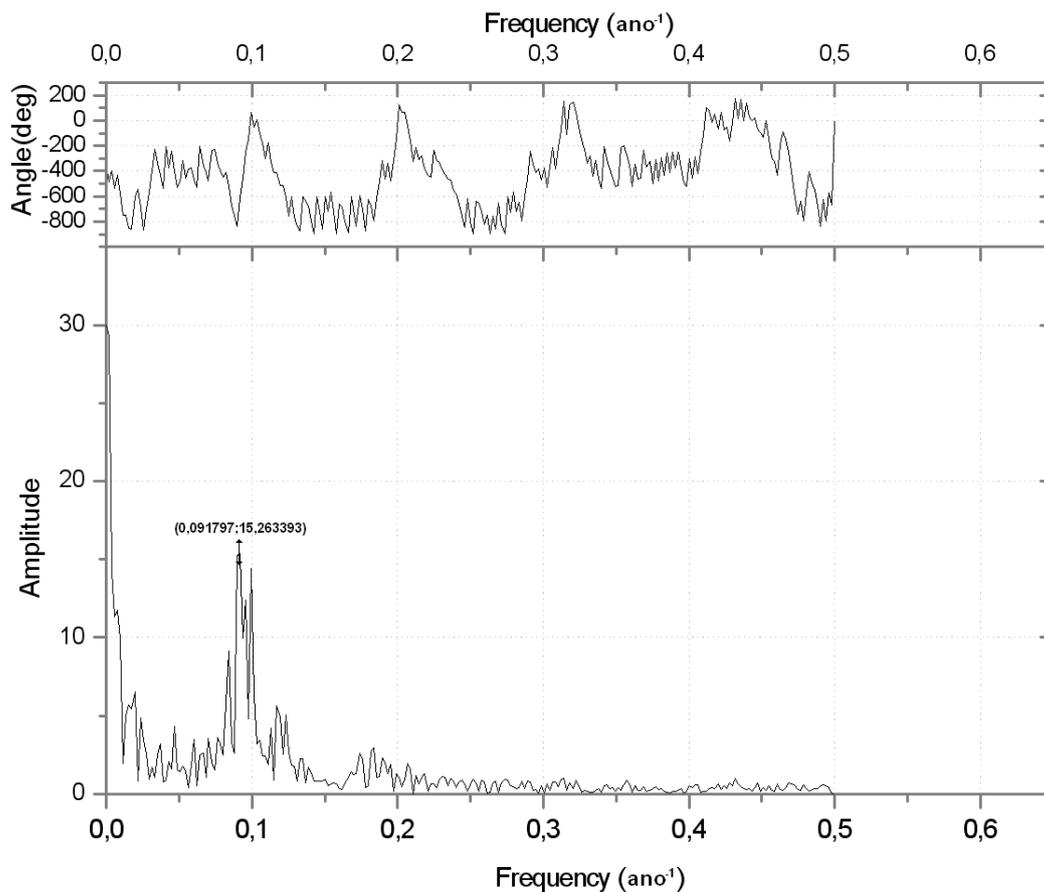


Figura A.(B+3) – Espectro de frequência do número de manchas solares para os últimos 28 ciclos de atividade solar.

Como pode ser visto na Figura A.(B+3), houve um pico na frequência $0,09179715263393 \text{ ano}^{-1}$, pois estes dados são anuais, portanto determinamos que o inverso deste valor, ou seja o período determinado de um ciclo solar é de aproximadamente 10,9 anos.

Atualmente, estamos no início do ciclo de atividade solar 24 e com um dos maiores períodos de mínimo do último século. No início de cada um destes ciclos, as manchas pequenas surgem em número reduzido em latitudes solares mais elevadas, e vão se formando cada vez maiores e mais próximas ao equador solar aumentando em número conforme o ciclo evolui em direção ao máximo de atividade, e decrescendo gradativamente quando o ciclo decai em direção ao fim. Como pode ser visto na figura Figura A.(B+4).

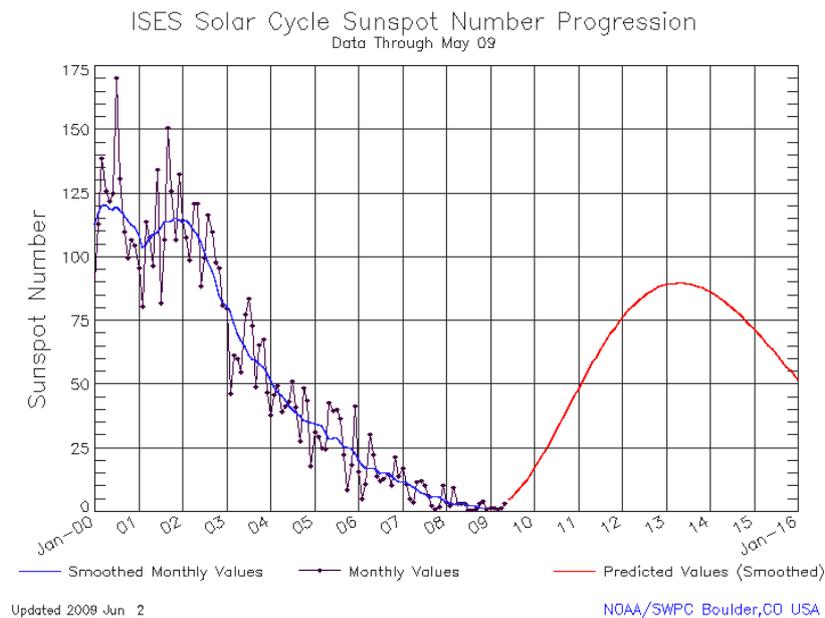


Figura A.(B+4) – Decaimento do ciclo solar 23, a situação atual (ciclo solar 24) e a provável progressão estimada. Fonte: <http://www.sec.noaa.gov/>

Durante o máximo do ciclo solar também há um grande aumento na ocorrência de fenômenos energéticos que surgem nas regiões ativas associados às manchas. Estes fenômenos são chamados de Explosões Solares e estão descritos em detalhes a seguir.

A explosão solar pode estar associada à Ejeção Coronal de Massa (EMC) e também à ocorrência das chamadas tempestades magnéticas na Terra. Outros efeitos relevantes da atividade solar são os prejuízos causados em comunicações, sistemas de navegação, órbita de satélites, exploração de recursos minerais, sistema de fornecimento de energia, oleodutos, sistemas biológicos e também os danos das radiações ionizantes de origem solar que podem atingir missões espaciais tripuladas colocando em risco a vida dos astronautas pela exposição à grande quantidade de radiação.

2.4 – As Explosões Solares

As explosões solares foram observadas pela primeira vez, em 1859, por R. C. Carrington e R. Hodgson, enquanto eles observavam manchas solares e visualizaram um grande aumento da intensidade luminosa em uma destas regiões. Estes fenômenos caracterizam-se pela emissão de grandes quantidades de energia ($10^{26} - 10^{32}$ erg), em

intervalos de tempo relativamente curtos, variando de alguns segundos a até poucas horas para os fenômenos mais intensos.

A energia cinética e térmica liberada é proveniente da energia magnética armazenada na atmosfera solar, no interior de locais conhecidos como regiões ativas e manchas solar, como descrito anteriormente. Toda essa energia, que não chega a 10% de toda a energia emitida pelo Sol durante 1 segundo, provoca o aquecimento e aceleração dos elétrons, prótons e íons mais pesados presentes nos locais de liberação de energia em sua vizinhança próxima. A interação das partículas energizadas com o meio ambiente provoca emissão de energia, na forma de radiação, que se distribui por grande parte do espectro eletromagnético, estendendo-se desde ondas quilométricas de rádio a raios-X e raios-gama, podendo produzir também a emissão de partículas (íons e elétrons) de alto valor energético. Uma Explosão Solar típica produz uma quantidade de energia equivalente a cerca de 40 bilhões de vezes à energia da bomba atômica lançada em Hiroxima.

Uma Explosão Solar também pode estar associada à expulsão de grandes quantidades de matéria a velocidades que variam de centenas a poucos milhares de quilômetros por segundo, conhecidos como Ejeção Coronal de Massa (CME), mas que também pode ocorrer dissociado de qualquer Explosão Solar. Algumas Explosões Solares também estão associadas à ocorrência das chamadas tempestades magnéticas na Terra, que quando muito intensas causam grande perturbação na magnetosfera terrestre, podendo até mesmo causar um "blecaute" em sistemas de telecomunicação.

Uma Explosão Solar pode apresentar três fases distintas: 1) Fase precursora: caracteriza o período em que a liberação de energia é ativada, neste estágio são emitidos raios-X moles; 2) Fase impulsiva: fase na qual as partículas, elétrons e prótons, são energizadas até valores acima de 1 MeV, esta fase pode ser observada em cerca de 90% das explosões; 3) fase de decaimento: onde uma queda gradual da radiação em raios-X moles pode ser observada.

Não é possível ver uma Explosão Solar olhando para o Sol a olho nu, instrumentos científicos desenvolvidos para esta finalidade são utilizados para registrar as características da radiação emitida durante uma Explosão Solar, radiotelescópios e telescópios ópticos são utilizados para as observações em solo terrestre. Enquanto isso, a observação das emissões em Ultravioleta, Raios-X e Raios-gama só é possível através de instrumentos específicos a bordo de satélites no espaço, isto porque as faixas de alta e media atmosfera bloqueiam a passagem destes comprimentos de onda até a superfície terrestre. A Figura 2.9 demonstra uma imagem do Sol no momento de uma das Explosões Solares mais intensas já registradas.

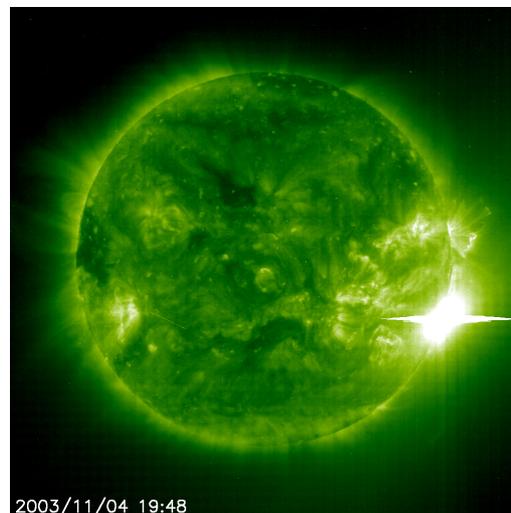


Figura 2.9 – Explosão Solar ocorrida no dia 04 de novembro de 2003, imagem obtida pelo satélite SOHO na banda do Extremo Ultravioleta EUV 195Å, esta Explosão Solar foi uma das maiores já registrada na banda de Raios-X.

Fonte: <http://sohowww.nascom.nasa.gov>

Um dos métodos utilizados para classificar a intensidade das Explosões Solares é de acordo com o seu brilho nas bandas de Raios-X, para comprimentos de onda na faixa de 1 a 8 Å. Para isso os satélites das séries *Geostationary Operational Environmental Satellites* (GOES) são tidos como uma das principais referências e monitoram este fluxo de Raios-X com o instrumento *X-ray Sensor* (XRS) a bordo de sua carga útil.

Há basicamente 3 categorias para a classificação das intensidades: Explosões da Classe X são os maiores eventos que podem causar black-out em telecomunicações e

tempestades de radiação. Classe M, são de média intensidade, normalmente causam perdas de sinais de rádio em altas latitudes. Em comparação as classes M e X as Explosões da Classe C causam poucos efeitos sobre a terra. Normalmente são mencionadas Explosões de classes menores como A e B, no entanto algumas vezes não são consideradas Explosões Solares, pois a variação da radiação é muito pequena, comparada com as anteriores. (Aschwanden, 1994).

A figura 2.10 demonstra uma imagem típica dos gráficos de dados dos Satélites GOES e a seleção de algumas Explosões Solares detectadas pelo NOAA em julho de 2000.

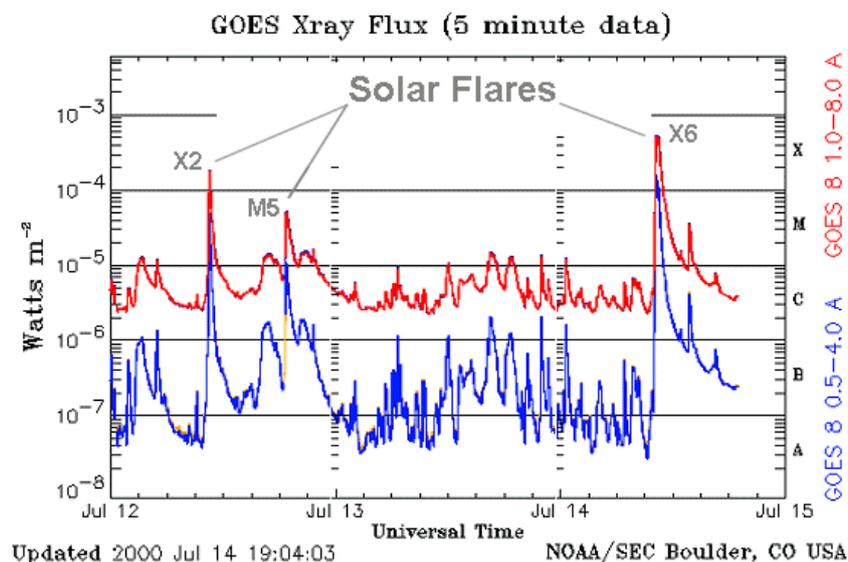


Figura 2.10 – Fluxo de radiação Solar monitorado pelos satélites das séries GOES para os dias 12, 13 e 14 de Julho de 2000 e as respectivas classificações quanto à intensidade da Explosão Solar.

Fonte: <http://www.spaceweather.com/>

Cada categoria de Explosão Solar em Raios-X possui nove subdivisões que vão desde C1 a C9, de M1 a M9 e de X1 a X9. O fluxo de radiação é descrito na tabela 2.1. Para os casos das Explosões Solares da Figura 2.11, temos que suas intensidades são respectivamente da esquerda para direita $I_1 = 2 \times 10^{-4} W/m^2$, $I_2 = 5 \times 10^{-5} W/m^2$ e $I_3 = 6 \times 10^{-4} W/m^2$. A intensidade da explosão Solar da Figura 2.10 é de $I = 28 \times 10^{-4} W/m^2$, sendo, portanto, uma das mais intensas já registradas.

Tabela 1.1– Classificação das Explosões solares conforme a sua intensidade.

Classe	Intensidade (W/m ²)
A	$I < 10^{-7}$
B	$10^{-7} \leq I < 10^{-6}$
C	$10^{-6} \leq I < 10^{-5}$
M	$10^{-5} \leq I < 10^{-4}$
X	$I \geq 10^{-4}$

Nos últimos três ciclos, notou-se um decréscimo no número absoluto de manchas solares, e conseqüentemente a quantidade de Explosões Solares aparentou uma diminuição. No entanto, o ciclo solar nº 23 apresentou Explosões Solares de intensidades muito altas, valores que ainda não tinham sido detectadas, o que ocasionou até em uma saturação na escala dos equipamentos dos satélites GOES, como foi ocorrido no dia 4 de novembro de 2003 (Tsurutani et. al., 2006). Alguns gráficos da representação dos últimos três ciclos de atividade solar podem ser visto na Figura 2.11.

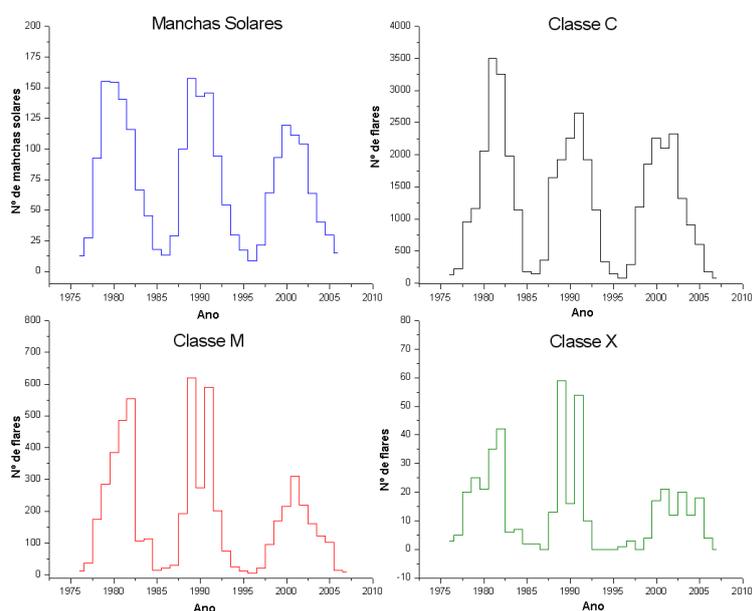


Figura 2.11– Representação gráfica do número absoluto de Manchas Solares e Explosões Solares das classes C, M e X para os três últimos ciclos de atividade Solar (ciclos 21, 22 e 23). Nota-se um decréscimo no número absoluto de todos os quatro gráficos para o último ciclo (ciclo solar nº 24), o que representa, estatisticamente, um ciclo de reduzida atividade solar.

CAPÍTULO 3

RELAÇÕES TERRA - SOL: A ATMOSFERA TERRESTRE E CONSEQUÊNCIAS DAS EXPLOSÕES SOLARES

Os fenômenos associados à atividade solar estão mais estreitamente relacionados com alguns fenômenos que ocorrem na Terra do que podemos imaginar. Assim como as explosões solares, o estudo dos CME também tem implicações importantes para a compreensão e a previsão dos efeitos da atividade solar na Terra e espaço. Quando um CME atinge a Terra pode gerar uma tempestade geomagnética cujos efeitos vão desde danos nas comunicações via satélite até a produção de "blecautes" em sistemas elétricos e de comunicação. Além disso, as ondas de choque produzidas pelos CMEs, na sua interação com o meio interplanetário, geram partículas energéticas que podem danificar equipamentos eletrônicos e aumentar a radiação sobre os astronautas de missões tripuladas no espaço com doses excessivas de radiações ionizantes. Isto ocorre porque no espaço não existem a Magnetosfera e as camadas protetoras da atmosfera terrestre, que absorvem e espalham a quase totalidade dessas radiações para fora da Terra. Por sua vez, as Explosões Solares ionizam diretamente a Ionosfera terrestre e também liberam partículas de alta energia para o espaço. Portanto, é necessário um maior conhecimento dos fenômenos de CME e Explosões Solares para se entender melhor e prever o Clima Espacial e os efeitos da atividade solar na Terra.

3.1 – A Ionosfera Terrestre

A Ionosfera é a porção ionizada da Atmosfera terrestre, localizando-se entre aproximadamente 70 km até em torno de 2000 km de altitude. Ela é o resultado da interação dos agentes ionizantes solares e cósmicos com os constituintes da Atmosfera neutra, gerando uma camada condutora de plasma. Uma vez formada a Ionosfera, seus íons e elétrons tendem a se recombinar e reagir entre si e com outras espécies para

produzir outros íons. Em termos gerais, a taxa de troca de densidade eletrônica é expressa pela equação da continuidade (Hargreaves, 1992):

$$\frac{\partial N}{\partial t} = q - L - \nabla \cdot (N\mathbf{v}), \quad (2.1)$$

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

Na Ionosfera terrestre encontramos diversos íons, porém alguns merecem destaque especial. Na sua porção superior (região F) ela é formada, basicamente, pelo íon de oxigênio atômico (O^+), porém se destacam o óxido nítrico (NO^+) e o oxigênio molecular (O_2) nas regiões inferiores (regiões E e F1). O íon de nitrogênio, apesar de importante íon primário, apresenta reações de perda para NO^+ bastante eficientes. Na sua porção mais baixa (região D) temos um comportamento dominado pela química. E nesta porção que encontramos íons super-hidratados e íons negativos.

A ionização das camadas da Ionosfera é realizada por diversos modos, no entanto, para este trabalho focamos a foto-ionização que é o processo no qual 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 disso, a radiação conhecida com Lyman- α também contribui significativamente para a produção iônica da Atmosfera Terrestre.

Devido as diferentes composições, processos de ionização, densidade eletrônica e altura, a Ionosfera é dividida em três regiões básicas: Região D, Região E e Região F, que por sua vez é subdividida em regiões F₁ e F₂. A Figura 3.1 ilustra as três camadas com suas respectivas alturas e densidades eletrônicas.

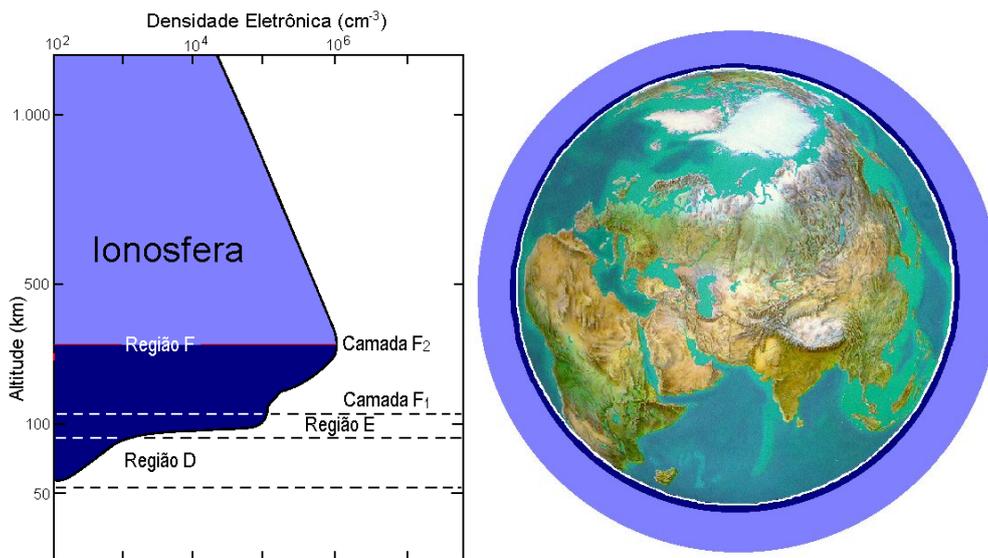


Figura 3.1 – (Esquerda) O perfil ionosférico e suas camadas. (Direita) Dimensão aproximada das camadas ionosféricas.
Fonte: Denerdini 1999,p.26

A Região D é a porção mais baixa da Ionosfera terrestre, ela é uma camada que inicia em torno dos 60 km e se estende até aproximadamente 95 km. Ela é muito importante do ponto de vista da radiopropagação (Kelley, 1989), pois pode atenuar ou refletir o sinal de rádio. No entanto, durante a noite essa camada tem sua densidade muito reduzida, a ponto de não ser detectada pela maioria dos equipamentos de rádio-sondagem utilizados para monitoramento ionosférico.

Dentre as camadas ionosféricas, a Região D é considerada a mais complexa do ponto de vista químico. Como causas principais podem citar a alta pressão e a grande variedade de fontes de ionização que contribuem 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 λ entre 2 e 8 Å);
- os raios cósmicos galácticos;
- as partículas de origem solar ou auroral.

A camada E inicia entorno de 90 km e se estende por aproximadamente mais 50 km. Durante a noite sua densidade eletrônica diminui significativamente, pois a radiação solar está iluminando o outro hemisfério. Ela possui dois íons majoritários: NO^+ e O_2^+ . É nesta região que ocorre a formação do Eletrojato Equatorial, que é um dos elementos mais relacionados com a ocorrência do fenômeno conhecido como *Magnetic Crochet*.

A camada F_1 tem início por volta dos 140 km e estende-se por aproximadamente 20 - 40 km. A espécie neutra molecular predominante nessa região é o N_2 . A espécie atômica predominante nessa região é o oxigênio (Kivelson e Russell, 1995). O íon majoritário é o O^+ e durante a noite a densidade eletrônica dessa região se reduz.

A Região F_2 localiza-se na parte mais alta da Ionosfera, em torno dos 300 km de altitude. 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, o de possuir íons atômicos como espécie predominante, os quais possuem menor taxa de recombinação. Há grande interesse no estudo da rádio propagação através desta região devido a ela possuir um grande número de irregularidades ionosféricas, as quais alteram significativamente as características do meio e apresentam um comportamento de difícil previsão.

3.2 – Efeitos das Explosões Solares na Ionosfera

As explosões solares emitem radiação ao longo de todo o espectro eletromagnético, mas é nas proximidades da banda do extremo ultravioleta (EUV) e dos Raios-X que os efeitos na Ionosfera terrestre são mais perceptíveis, principalmente nas camadas mais baixas como as regiões D e E. O fenômeno mais conhecido que envolve as Explosões Solares e a Ionosfera é o Distúrbio Ionosférico Súbito (*Sudden Ionospheric Sudden*) ou SID que é um súbito aumento na densidade de matéria ionizada (plasma) na camada D ionosférica. Tal fenômeno ocorre devido ao aumento característico da radiação solar, principalmente na faixa de raios-X de 1- 8 Å. O

resultado do SID é um rápido aumento na absorção das ondas de rádio, que é mais intenso na faixa das Altas frequências (HF), Figura 3.2. Portanto, suas implicações nas telecomunicações são frequentes interrupções, mas podendo chegar a blecautes de algumas horas.

Para a medição da intensidade deste efeito podem ser utilizados equipamentos que monitoram a intensidade na faixa de frequência HF, por tanto tendo uma redução abrupta da intensidade destas ondas, também chamada de Atenuação das ondas curtas (Short wave fadeout) (Contreira et. al., 2005). Além disso, pode ser usados sistemas em frequências muito baixas (Very Low Frequency – VLF) como a rede SavNet que monitora esta banda e neste caso haveria um acréscimo súbito, pois as camadas mais baixas da Ionosfera refletiriam tais ondas, aumentando sua intensidade em relação a um dia quieto.

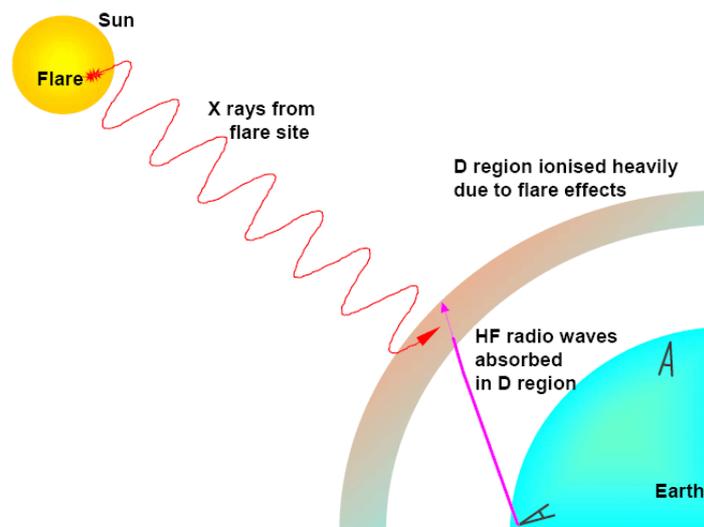


Figura 3.2 – Representação dos efeitos do fluxo de Raios-X das Explosões Solares na Ionosfera e na propagação de ondas de rádio para o hemisfério iluminado.

Fonte: <http://www.ips.gov.au>

Outro fenômeno que pode ocorrer na Ionosfera Terrestre é uma mudança química nas suas camadas mais baixas. Para o período do dia quieto, a concentração de íon predominante na alta Ionosfera é basicamente o oxigênio atômico O^+ . Na baixa Ionosfera os maiores íons produzidos são N_2^+ e O_2^+ que reagem e formam o NO^+ . No

entanto, na ocorrência das Explosões Solares o íon dominante nas camadas D e E passa ser O_2^+ ao invés de NO^+ (Baker et. al, 2000). Portanto, além do aumento da concentração de íons na Ionosfera, as Explosões Solares podem mudar significativamente as características químicas predominantes na baixas camadas da Ionosfera.

3.3 - Campo Geomagnético

A Terra está submersa em um grande campo magnético com importantes características. São diversos os fenômenos gerados devido a este campo, entre eles pode-se citar a orientação de uma bússola ao longo da superfície terrestre. Além disso, o Campo Magnético da Terra controla o movimento de íons presentes no ambiente espacial em que o planeta se encontra, impedindo a incidência direta de partículas vindas com o Vento Solar. Outra característica importante é a forma como o Campo Magnético afeta a propagação de ondas eletromagnéticas na Ionosfera, que torna o meio anisotrópico (condutividade ionosférica tensorial) (Campbell, 2003).

Acreditasse que os primeiros a fazerem uso prático de materiais como a magnetita foram os Chineses, utilizando-se de suas propriedades para construção de bússolas para orientação em suas viagens desde 215 a.C.. No entanto, o início do interesse do homem pelo Geomagnetismo é provavelmente muito mais antigo que isso, possivelmente surgidas já no Século XII a.C. por notícias na Mitologia dos próprios Chineses sobre o comportamento e propriedades do Campo Magnético Terrestre.

Um modelo estático do Campo Geomagnético não poderia explicar as variações de longo período que ocorrem no Campo e nem a reversão da polaridade magnética, que ocorre em intervalos de milhares de anos. Também fica excluída a hipótese do Campo Geomagnético ser originado por materiais magnético presentes no interior da Terra, visto que a altas temperaturas (acima da Temperatura de Curie) os materiais normalmente perdem suas características magnéticas.

A explicação aceita para a origem de cerca de 99% do Campo Geomagnético é a de um processo de indução eletromagnética que ocorre no interior da Terra, devido a fortes correntes elétricas que fluem na parte líquida do núcleo da Terra. Este fenômeno é conhecido como Dínamo Hidromagnético. O restante do Campo é considerado fruto de correntes elétricas presentes nas regiões ionizadas ao redor da Terra.

O sistema de correntes no núcleo não parece ser estável e homogêneo comparado com o modelo dipolar, este modelo mostra a presença de grandes anomalias ao longo da superfície Terrestre. Uma média aproximada pode ser dado por um campo de cerca de 30000 nT na Linha do Equador e 60000 nT nos pólos da Terra. Mas as anomalias apresentam milhares de quilômetros e podem apresentar dezenas de milhares de nanoteslas de variação. Além disso, a distribuição não uniforme de materiais magnéticos próximos a Crosta Terrestre também pode gerar anomalias em escalas bem menores, mas que podem alcançar algumas dezenas de nanoteslas.

A intensidade total do Campo Magnético Terrestre é comumente representada pela letra (F) e apresenta módulo, direção e sentidos definidos. Dessa maneira podemos atribuir ao Campo Geomagnético um comportamento vetorial, observado facilmente pela orientação de materiais magnéticos numa determinada direção geográfica.

Atualmente, o sistema de coordenadas mais aceito para a caracterização do Campo é ilustrado pela Figura 3.3.

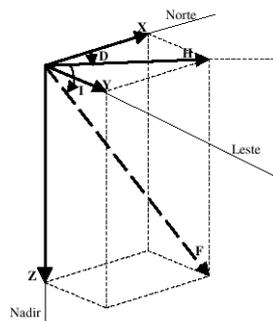


Figura 3.3 – Sistemas de coordenadas mais aceito dos elementos do vetor magnético, composto de elementos lineares e angulares.

Fonte: Barbosa, 2003

Os elementos vetoriais da Figura 1.1 podem ser 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.

3.3.1 – Anomalia Magnética do Atlântico Sul (AMAS)

Descoberta na década de 1950, a Anomalia Magnética do Atlântico Sul (AMAS) localizava-se sobre o atlântico, por este motivo recebeu este nome. Esta região apresenta atualmente a área de menor intensidade do Campo Geomagnético ao longo da superfície terrestre. A atual localização do menor valor do Campo Magnético está hoje situada no sudeste brasileiro, cerca de 700 Km da costa do Atlântico.

Acredita-se que essa anomalia é causada pelo fato de seu centro magnético não se localizar no núcleo da Terra, gerando assim um campo mais fraco no local da anomalia. Da mesma maneira como nos pólos terrestres, na região da AMAS a precipitação de partículas eletricamente carregadas acontece com maior facilidade. As partículas podem atingir as camadas menos elevadas da atmosfera terrestre, fazendo

dessa região, umas das mais vulneráveis ao efeito de precipitação de partículas energéticas e radiações.

Os efeitos das partículas energética em componentes modernos são de extrema importância em ser evitados, pois eles são extremamente sensíveis à radiação do meio espacial. A presença de alta energia e/ou partículas ionizada (prótons, íons pesados e elétrons) induzem diversos efeitos. Estes efeitos variam de redução de desempenho a disrupções funcionais que podem afetar os sistemas em operação. Satélites terão tempo de vida mais curto ou maior número de falhas (Duzellier, 2005).

Uma cartográfica de anomalias (perda de dados) observadas em memórias na órbita do satélite SAC-C (707 km x 98,2°) é apresentado na Figura 3.4.

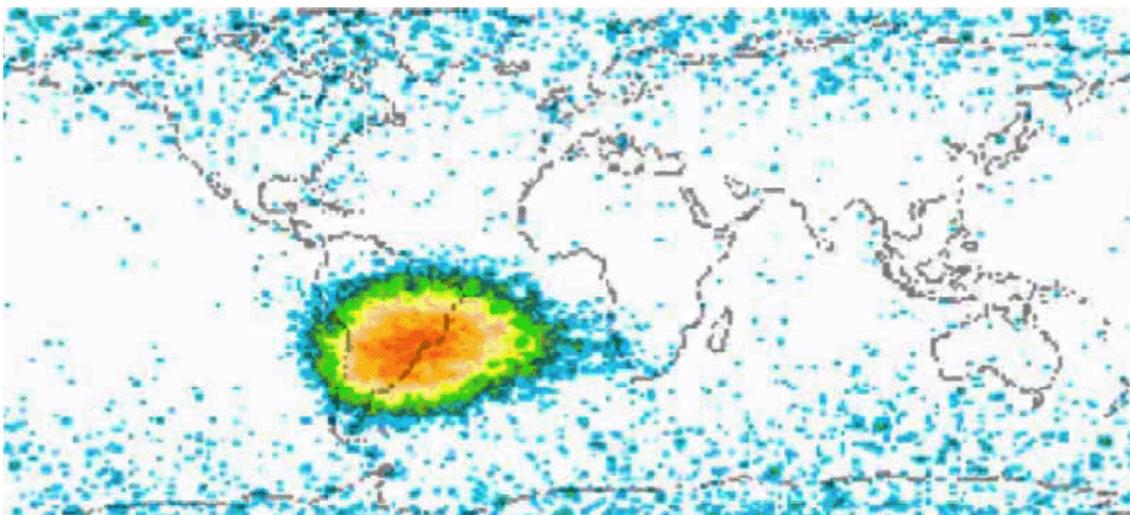


Figura 3.4 – Representação do mapeamento de densidades de erros nos dados a bordo do experimento ICARE, novembro de 2000 a setembro de 2002.

Fonte: D. Falguere et al, 2000, extraído de Duzellier, 2005

3.4 – Efeito das Explosões Solares na interação Magnetosfera-Ionosfera.

Na ocorrência de Explosões Solares de alta intensidade (classe X) identificamos, como mencionado anteriormente, um aumento significativo da ionização da Ionosfera nas camadas D e E. Esta ionização muda algumas propriedades, especialmente a

condutividade, destas regiões da Ionosfera, favorecendo o aumento de correntes elétricas nestas camadas. É o efeito magnético induzido destas correntes que produzem um salto na variação das componentes do campo geomagnético. Quando a intensidade de raios-X volta ao normal para um dia quieto, as camadas da Ionosfera rapidamente voltam ao estado previsto e as correntes voltam ao normal, encerrando neste ponto a brusca mudança no campo magnético da Terra. Tal fenômeno é denominado *Magnetic Crochet* e é difícil de ser detectado, pois necessita da ocorrência de grandes Explosões Solares na qual o fluxo de Raios-X varie rapidamente e que a região terrena detectora esteja próxima ao ponto subsolar.

Os gráficos abaixo (Figura 3.5) demonstram a ocorrência de um *Magnetic Crochet* para o dia 4 de novembro de 1997 durante uma explosão solar da classe X2 próximo as 06h00min (UT) em Canberra, Austrália. As 05h55min (UT) há um grande salto na curva de fluxo de Raios-X monitorado pelos satélites da série GOES, e decrescendo lentamente até apresentar um nível próximo ao antecedente da Explosão Solar. Satisfazendo assim, muitas das condições necessárias para a ocorrência deste fenômeno. (Rastogi, 2003)

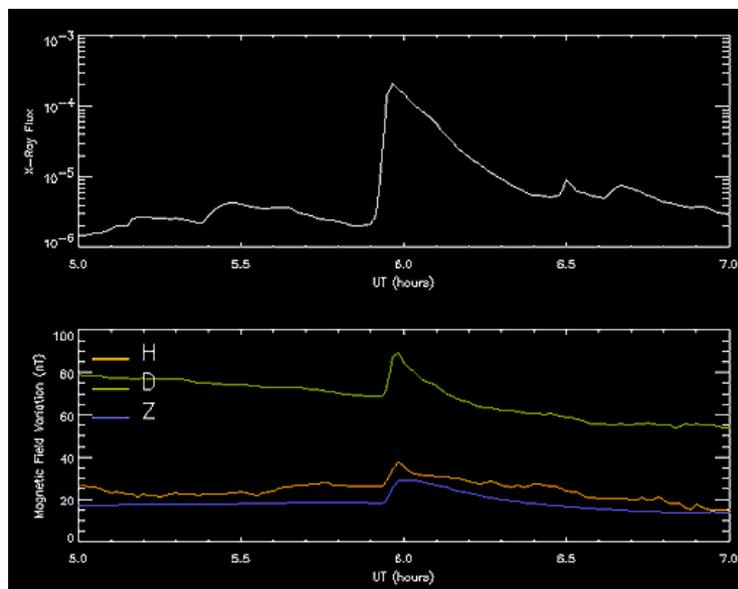


Figura 3.5 – Gráficos representativos da ocorrência do fenômeno Magnetic Crochet ocorrido às 06h00min (UT) do dia 4 de Novembro de 1997 em Camberra, Austrália.

Fonte: IPS – Radio and Space Services, site: <http://www.ips.gov.au/>

CAPÍTULO 4

INSTRUMENTAÇÃO PARA A COLETA DE DADOS REFERENTES À INTERAÇÃO TERRA-SOL

4.1 – Sensores de Raios-X dos satélites GOES

Os satélites da série GOES (*Geostationary Operational Environmental Satellite*) são operados pela NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*). Atualmente composto por 4 satélites geostacionários, GOES 8, 10, 11 e 12, eles têm como finalidade a monitoração da terra como a localização de queimadas, e para o estudo científico, como a meteorologia. A Figura 4.1, demonstra uma imagem ilustrativa do satélite GOES e a localização de cada um de seus instrumentos.

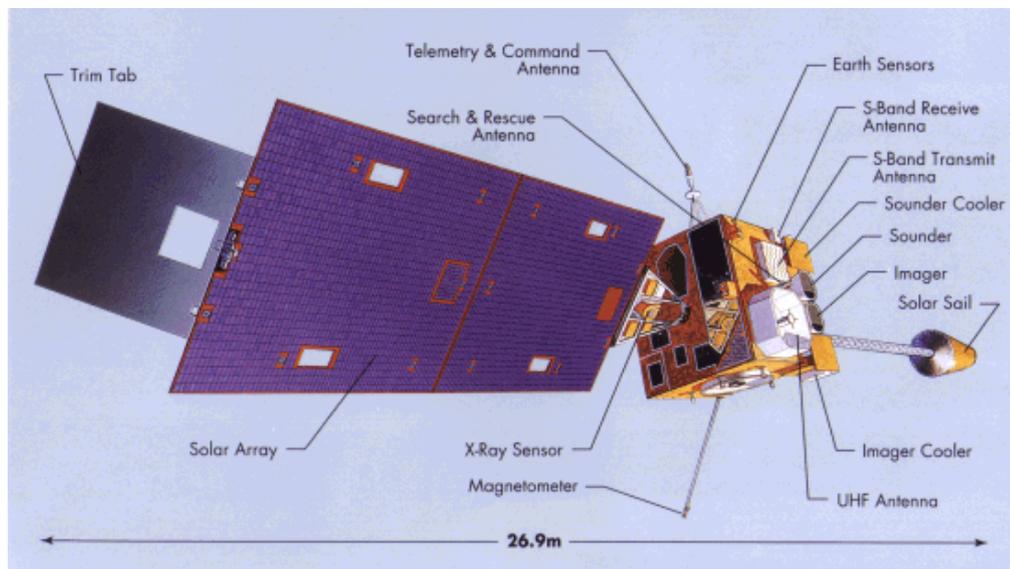


Figura 4.1 – Imagem representativa de um dos satélites da série GOES e as respectivas localizações de seus instrumentos dedicados a monitoração da Terra e de algumas características do Clima Espacial, também pode ser visualizado o instrumento X-ray Sensor, utilizado neste trabalho para a monitoração do fluxo de radiação solar no espectro dos Raios-X.

Fonte: <http://www.goes.noaa.gov/>

Mesmo sendo um satélite determinado à monitoração da Terra, ele possui alguns instrumentos destinados a observar o Sol em um nível de radiação e de emissões de Partículas de alta Energia. Sendo assim um satélite de grande importância para o estudo do Clima Espacial, em especial para as relações diretas com a radiação, como a aqui estudada a Explosão Solar.

O equipamento utilizado aqui para o monitoramento do fluxo de radiação Solar, destinado a identificar as Explosões Solares é o X-ray Sensor (XRS), Figura 4.2, que é composto de uma câmera de partículas que detectam raios-X vindo de todas as direções do Sol nos comprimentos de onda de 0.5 a 4Å e 1 a 8Å. Estas observações fornecem um meio sensível de detectar um súbito de radiação no início da Explosão Solar. Duas faixas são medidas para permitir a solidez do espectro solar a ser estimado. Fótons de raios-X passam por um Colimador que define o ponto de vista de abertura, para logo após entrar na câmera de íons. O arquivo completo tem uma resolução de aproximadamente 3.6 segundos.

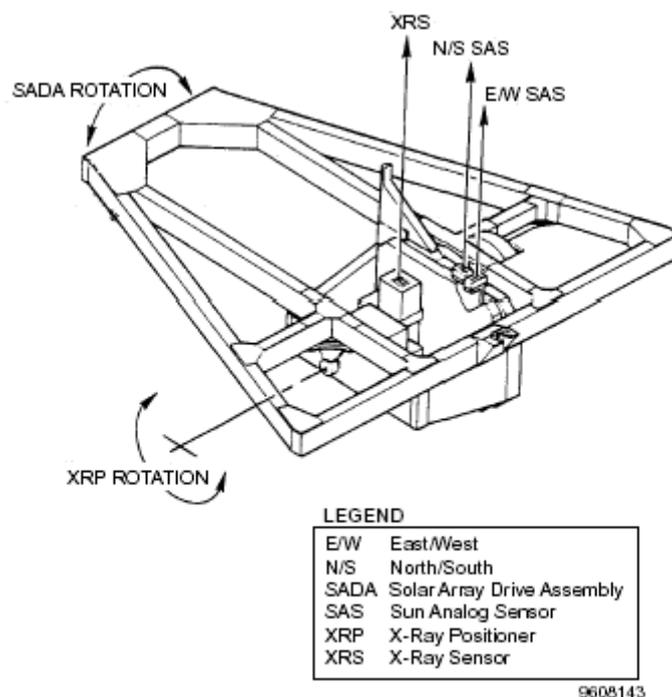


Figura 4.2 – Esquema representativo do instrumento X-ray Sensor (XRS), abordo dos satélites das séries GOES, que possui a finalidade de monitorar e identificar Explosões Solares através do monitoramento do fluxo de Raios-X provenientes da radiação solar.

Fonte: Ashwanden, 1994

Cientistas classificam Explosões Solares de acordo com o seu brilho em raio-X, em comprimentos de onda na faixa de 1 a 8 Angstroms. Há basicamente 3 categorias: Explosões da Classe X são os maiores eventos que podem causar black-out em telecomunicações e tempestades de radiação. Classe M, são de média intensidade, normalmente causam perdas de sinais de rádio em altas latitudes. Em comparação as classes M e X as explosões da Classe C causam poucos efeitos sobre a terra. Normalmente são mencionadas explosões de classes menores como A e B, no entanto algumas vezes não são consideradas Explosões Solares, pois a variação da radiação é muito pequena.

A figura 4.3 demonstra uma imagem típica dos gráficos de dados do instrumento XRS dos satélites GOES e a ocorrência de uma Explosão Solar de intensidade M1 detectada em 25 de março de 2008.

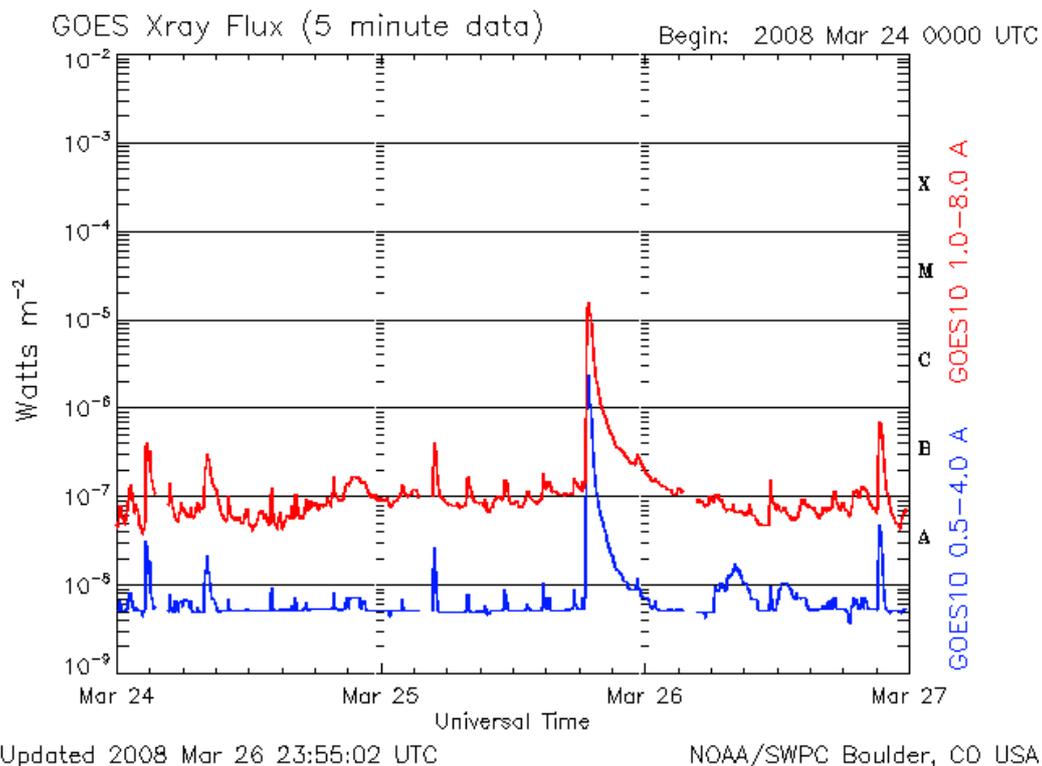


Figura 4.3 – Gráfico característico do fluxo de radiação Solar monitorado pelos satélites GOES para os dias 24, 25 e 26 de março de 2008. Fonte: <http://www.sec.noaa.gov/>

4.2 – Magnetômetros

Para identificar os efeitos das correntes elétricas perturbadas na Ionosfera e suas conseqüências no campo geomagnético, fenômeno denominado *Magnetic Crochet*, foram utilizados os magnetômetros empregados para o monitoramento da interação Terra-Sol no Observatório Espacial do Sul – OES/CRS/INPE – MCT, em São Martinho da Serra, RS. Os magnetômetros aqui utilizados para o estudo das interferências solares são do tipo *fluxgate*, que possuem a função de medir a magnitude e direção de campos magnéticos. Estes equipamentos têm seu funcionamento baseado no surgimento de uma força eletromotriz nos terminais de uma bobina detectora. Essa força tem origem devido à variação de fluxo magnético referente a um campo H_{ext} , o qual se deseja medir. No entanto, se não existe variação de fluxo magnético, nenhuma *fem* (força eletromotriz induzida) é gerada.

Magnetômetros de tipo *fluxgate* estão entre os mais práticos e versáteis instrumentos de medidas de campos magnéticos. Estes aparelhos são aptos a medir campos magnéticos de intensidade mínima e monitorar suas variações. Foram inventados no final da década de 1930 com a finalidade de substituir equipamentos mecânicos mais antigos e maiores, que necessitavam de períodos relativamente longos para realizar medidas. Estes equipamentos têm grande sensibilidade, na presença de campos magnéticos de 20 mil nanoteslas (unidade de medida magnética) podem detectar variações de 0,1 nanoteslas (seria o mesmo que observar, de uma distância orbital, e com precisão, trechos de 10 centímetros numa estrada de 20 quilômetros). Estes sensores desenvolvidos no Brasil apresentam uma taxa de ruídos que os classificam como sensores de alta resolução e de baixo nível de ruídos.

4.3 – Riômetro

Determinados dados deste trabalho foram adquiridos a partir do instrumento conhecido como Riômetro, instalado no Observatório Espacial do Sul – OES/CRS/INPE – MCT, em São Martinho da Serra, RS.

O Riômetro (do inglês Riometer - *Radio Ionosphere Opacity Meter*, ou seja, medidor de opacidade-relativa da Ionosfera) foi desenvolvido com técnicas de rádio-astronomia e vem mostrando-se uma poderosa técnica para o estudo da baixa Ionosfera. Em suma, pode-se dizer que os riômetros são utilizados como receptores de ruído cósmico que trabalham na frequência de 30 MHz, conectados a antenas do tipo *Yagi-Uda* (direcionais de cinco elementos) com um ângulo sólido de 30°. Este equipamento oferece um meio passivo de se obter informações a respeito do estado de ionização da baixa Ionosfera através da análise da variação da absorção do ruído cósmico.

Por ruído cósmico entende-se a radiação eletromagnética proveniente das mais diversas fontes no espaço. Quando o ruído cósmico atravessa a atmosfera parte da energia da onda é dissipada na Ionosfera sob a forma de energia cinética aos elétrons livres. No caso deste trabalho, o ruído cósmico é referente à radiação emitida pelo Sol, e, portanto, as bruscas variações da densidade eletrônica da Ionosfera, causada por abruptas variações do fluxo de Raios-X durante as Explosões Solares, que são facilmente detectadas pelo Riômetro.

CAPÍTULO 5

CARACTERÍSTICAS DE EXPLOSÕES SOLARES E SEUS EFEITOS VISTOS NOS EQUIPAMENTOS DO OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL

5.1 – Características de Explosões Solares

O fluxo de radiação Solar na banda de raios-X (0.5 a 8Å) é monitorado pela *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) através dos satélites das séries *Geostationary Operational Environmental Satellites* (GOES). Para monitorar este fluxo os satélites GOES portam o instrumento X-ray Sensor (XRS). É através dos dados disponibilizados pela NOAA que será baseado a análise das Explosões Solares e posteriormente comparada com os efeitos sobre a terra.

Para verificar as características das explosões solares, foi utilizada 35 Explosões Solares das classes e X, $I \geq 10^{-5} W/m^2$, do período de 25 de outubro a 5 de novembro de 2003 (Figura 5.1). Tal período foi selecionado devido a sua grande perturbação magnética, o que pode ser notado pelo número de eventos.

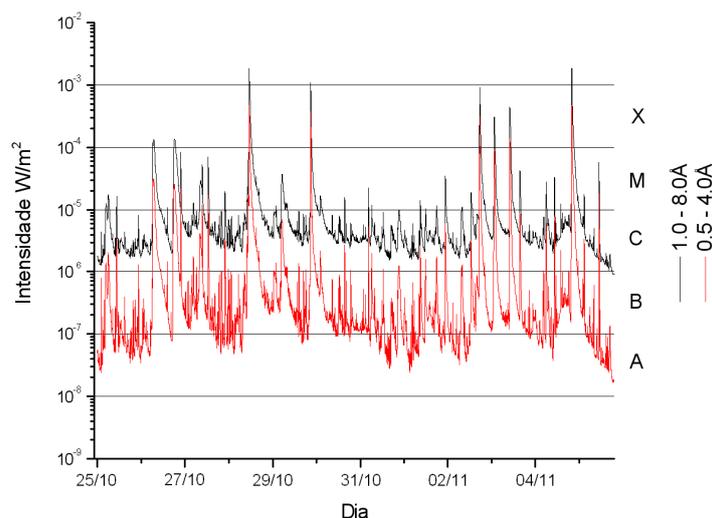


Figura 5.1 – Fluxos de Raios-X obtidos a partir dos dados dos satélites GOES para o período de 25 de outubro a 5 de novembro de 2003.

Para fazer uma análise estatística das características das Explosões Solares para o verificado período, determinamos os métodos para definir as características de horários de início, pico e fim de cada uma das Explosões Solares, bem como seu tempo de duração e a densidade de energia através da integral dos fluxos de Raios-X.

Para determinar o horário de pico (máxima intensidade) e sua intensidade neste instante, verificamos apenas os pontos críticos do fluxo de Raios-X e posteriormente suas respectivas amplitudes para o horário determinado.

Na etapa de verificar o início da Explosão Solar, buscamos uma metodologia na qual fossem obtidos horários próximos aos divulgados pelos relatórios da NOAA. Portanto, a característica encontrada nas curvas, foi que a derivada do fluxo de radiação em Raios-X fosse minimamente maior que a classe M4.

$$\frac{dI(t)}{dt} > 4 \times 10^{-4} \quad (4.1)$$

Apresentando assim, grande similaridade como os dados relatados pela NOAA.

Para determinar o fim da Explosão Solar, procuramos também obter semelhança aos dados do relatório da NOAA. Portanto, para satisfazer essas condições, o método utilizado para determinar o horário de fim da Explosão Solar é de que este deveria ser a média ponderada entre as intensidades de pico e inicial da Explosão Solar.

Como foi analisado um número muito grande de Explosões Solares, mencionaremos aqui, através de tabela, apenas as 12 Explosões Solares mais intensas, de intensidade superior a 5×10^{-4} , classe superior a M5. A Tabela 5.1 faz referência a estes dados.

Tabela 5.1– Resultados da Análise das características de Explosões Solares

Data do flare	Intensidade (classe)	Horário do Pico	Horário de Início	Horário de Fim	Integral (J/m ²)	Tempo de duração
26/10/2003	X1.2	06:52	05:57	07:32	6,09E-06	01:35
26/10/2003	X1.2	18:14	17:20	19:20	7,76E-06	02:00
26/10/2003	M7.6	21:40	21:34	21:47	4,94E-07	00:13
27/10/2003	M5.0	09:27	09:21	09:32	3,08E-07	00:11
27/10/2003	M6.7	12:43	12:28	12:52	7,57E-07	00:24
28/10/2003	X17.2	11:10	09:52	11:24	2,24E-05	01:32
29/10/2003	X10.0	20:49	20:36	21:01	1,07E-05	00:25
02/11/2003	X8.3	17:25	17:03	17:39	1,14E-05	00:36
03/11/2003	X2.7	01:29	00:59	01:45	4,66E-06	00:46
03/11/2003	X3.9	09:55	09:43	10:19	7,14E-06	00:36
04/11/2003	X28.0	19:44	19:29	20:07	2,89E-05	00:38
05/11/2003	M5.3	10:52	10:47	10:56	1,97E-07	00:09

5.2 – Efeito das Explosões Solares identificadas nos Magnetômetros

O Observatório Espacial do Sul OES/CRS/INPE-MCT possui magnetômetros que são destinados a monitorar a variação do Campo Magnético Terrestre. Tais dados são aqui analisados com a finalidade de encontrar efeitos das Explosões Solares conhecidos como *Magnetic Crochet* ou *Solar Flare Effect* (SFE).

Mesmo sendo um fenômeno raro de ser observado, de 40 Explosões Solares Super Intensas (Classe X) analisadas no intervalo de 2001 a 2005 para o período do dia no Brasil, em torno de 17 apresentaram alguma variação nas componentes do campo geomagnético no instante da Explosão Solar, portanto, um número bastante significativo para tal efeito.

A Tabela 5.2 demonstra uma análise estatística dos efeitos estudados para as três componentes do Campo Geomagnético (H, D, Z) e de seus respectivos comportamentos observados no Observatório Espacial do Sul.

Tabela 5.2 – Tabela de dados do comportamento das três Componentes do Campo Geomagnético na ocorrência de Explosões Solares super intensas.

Data	Horário (UT)	Classificação	H	D	Z
06/04/2001	19:21	X5.6	1	1	0
15/04/2001	13:50	X14.4	1	0	1
19/10/2001	16:30	X1.6	1	1	0
25/10/2001	14:58	X1.3	1	0	*
04/11/2001	16:20	X1.0	1	1	1
25/11/2001	09:51	X1.1	1	0	0
20/05/2002	15:27	X2.1	1	1	1
30/08/2002	13:29	X1.5	1	0	0
31/10/2002	16:52	X1.2	1	1	0
02/11/2003	17:25	X8.3	1	1	*
04/11/2003	19:50	X28.0	1	1	0
15/07/2004	18:24	X1.8	1	1	1
16/07/2004	13:55	X3.6	1	0	0
18/08/2004	17:40	X1.8	1	1	1
30/10/2004	11:46	X1.2	1	0	0
07/11/2004	16:06	X2.0	1	1	0
08/09/2005	21:06	X5.4	1	1	1

Para as componentes H, D e Z, há a seguinte classificação:

1 – Aumento na componente.

0 – Decréscimo na componente.

Quanto mais próximo ao meio-dia local (15:00 UT), maior é a possibilidade e a intensidade de ocorrer tais súbitos, como pode ser visto pela Figura 5.2. De acordo com a tabela acima temos que o horário de ocorrência variou das 09:51 às 21:06, portanto tendo como média as 16:00 e um desvio padrão de 3 horas.

Interessante verificar que, ao menos nestes casos estudados, as componentes magnéticas apresentaram certo comportamento, de acordo com este desenvolvimento podemos inferir para estes casos que:

- A componente H do campo magnético apresentou um aumento em todos os casos.
- A componente D sofreu um acréscimo quando ocorrido após o meio-dia local (15h00min UT) e um decréscimo quando ocorrido antes do meio-dia.
- A componente Z não apresentou nenhum comportamento característico.

O efeito mais intenso detectado, um *Magnetic Crochet* referente à Explosão Solar classificada como X14.4, no dia 15 de março de 2001, podem ser visto na Figura 5.2.

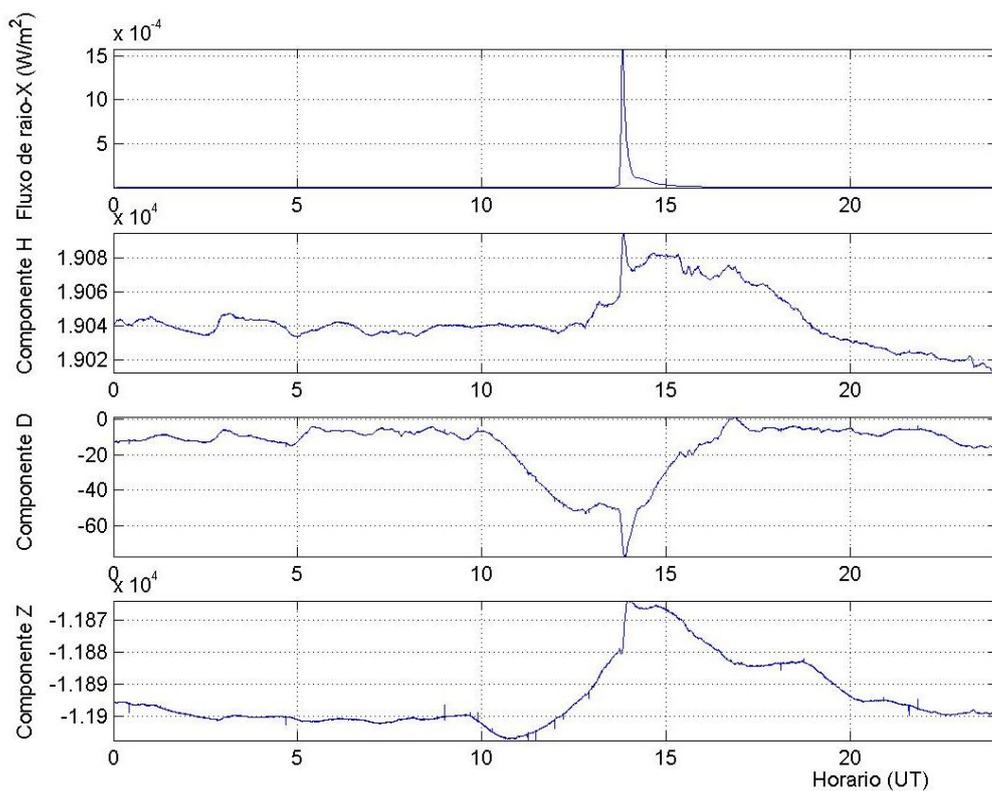


Figura 5.2 – Fluxo de radiação Solar e efeitos nas três componentes do campo geomagnético na ocorrência de uma Explosão Solar para o dia 15 de abril de 2001.

5.3 – Efeito das Explosões Solares identificadas no Riômetro

O Observatório Espacial do Sul OES/CRS/INPE-MCT possui instrumentos dedicados à monitoração Ionosférica, dentro os quais o Riômetro. O objetivo principal do Riômetro é o de medir a opacidade relativa da Ionosfera, tais dados são aqui analisados e interpretados com a finalidade de encontrar efeitos das Explosões Solares nas camadas mais baixas da Ionosfera, fenômeno conhecido como Distúrbio Ionosférico Súbito (DIS).

Para identificar a ocorrência da interferência das Explosões Solares na Ionosfera, através do Riômetro, é necessário que ocorra Explosões Solares de grande intensidade (Classes M e X). Devido a problemas e interferências nos equipamentos do Riômetro, foi possível verificar apenas 6 eventos claros de ocorrência dos distúrbios.

A Tabela 5.3 especifica os dias e intensidades, para os quais foi registrado o efeito das Explosões Solares nos dados coletados pelo Riômetro.

Tabela 5.3 – Tabela de dados das datas e características em que foram encontrados efeitos das Explosões Solares no Riômetro.

Datas dos efeitos identificados	Intensidade da Explosão Solar	Horário do evento (UT)
15/07/04	X1.6	18:24
16/07/04	X1.1	10:41
19/01/05	X1.3	08:22
05/12/06	X9.0	10:35
06/12/06	X6.5	18:47
14/12/06	X1.5	22:15

O efeitos mais intenso detectado da influência das Explosões Solares na Ionosfera, e conseqüentemente nas medições do Riômetro foi referente à Explosão Solar classificada como X14.4, no dia 6 de dezembro de 2006, assim como pode ser visto na Figura 5.3.

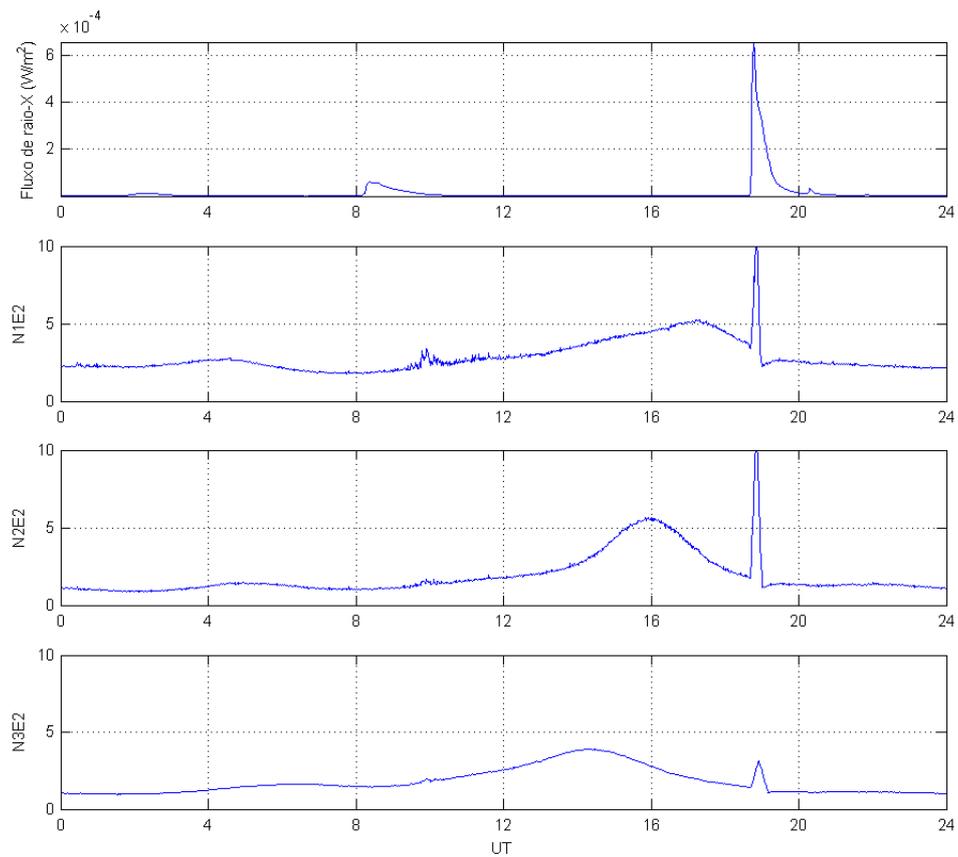


Figura 5.3 – Fluxo de radiação Solar em Raios-X e efeito da Explosão Solar identificado nos dados de três antenas do Riômetro para o dia 6 de dezembro de 2006.

CAPÍTULO 6

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

O estudo das Explosões Solares e de seus efeitos sobre a Terra foi desenvolvido em basicamente três partes: a revisão teórica básica, a identificação e análise das Explosões Solares (*flares*), e as atividades relacionadas a identificação das conseqüências das Explosões Solares na atmosfera terrestre pelos equipamentos dedicados à interação Terra - Sol do Observatório Espacial do Sul - OES/CRS/INPE–MCT, localizados em São Martinho da Serra, RS. Contudo, as atividades do bolsista não se restringiram somente aos aspectos relacionados ao fenômeno das Explosões Solares e seus conseqüências na Terra. O acadêmico desenvolveu atividades periódicas de monitoramentos dos índices de Radiação magnética Solar, das Ejeções Coronais de Massa (CME), Física de Plasmas e Raios Cósmicos. Neste contexto, o bolsista iniciou a análise estatística das atividades Solares, bem como o desenvolvimento de rotinas para análise de dados de equipamentos como os magnetômetros e o Riômetros. Cabe salientar que consideramos como resultados importantes para o desenvolvimento científico da bolsista o sua assimilação ao estudo e incentivo científico, bem como sua participação em eventos e elaboração de trabalhos científicos.

Nas seções que se seguem apresentamos alguns detalhes das atividades desenvolvidas pelo bolsista, em Santa Maria, RS, no âmbito da Parceria INPE – UFSM, no Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRS/INPE – MCT, além da teoria análise e conclusões já apresentada nos capítulos anteriores deste relatório.

6.1 – Revisão Teórica

Na primeira fase da vigência da Bolsa de Iniciação Científica do aluno, em Santa Maria, RS, no Programa PIBIC/INPE – CNPq/MCT, no período 2007-2008, foi dado início ao estudo teórico dos temas: Clima Espacial, Explosões Solares, Ejeção de Massa Coronal, Ionosfera Terrestre, Sondadores Ionosféricos, Magnetosfera Terrestre, Magnetômetros, bem como técnicas para análise da emissão de Raios-X Solar e de processamento de dados do âmbito Geofísico.

6.2 – Atividade de Pesquisa relacionada à fenomenologia das Explosões Solares

A segunda fase do Plano de Trabalho proposto no Programa PIBIC/INPE – CNPq/MCT, para ser desenvolvido no CRS/INPE – MCT, em Santa Maria, RS, diz respeito à análise do fluxo radiativo Solar na banda de Raios-X medido pelos satélites da série GOES, bem como, a aplicação do tratamento necessário para obtermos melhor qualidade na análise.

6.2.1 – Redução de Dados dos Satélites GOES

Dentre as atividades propostas ao Bolsista está à redução de dados dos Satélites GOES. Para isso, utilizamos os dados disponibilizados no Banco de Dados National Geophysical Data Center (NGDC) da NOAA. Para esta etapa do trabalho, enfatizamos o período de 25 de Outubro a 5 de Novembro de 2003, na qual houve uma atividade de grande Intensidade, sendo uma destas, a maior Explosão Solar já identificada. Portanto, foi feito gráficos para um dia inteiro, nos dias em que houve Explosões Solares Intensas, das Classes M e X, para os Satélites GOES-10, GOES-11 e GOES-12 nas bandas de comprimento de onda 0.5 a 4.0Å e 1.0 a 8.0Å.

Como exemplos dos resultados da redução dos dados, a seguir, são apresentados alguns gráficos do fluxo de Raios-X incidentes nos Satélites GOES. As Figuras 6.1, 6.2 e 6.3 referem-se aos gráficos do fluxo da Radiação para os dias 28 de outubro e para os dias 2 e 4 de novembro de 2003. Os dados foram reduzidos e analisados em Santa Maria, RS, no âmbito da Parceria INPE-UFSM, no Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais, CRS/INPE – MCT.

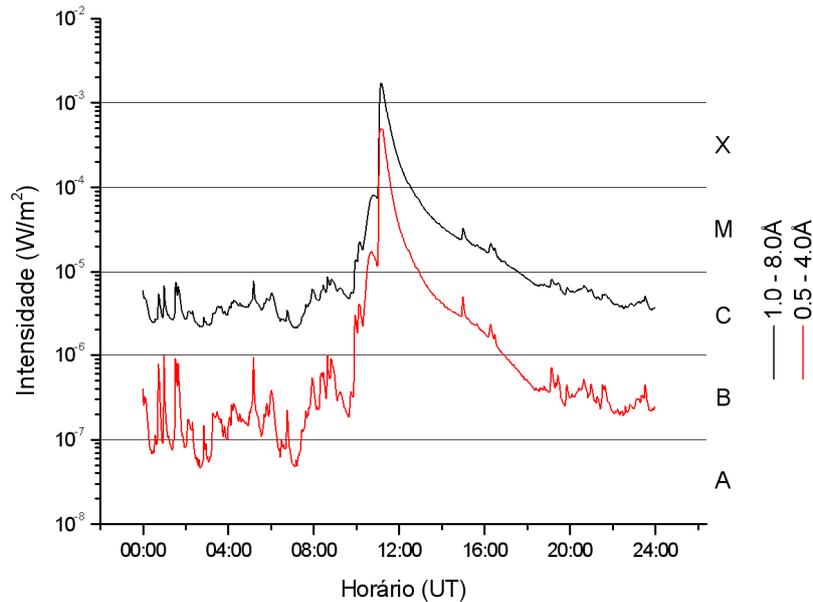


Figura 6.1 – Dados obtidos dos satélites das séries GOES para a intensidade do fluxo de radiação Solar para o dia 28 de outubro de 2003. As 11h10min (UT) o horário do pico da Explosão Solar de intensidade X17.2.

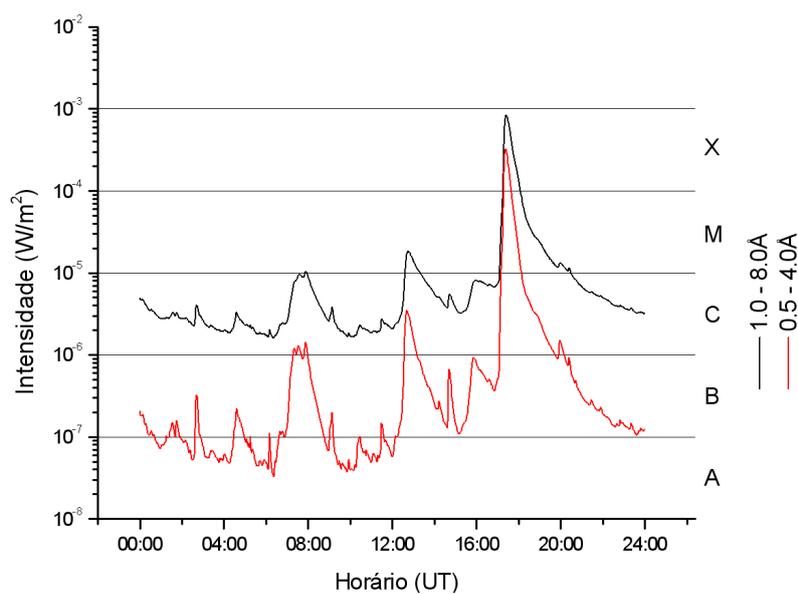


Figura 6.2 – Dados obtidos dos satélites das séries GOES para a intensidade do fluxo de radiação Solar para o dia 2 de novembro de 2003. As 17h25min (UT) o horário do pico da Explosão Solar de intensidade X8.3.

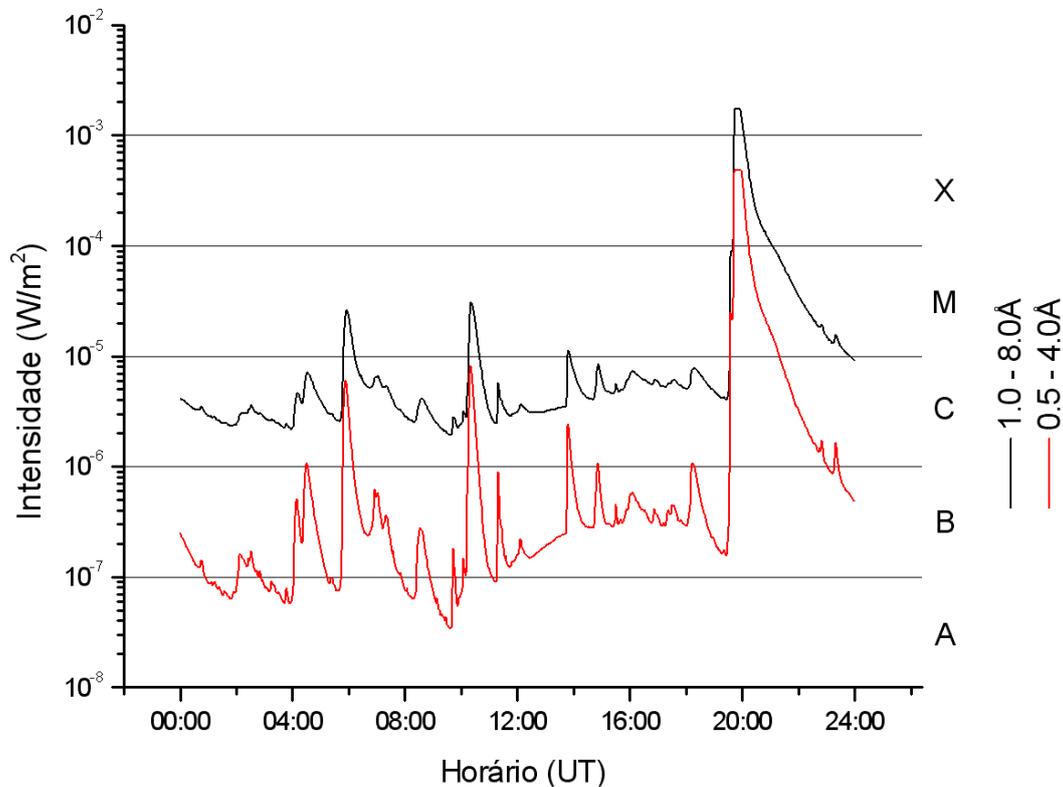


Figura 6.3 – Dados obtidos dos satélites das séries GOES para a intensidade do fluxo de radiação Solar para o dia 4 de novembro de 2003. As 17h25min (UT) o horário do pico da Explosão Solar de intensidade X28.

6.3 – Atividade de Pesquisa desenvolvida para a identificação dos Efeitos de Explosões Solares através de equipamentos

A terceira fase do Plano de Trabalho proposto no Programa PIBIC/INPE – CNPq/MCT, para ser desenvolvido no CRS/INPE – MCT, em Santa Maria, RS, diz respeito à identificação de interferências de Explosões Solares em equipamentos dedicados ao estudo da interação Terra – Sol, instalados no Observatório Espacial do Sul – OES/CRS/INPE – MCT, em São Martinho da Serra, RS. Os equipamentos utilizados neste trabalho foram os Magnetômetros e Sondadores ionosféricos como o Riômetro. Com essa instrumentação, podemos identificar na Ionosfera efeitos como o

Distúrbio Ionosférico Súbito (DIS) e o *Magnetic Crochet*, que provoca súbitas variações nas componentes do Campo Geomagnético. A tabela 6.1 demonstra os dias para os quais houve a identificação destes fenômenos.

Tabela 6.1 – Datas dos dados de cada equipamento onde foram encontrados efeitos das Explosões Solares.

Datas dos efeitos identificados nos Magnetômetros	Datas dos efeitos identificados no Riômetro
06/04/2001	15/07/04
15/04/2001	16/07/04
19/10/2001	19/01/05
25/10/2001	05/12/06
04/14/2001	06/12/06
25/11/2001	14/12/06
20/05/2002	
30/08/2002	
31/10/2002	
02/11/2003	
04/11/2003	
15/07/2004	
16/07/2004	
18/08/2004	
30/10/2004	
07/11/2004	
08/09/2005	

6.3.1 – Redução de Dados

Dentre as atividades propostas ao Bolsista está à redução de dados referentes aos instrumentos do Observatório Espacial do Sul utilizados para identificar efeitos interferentes de Explosões Solares de alta intensidade.

6.3.1.1 – Dados dos Magnetômetros

Na verificação do efeito *Magnetic Crochet*, utilizamos os Magnetômetros como o instrumento de monitoração. Como exemplos dos resultados da redução dos dados, a seguir, são apresentados alguns gráficos que demonstram as curvas de Raios-X e as respectivas componentes do Campo Magnético Terrestre. A rotina utilizada para explanação destes gráficos está disponível no Apêndice A. As Figuras 6.4, 6.5 e 6.6 representam alguns destes gráficos. Os dados foram reduzidos e analisados em Santa Maria, RS, no âmbito da Parceria INPE-UFSM, no Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais, CRS/INPE – MCT.

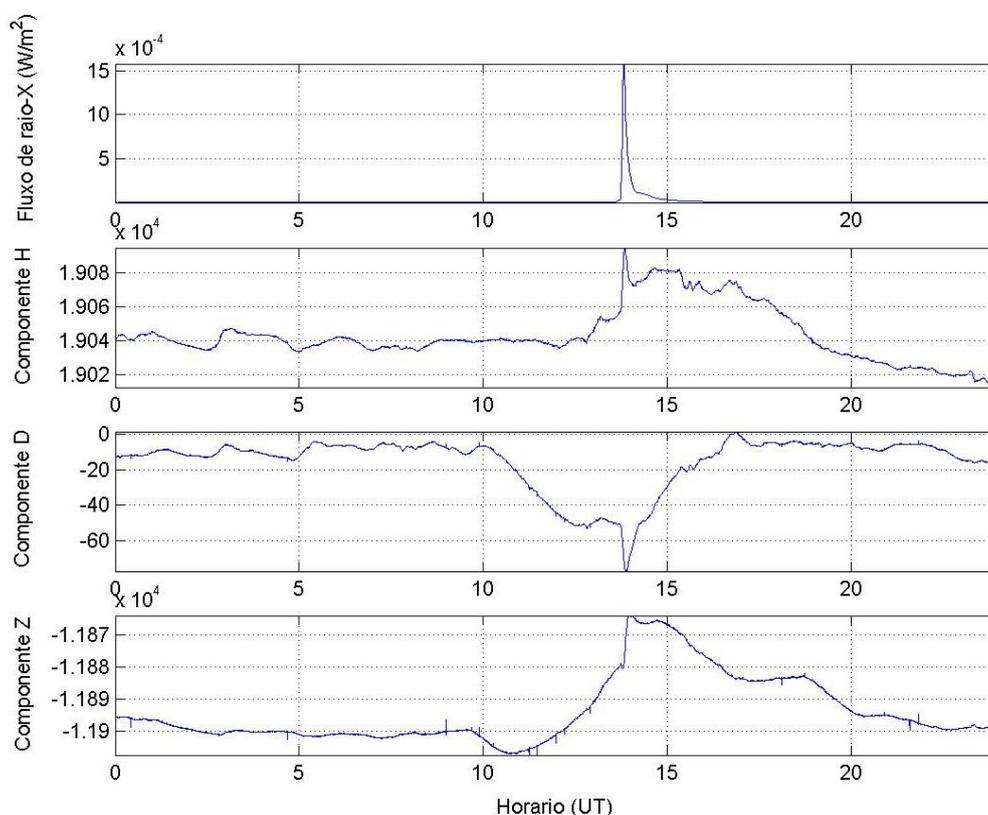


Figura 6.4 – Dados obtidos dos Satélites GOES e dos Magnetômetros do Observatório Espacial de Sul – OES/CRS/INPE – MCT, em São Martinho da Serra, RS, para o dia 15 de abril de 2001.

O primeiro gráfico representa a intensidade do fluxo de Raios-X emitido pelo Sol, e os demais gráficos representam à variação das três componentes (H, D, Z) do Campo Magnético Terrestre.

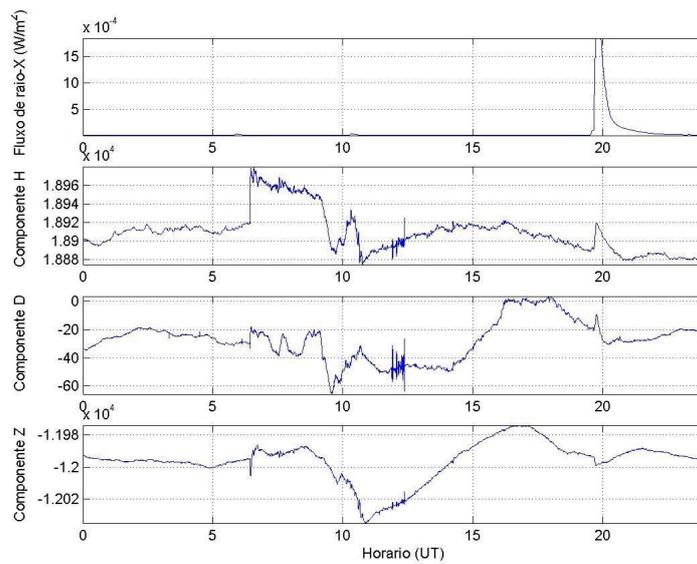


Figura 6.5 – Dados obtidos dos Satélites GOES e dos Magnetômetros do Observatório Espacial de Sul – OES/CRS/INPE – MCT, em São Martinho da Serra, RS, para o dia 4 de novembro de 2003. O primeiro gráfico representa a intensidade do fluxo de Raios-X emitido pelo Sol, e os demais gráficos representam à variação das três componentes (H, D, Z) do Campo Magnético Terrestre.

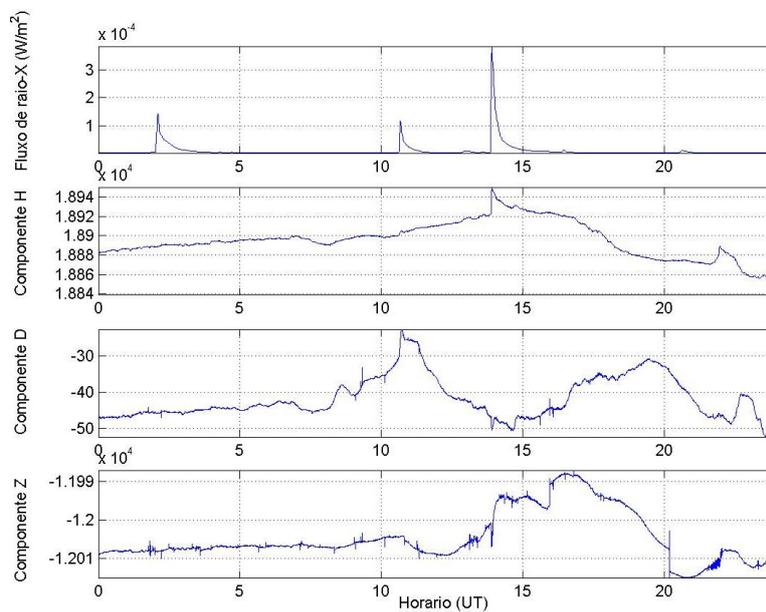


Figura 6.6 – Dados obtidos dos Satélites GOES e dos Magnetômetros do Observatório Espacial de Sul – OES/CRS/INPE – MCT, em São Martinho da Serra, RS, para o dia 16 de julho de 2004. O primeiro gráfico representa a intensidade do fluxo de Raios-X emitido pelo Sol, e os demais gráficos representam à variação das três componentes (H, D, Z) do Campo Magnético Terrestre.

6.3.1.2 – Dados do Riômetro

Na verificação do fenômeno denominado Distúrbio Ionosférico Súbito (DIS), foi utilizado o Riômetro como instrumento. Como exemplos dos resultados da redução dos dados, a seguir, são apresentados alguns gráficos que demonstram as curvas de Raios-X e os respectivos sinais captados por três das 16 antenas que fundamentam o Riômetro imageador. A rotina utilizada para explanação destes gráficos pode ser visto no Apêndice A. As Figuras 6.7, 6.8 e 6.9 representam alguns estes gráficos. Os dados foram reduzidos e analisados em Santa Maria, RS, no âmbito da Parceria INPE-UFSM, no Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais, CRS/INPE – MCT.

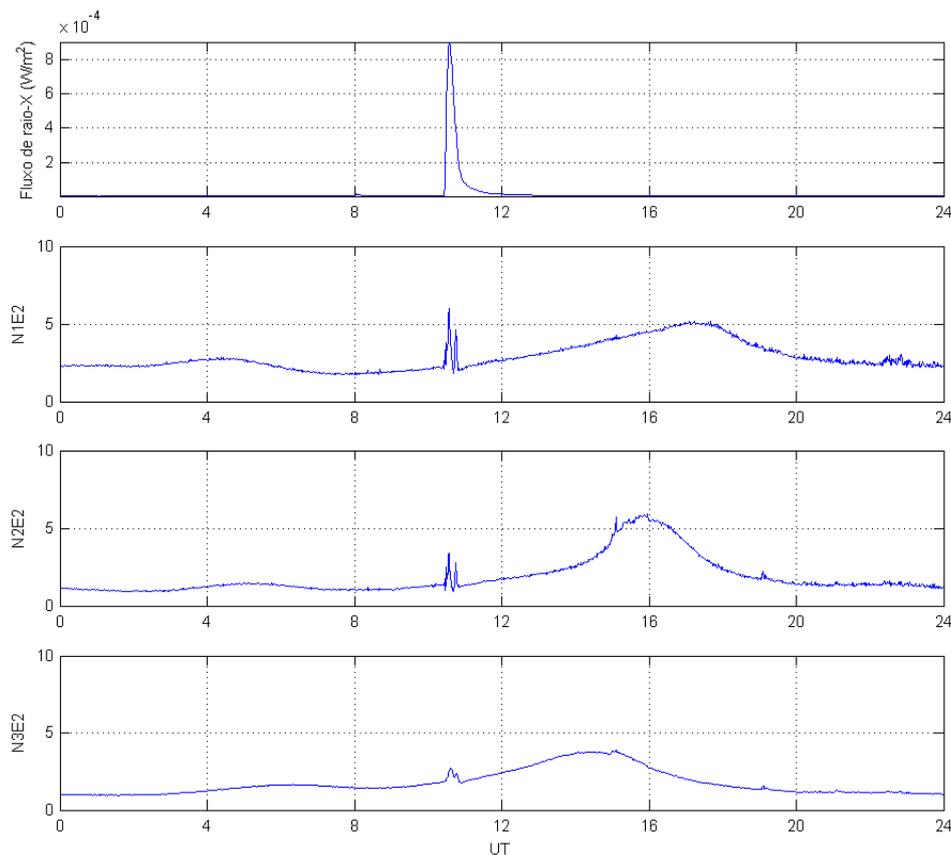


Figura 6.7 – Dados obtidos dos Satélites GOES da NOAA e do Riômetro do Observatório Espacial de Sul – OES/CRS/INPE – MCT, em São Martinho da Serra, RS, para o dia 5 de dezembro de 2006. O primeiro gráfico representa a intensidade do fluxo de Raios-X emitido pelo Sol, e os demais gráficos representam a intensidade medida por três antenas do Riômetro.

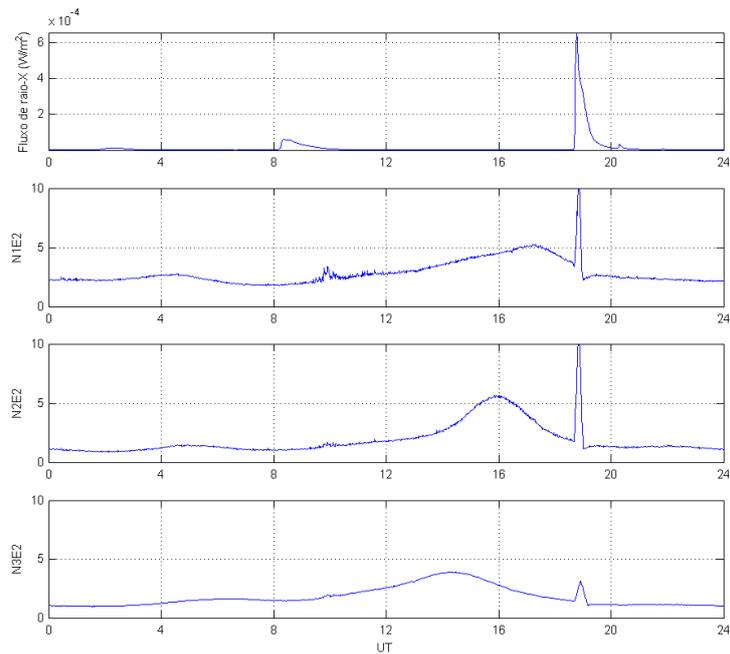


Figura 6.8 – Dados obtidos dos Satélites GOES da NOAA e do Riômetro do Observatório Espacial de Sul – OES/CRS/INPE – MCT, em São Martinho da Serra, RS, para o dia 6 de dezembro de 2006. O primeiro gráfico representa a intensidade do fluxo de Raios-X emitido pelo Sol, e os demais gráficos representam a intensidade medida por três antenas do Riômetro.

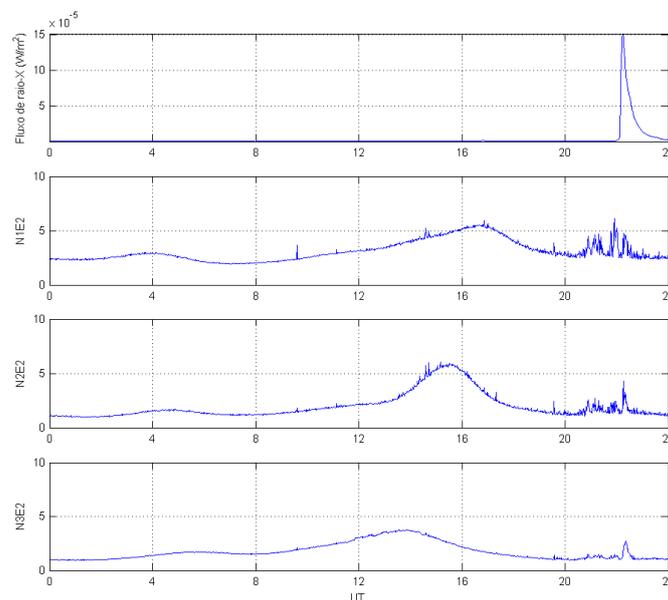


Figura 6.9 – Dados obtidos dos Satélites GOES da NOAA e do Riômetro do Observatório Espacial de Sul – OES/CRS/INPE – MCT, em São Martinho da Serra, RS, para o dia 14 de dezembro de 2006. O primeiro gráfico representa a intensidade do fluxo de Raios-X emitido pelo Sol, e os demais gráficos representam a intensidade medida por três antenas do Riômetro.

6.4 – Participação em Atividades de Extensão e Congressos

Durante o período do Projeto, o Bolsista participou de congressos, cursos e atividades de extensão. Estas atividades são de grande valia para o desenvolvimento pessoal e profissional dos bolsistas de Iniciação Científica e permitem que o futuro cientista entre em contato com a sociedade que almeja participar. Além disso, permitem que o bolsista de Iniciação Científica apresente alguns resultados preliminares para críticas e sugestões, elevando assim, o nível de seu trabalho. Sendo assim, listamos a seguir os eventos no qual o bolsista participou, juntamente com os títulos dos trabalhos apresentados.

Congressos – Participação com Apresentação de Trabalhos Científicos em 2007/08.

1 - Título: ESTUDO DOS EFEITOS DAS EXPLOSÕES SOLARES NA IONOSFERA TERRESTRE NO PERÍODO DE OUTUBRO A NOVEMBRO DE 2003.

Autores: Tardelli R. C. Stekel, Ezequiel Echer, Nelson J. Schuch, Lílian P. Moor, Samuel M. da Silva, Carlos R. Braga, Marcos V. Silveira, Nikolas Kemmerich.

Evento: INTERNATIONAL HELIOPHYSICAL YEAR SCHOOL – IHY.

Local: Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo – SP.

Período: 14 a 20 de fevereiro de 2008.

2 - Título: ANALISE DE ESTRUTURAS INTERPLANETÁRIAS UTILIZANDO DADOS DO SATÉLITE ACE E DA REDE INTERNACIONAL DE TELESCÓPIOS CINTILADORES DE MUONS.

Autores: Marcos V. Silveira, Alisson Dal Lago, Nelson J. Schuch, Carlos R. Braga, Samuel M. da Silva, Nikolas Kemmerich, Tardelli R. C. Stekel.

Evento: INTERNATIONAL HELIOPHYSICAL YEAR SCHOOL – IHY.

Local: Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo – SP.

Período: 14 a 20 de fevereiro de 2008.

3 - Título: ESTUDO DAS PROPRIEDADES DA FRENTE DE CHOQUE DE MERCURIO COM OBSERVAÇÕES DA MARINER-10.

Autores: Samuel M. da Silva, Ezequiel Echer, Carlos R. Braga, Nikolas Kemmerich, Marcos V. Silveira, **Tardelli R. C. Stekel**, Nelson J. Schuch.

Evento: INTERNATIONAL HELIOPHYSICAL YEAR SCHOOL- IHY.

Local: Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo – SP.

Período: 14 a 20 de fevereiro de 2008.

4 - Título: ESTUDO DAS PROPRIEDADES DA FRENTE DE CHOQUE DE MERCÚRIO COM DADOS DE MAGNETÔMETRO FLUXGATE E SENSOR DE PLASMA/ELÉTRONS.

Autores: Samuel M. da Silva, Ezequiel Echer, Nelson J. Schuch, Carlos R. Braga, Nikolas Kemmerich, Marcos V. Silveira, Fabrício D. Kummer, **Tardelli R. C.**

Stekel.

Evento: VI Latin American School of Geomagnetism - ELAG.

Local: Vassouras – RJ.

Período: 25 a 30 de novembro de 2007.

5 - Título: AMPLIAÇÃO DO PROTÓTIPO DE TELESCÓPIO MULTIDIRECIONAL DE RAIOS CÓSMICOS DE ALTA ENERGIA MUONS: PARTICIPAÇÃO NO DESENVOLVIMENTO TÉCNICO E DE ENGENHARIA, E ANÁLISE PRELIMINAR DOS DADOS.

Autores: Nikolas Kemmerich, Alisson Dal Lago, Nelson J. Schuch, Carlos R.

Braga, Samuel M. da Silva, Marcos V. D. Silva, Fabrício D. Kummer, **Tardelli R. C. Stekel.**

Evento: VI Latin American School of Geomagnetism - ELAG.

Local: Vassouras – RJ.

Período: 25 a 30 de novembro de 2007.

6 - Título: O USO DO TELESCÓPIO CINTILADOR DE MUONS DO OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL E DADOS DO SATÉLITE ACE PARA ESTUDO E PREVISÃO DO CLIMA ESPACIAL.

Autores: Nikolas Kemmerich, Alisson Dal Lago, Nelson J. Schuch, Carlos R. Braga, Samuel M. da Silva, Marcos V. D. Silva, **Tardelli R. C. Stekel.**

Evento: INTERNATIONAL HELIOPHYSICAL YEAR SCHOOL- IHY.

Local: Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo – SP.

Período: 14 a 20 de fevereiro de 2008.

Congressos – Trabalhos Aceitos para Apresentação em 2008.

1 - Título: A STATISTICAL STUDY OF THE GOES SOLAR X-RAY FLUX DURING M AND X CLAS FLARES IN THE EXTREME EVENTS OF OCTOBER AND NOVEMBER 2003.

Autores: **Tardelli R. C. Stekel**, Ezequiel Echer, Nelson J. Schuch, Carlos R. Braga, Samuel M. da Silva, Nikolas Kemmerich, Marcos V. D. Silveira, Fabrício D. Kummer.

Evento: 37th COSPAR Scientific Assembly.

Local: Montreal - Canadá.

Período: 13 a 20 de julho de 2008.

2 - Título: SPACE WEATHER FORECASTING – A MULTI DIRECTIONAL TELESCOPE FOR DETECTION OF HIGH ENERGY COSMIC RAYS – MUONS – SOUTHERN SPACE OBSERVATORY – BRAZIL.

Autores: Nelson J. Schuch, Alisson Dal Lago, Ezequiel Echer, Kazuoki Munakata, John W. Bieber, Marlos da Silva, Marcus L. Duldig, Paul Evenson, Zenjirou Fujii, Walter D. Gonzalez Alarcon, Chihiro Kato, Nikolas Kemmerich, Fabrício D. Kummer, Takao Kuwabara, Ismail Sabbah, Marcos V. D. Silveira, **Tardelli R. C. Stekel**, Carlos R. Braga, Ashot Chilingarian, Rainer Hippler, John E. Humble.

Evento: 37th COSPAR Scientific Assembly.

Local: Montreal - Canadá.

Período: 13 a 20 de julho de 2008.

3 - Título: A STUDY OF JUPITER'S MAGNETOPAUSE POSITION AND ORIENTATION.

Autores: Fabrício D. Kummer, Ezequiel Echer, Orimar A. Battistel, Saumel M. da Silva, Nikolas Kemmerich, Carlos R. Braga, Marcos V. D. Silveira, **Tardelli R. C. Stekel**, Nelson J. Schuch.

Evento: 37th COSPAR Scientific Assembly.

Local: Montreal - Canadá.

Período: 13 a 20 de julho de 2008.

Atividades de Extensão – Participação com Apoio Técnico.

1 - Título: VARREDURA ELETRÔNICA EM CONCURSO DE ADMISSÃO AOS CURSOS DE FORMAÇÃO DE SARGENTOS/2007

Local: Santa Maria, RS.

Forma de participação: Apoio tecnológico.

Período: 30 de outubro de 2007.

Carga horária: 12 horas.

CAPÍTULO 7

CONCLUSÕES

No Relatório os bolsistas demonstram as atividades desenvolvidas no Projeto **“ESTUDO DE CARACTERÍSTICAS DE EXPLOSÕES SOLARES E DE SEUS EFEITOS NA TERRA”**, que foi desenvolvido no período de Agosto de 2008 a Julho de 2009, no Laboratório de Clima Espacial do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – LCETM/CRS/INPE – MCT, em Santa Maria, RS.

Durante o período de execução do Projeto de pesquisa, foram desenvolvidos bons resultados tanto em um nível pessoal dos alunos, a possibilidade de interagir com estudantes e pesquisadores da área, como em um nível científico, com o alcance de resultados dos eventos estudados.

Os eventos estudados ao longo do Projeto estavam relacionados principalmente ao fluxo de Raios-X emitido pelo Sol durante as Explosões Solares que atingem a Terra em poucos minutos após a sua ocorrência e conseqüentemente possibilitavam a verificação de suas intensidades através de instrumentos tecnológicos.

Observou-se uma grande importância da física Ionosférica referente às conseqüências das Explosões Solares na Terra. Os distúrbios ionosféricos apresentaram-se responsável por efeitos interferentes na rádio-telecomunicação e principalmente como mediadora no efeito indutivo das correntes elétricas perturbadas no campo magnético terrestre.

Para o Brasil, os efeitos danosos das correntes geomagneticamente induzidas, ainda não se fizeram sentir plenamente. Contudo, na medida em que o aparato tecnológico for se sofisticando e a miniaturização aumentando, os equipamentos e sistemas tendem a ficar susceptíveis a danos ocasionados por Explosões Solares cujo estudo e prevenções dos surtos energéticos são de importância estratégica para o país, devido ao seu promissor desenvolvimento e a sua dimensão continental.

Para os eventos ocorridos em outubro e novembro de 2003, que foram os mais estudados, utilizaram-se dados dos sensores de Raios-X (XRS) dos satélites GOES,

imagens fornecidas pelos telescópios sensíveis a radiação Ultravioleta (EIT) do satélite SOHO. Para verificar os fenômenos, almejavam-se dados e imagens referentes aos horários de ocorrência dos fenômenos e de duração dos seus efeitos sobre a atmosfera terrestre.

Observando a fenomenologia dos campos magnéticos das regiões ativas na atmosfera Solar através de sucessivos gráficos e imagens, identificaram-se diversas interferências de efeitos geofísicos em equipamentos de observação da interação Terra-Sol do Observatório Espacial do Sul – OES/CRS/INPE – MCT. Verificou-se, portanto, a ocorrência de vários fenômenos no âmbito do Clima Espacial para a região brasileira localizado próximo ao centro da Anomalia Magnética do Atlântico Sul (AMAS).

Além de permitir aos acadêmicos o conhecimento e utilização de métodos científicos, o Projeto permitiu o desenvolvimento de diversas habilidades interpessoais e intrapessoal, bem como o incentivo à pesquisa científica e ao ingresso ao ambiente que atualmente almejamos participar.

O projeto teve o bolsista Tardelli Ronan Coelho Stekel, aluno do Curso de Engenharia Elétrica pela UFSM, substituído no mês de março do ano de 2009 pela acadêmica Aline Seeger Santos, aluna do Curso de Física Bacharelado pela UFSM. O bolsista Tardelli Ronan Coelho Stekel antes de ser substituído realizou uma visita a UNIVAP (Universidade do Vale do Paraíba) para interagir com Pesquisadores colaboradores do Projeto e adquirir mais conhecimentos referentes ao desenvolvimento futuro do Projeto.

A substituição de Tardelli Ronan Coelho Stekel por Aline Seeger Santos não prejudicou o andamento do Projeto de Pesquisa, visto que, ambos alunos passaram a colaborar e interagir nas várias fases subseqüentes do desenvolvimento do Projeto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aschwanden, M. J., *Irradiance observations of the 1-8 Å soft X-ray flux from GOES*, Solar Physics, v. 152, 53-59, 1994.

Avakyan, S. V., *Outlook for the creation of permanent solar EUV and soft x-ray radiation patrol*, Advances in Space Research, v. 21, 325-328, 1998.

Baker, D. N., *Effects of the Sun on the Earth's environment*, Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, v. 62, 1669-1681, 2000.

Kivelson, M. G.; Russel, C. T., *Introduction to Space physics*, Cambridge University Press, Cambridge, Great Britain, 1995

Oliveira Filho, K. S.; Saraiva, M. F. O., *O Sol – a nossa estrela*, UFRGS, 2001

Hargreaves, J. K., *The Solar-Terrestrial environment: An Introduction to Geospace – The Science of Terrestrial Upper Atmosphere, Ionosphere and Magnetosphere*, Cambridge University Press, Cambridge, Great Britain, 1992.

Parks, G. K., *Physics of Space Plasmas, An Introduction*, 2nd Edition, Westview Press, 2004.

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.

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

Suess, S. T.; Tsurutani, B. T., *From the Sun, Auroras, Magnetic Storms, Solar Flares, Cosmic Rays*, American Geophysical Union, 1998.

Contreira, D. B.; Rodrigues, F. S.; Makita, K.; Brum, C. G. M.; Gonzalez, W.; Trivedi N. B.; Da Silva, M. R.; Shuch, N. J.; *An experiment to study solar flare effects on radio-communication signals*, *Advances in Space Research*, v. 36, 2445-2459, 2005.

Barbosa, M. J. F., *Sistema de Medidas de Pulsações Geomagnéticas*. São José dos Campos, SP – 2003

Tsurutani, B. T.; Mannucci, A. J.; Iijima, B.; Guarnieri, F. L.; Gonzalez, W. D.; Judge, D. L.; Gangopadhyay, P.; Pap, J., *The extreme Halloween 2003 solar flares (and Bastille Day, 2000 Flare), ICMEs, and resultant extreme ionospheric effects: A review*, *Advances in Space Research*, v. 37, 1583-1588, 2006.

Tsurutani, B. T.; Judge, D. L.; Guarnieri, F. L.; Gangopadhyay, P.; Jones, A. R.; Nuttal, J.; Zambon, G. A.; Didkovsky, L.; Mannucci, A. J.; Iijima, B.; Meier, R. R.; Immel, T. J.; Woods, T. N.; Prasad, S.; Floyd, L.; Huba, J.; Solomon, S. C.; Straus, P.; Viereck, R., *The October 28, 2003 extreme EUV solar flare resultant extreme ionospheric effects: Comparison to other Halloween events and the Bastille Day event*, *Geophysical Research Letters*, v. 32, 2005.

Rastogi, R. G., *Effect of solar disturbances on the geomagnetic H, Y and Z fields in American equatorial electrojet stations I Solar Flare Effects*. *J. Ind. Gophys. Union*, v. 7, 43-51, 2003.

Duzellier, S., *Radiation effects on electronic devices in space*. *Aerospace Science and Technology*, n. 9, 93-99, 2005.

Campbell, W. H., *Introduction to Geomagnetic Fields, 2nd Edition*, Cambridge University Press, 2003.



APÊNDICE A

**ROTINAS IMPLMETADAS PARA A EXPLANAÇÃO DE GRÁFICOS
REFERENTE AOS DADOS DOS INSTRUMENTOS EMPREGADOS
ELABORADAS POR
*Tardelli Ronan Coelho Stekel***

*Relatório Final de Atividades*

```
%
% Rotina para plotar os graficos de identificacao do fenômeno Magnetic crochet.
%
clear
% Arquivo do Fluxo de Raio-X.
xraynome=input('Nome do arquivo X-ray: ','s'); % Grava o nome do arquivo
load(xraynome) % Abre o arquivo
eval(['xr=' xraynome(1:length(xraynome)-4) '']); % Grava em 'xr' o nome do arquivo sem .txt
% Arquivo do Magnetometro.
magnome=input('Nome do arquivo do magnetometro: ','s'); % Grava o nome do arquivo.
load(magnome) % Abre o arquivo.
eval(['mag=' magnome(1:length(magnome)-4) '']); % Grava em mag o nome do arquivo
% Eixo-X variando de 0 a 1.
xr(:,5)= (3600*xr(:,2) + 60*xr(:,3))./3600; % Transforma 'xr' em frações de horas.
mag(:,9)= (3600*mag(:,1) + 60*mag(:,2) + mag(:,3))./3600; % Transforma 'mag' em frações de horas.
% Valores maximos e minimos do eixo-y.
minI=min(xr(:,4));maxI=max(xr(:,4));
minH=min(mag(:,6));maxH=max(mag(:,6));
minD=min(mag(:,7));maxD=max(mag(:,7));
minZ=min(mag(:,8));maxZ=max(mag(:,8));
% Plot do fluxo de raio-X.
subplot(411); % Ativa o primeiro gráfico.
plot(xr(:,5),xr(:,4)); % Plota a 3ª linha de 'xr' em Y e 'A' em X.
grid on; axis([0 24 minI maxI]); % Ativa o grid. Arruma eixos.
ylabel('Fluxo de raio-X (W/m^2)'); % Titulo do grafico.
% Plot da Componente H.
subplot(412); % Ativa o segundo gráfico.
plot(mag(:,9),mag(:,6)); % Plota a 3ª linha de 'mag' em Y e 'B' em
X.
grid on; axis([0 24 minH maxH]); % Ativa o grid. Configura eixos.
ylabel('Componente H'); % Titulo do grafico.
% Plot da componente D.
subplot(413); % Ativa o terceiro gráfico.
plot(mag(:,9),mag(:,7)); % Plota a 4ª linha de 'mag' em Y e 'B' em
X.
grid on; axis([0 24 minD maxD]); % Ativa o grid. Configura eixos.
ylabel('Componente D'); % Titulo do grafico.
% Plot da componente Z.
subplot(414); % Ativa o quarto gráfico.
plot(mag(:,9),mag(:,8)); % Plota a 5ª linha de 'mag' em Y e 'B' em
X.
grid on; axis([0 24 minZ maxZ]); % Ativa o grid. Configura eixos.
ylabel('Componente Z'); % Titulo do gráfico.
xlabel('Horario (UT)');
%%
```

*Relatório Final de Atividades*

```
%
% Rotina para plotar os gráficos de identificação dos SIDs.
%
function plot_line_Raw4x4(IRfile, pmax)
% ----- station name ----- %
stname=upper(IRfile(end-2:end));
% ===== Set parameters ===== %
sampt=60;
yrng=[0,pmax];
mode_print=1;
fig_path=['\fig\',stname,'\'];

fontsize_axis=5;
fontsize_title=7;
% ===== Read IR data ===== %
[IRraw,Tvec,Datevec,Header,CALFM]=readIRste(IRfile);
IRpow=IRraw/4095*10; % unit = V

% ===== Check header info. ===== %
BSR=Header(1);
if Header(2)==0, nCh=8;
elseif Header(2)==1, nCh=4;
else
    error(['Bad data for File-Type (', num2str(Header(2)),')']);
end

% ----- Make string for date ----- %
if Datevec(1) < 90
    year=Datevec(1)+2000;
else
    year=Datevec(1)+1900;
end

% ===== Make Figure ===== %
fid=figure('paperorientation','portrait',...
    'papertype','A4');
set(fid, 'PaperUnits', 'centimeters');
papersize = get(gcf, 'PaperSize');
width=18;height=15;
left = (papersize(1)- width)/2;
bottom = (papersize(2)- height)/2;
myfiguresize = [left, bottom, width, height];
set(fid, 'PaperPosition', myfiguresize);

% ===== Plot IR raw data ===== %
sampr=sampt/BSR;
xraynome=input('Nome do arquivo X-ray: ','s');
load(xraynome);
eval(['xr=' xraynome(1:length(xraynome)-4) ':']);
A=0:24/length(xr):24;
subplot(4,1,1);
plot(A(1:length(xr)),xr(:,3));
grid on; axis tight;
    set(gca,'xlim',[0,24],...
        'xtick',[0:4:24],...
```

*Relatório Final de Atividades*

```
'fontname','Helvetica',...
'fontsize',7)
ylabel('Fluxo de raio-X (W/m^2));

for i=1:nCh-1
% for j=1:nCh
%i=1;
j=2;
%sampn=1;
subplot(4,1,i+1)
plot(Tvec(1:sampn:end),IRpow(1:sampn:end,i,j))
grid on; axis tight;
set(gca,'xlim',[0,24],...
'xtick',[0:4:24],...
'ylim',yrng,...
'fontname','Helvetica',...
'fontsize',7)
%title(['N',num2str(i),'E',num2str(j)])
if i==nCh-1
xlabel('UT')
end
%if j==1
ylabel(['N',num2str(i),'E',num2str(j)])
%end
if i==1 & j==1
titlestr=['Raw Data at tttt ',stname,'(',num2str(year),...
',',num2str(Datevec(2),'%.2d'),...
',',num2str(Datevec(3),'%.2d'),)'];
text(60,yrng(2)*1.3,titlestr,...
'horizontalalignment','center',...
'fontname','Helvetica',...
'fontsize',fontsize_title)
%end
end
end

% ===== Save figure ===== %
if mode_print==1,
if exist(fig_path)~=7
mkdir(fig_path);
end
filename=['Line_Raw4x4_',num2str(Datevec(1),'%.2d'),...
num2str(Datevec(2),'%.2d'),num2str(Datevec(3),'%.2d'),...
'.png'];
print(fid, '-dpng',[fig_path,filename]);
delete(fid);
end
% ===== End of file ===== %
```



APÊNDICE B

**TÍTULOS E RESUMOS DE TRABALHOS APRESENTADOS E SUBMETIDOS
NO PERÍODO DE VIGÊNCIA DA BOLSA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA
DE
*Tardelli Ronan Coelho Stekel***

1. **STEKEL, T. R. C. ; ECHER, E. ; SCHUCH, N. J. ; MOOR, L. P. ; SILVA, S. M. ; BRAGA, C. R. ; SILVEIRA, M. V. D. ; KEMMERICH, N. . ESTUDO DOS EFEITOS DAS EXPLOSÕES SOLARES NA IONOSFERA TERRESTRE NO PERÍODO DE OUTUBRO A NOVEMBRO DE 2003.** In: INTERNATIONAL HELIOPHYSICAL YEAR SCHOOL IHY, 2008, São Paulo. Anais da International Heliophysical Year School, 2008.

2. **SILVEIRA, M. V. D. ; LAGO, A. D. ; SCHUCH, N. J. ; BRAGA, C. R. ; SILVA, S. M. ; KEMMERICH, N. ; STEKEL, T. R. C. . ANALISE DE ESTRUTURAS INTERPLANETÁRIAS UTILIZANDO DADOS DO SATÉLITE ACE E DA REDE INTERNACIONAL DE TELESCÓPIOS CINTILADORES DE MUONS.** In: INTERNATIONAL HELIOPHYSICAL YEAR SCHOOL IHY., 2008, São Paulo. Anais da International Heliophysical Year School, 2008.

3. **SILVA, S. M. ; ECHER, E. ; BRAGA, C. R. ; KEMMERICH, N. ; SILVEIRA, M. V. D. ; STEKEL, T. R. C. ; SCHUCH, N. J. . ESTUDO DAS PROPRIEDADES DA FRENTE DE CHOQUE DE MERCURIO COM OBSERVAÇÕES DA MARINER-10.** In: INTERNATIONAL HELIOPHYSICAL YEAR SCHOOL- IHY, 2008, São Paulo. Anais da International Heliophysical Year School, 2008.

4. **KEMMERICH, N. ; LAGO, A. D. ; SCHUCH, N. J. ; BRAGA, C. R. ; SILVA, S. M. ; SILVEIRA, M. V. D. ; STEKEL, T. R. C. . O USO DO TELESCÓPIO CINTILADOR DE MUONS DO OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL E DADOS DO SATÉLITE ACE PARA ESTUDO E PREVISÃO DO CLIMA ESPACIAL.** In: INTERNATIONAL

HELIOPHYSICAL YEAR SCHOOL- IHY, 2008, São Paulo. ANAIS do International Heliophysical Year School, 2008.

5. **STEKEL, T. R. C. ; ECHER, E. ; SCHUCH, N. J. ; BRAGA, C. R. ; SILVA, S. M. ; KEMMERICH, N. ; SILVEIRA, M. V. D. ; KUMMER, F. D. . A STATISTICAL STUDY OF THE GOES SOLAR X-RAY FLUX DURING M AND X CLAS FLARES IN THE EXTREME EVENTS OF OCTOBER AND NOVEMBER 2003.** In: 37th COSPAR Scientific Assembly, 2008, Montreal. Anais da 37th COSPAR Scientific Assembly, 2008.

6. KUMMER, F. D. ; ECHER, E. ; SILVA, S. M. ; KEMMERICH, N. ; BRAGA, C. R. ; SILVEIRA, M. V. D. ; **STEKEL, T. R. C. ; SCHUCH, N. J. . A STUDY OF JUPITER'S MAGNETOPAUSE POSITION AND ORIENTATION.** In: 37th COSPAR Scientific Assembly, 2008, Montreal. ANAIS da 37th COSPAR Scientific Assembly, 2008.

7. SCHUCH, N. J.; LAGO, A. D.; ECHER, E.; MUNAKATA, K.; BIEBER, J. W.; DA SILVA, M.; DULDIG, M. L.; EVENSON, P.; FUJII, Z.; ALARCON, W. D. G.; KATO, C.; KEMMERICH, N.; KUMMER, F. D.; KUWABARA, T.; SABBAH, I.; SILVEIRA, M. V. D.; **STEKEL, T. R. C.**; BRAGA, C. R.; CHILINGARIAN, A.; HIPPLER, R.; HUMBLE, J. E. . **SPACE WEATHER FORECASTING – A MULTI DIRECTIONAL TELESCOPE FOR DETECTION OF HIGH ENERGY COSMIC RAYS – MUONS – SOUTHERN SPACE OBSERVATORY – BRASIL.** In: 37th COSPAR Scientific Assembly, 2008, Montreal. ANAIS da 37th COSPAR Scientific Assembly, 2008.

8. SILVA, S. M. ; ECHER, E. ; SCHUCH, N. J. ; BRAGA, C. R. ; KEMMERICH, N. ; SILVEIRA, M. V. D. ; KUMMER, F. D. ; **STEKEL, T. R. C. . ESTUDO DAS PROPRIEDADES DA FRENTE DE CHOQUE DE MERCÚRIO COM DADOS DE MAGNETÔMETRO FLUXGATE E SENSOR DE PLASMA/ELÉTRONS.** In: VI Latin American School of Geomagnetism - ELAG, 2007, Vassouras. Anais da VI Latin American School of Geomagnetism, 2007.

9. KEMMERICH, N. ; LAGO, A. D. ; SCHUCH, N. J. ; BRAGA, C. R. ; SILVA, S. M. ; SILVEIRA, M. V. D. ; KUMMER, F. D. ; **STEKEL, T. R. C. . AMPLIAÇÃO DO PROTÓTIPO DE TELESCÓPIO MULTIDIRECIONAL DE RAIOS CÓSMICOS DE ALTA ENERGIA MUONS: PARTICIPAÇÃO NO DESENVOLVIMENTO TÉCNICO E DE ENGENHARIA, E ANÁLISE PRELIMINAR DOS DADOS.** In: VI Latin American School of Geomagnetism - ELAG, 2007, Vassouras. ANAIS da VI Latin American School of Geomagnetism, 2007.

Estudo dos Efeitos das Explosões Solares na Ionosfera Terrestre no Período de Outubro a Novembro de 2003

T.R.C. Steckel^(1a), E. Echer⁽²⁾, N.J. Schuch⁽³⁾, L.P. Moor^(1b), S.M. da Silva^(1b),
C.R. Braga^(1a,c), M.V. Silveira^(1b), N. Kemmerich^(1b)

⁽¹⁾*Acadêmicos do Curso de Engenharia Elétrica^(1a) e de Física^(1b) da UFSM, Bolsistas PIBIC/INPE – CNPq/MCT^(a,b) e Estagiário INPE/MCT^(c), Parceria: CRS/INPE/MCT – LACESM/CT/UFSM, Santa Maria, RS, Brasil*

⁽²⁾*Divisão de Geofísica Espacial - DGE /CEA/INPE – MCT, São José dos Campos, SP, Brasil*

⁽³⁾*Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRS/INPE – MCT, Santa Maria, RS, Brasil*

A atividade solar apresenta um comportamento cíclico representado pelo ciclo de 11 anos, tendo um máximo solar e um mínimo solar. Durante o período de máximo solar ocorre um número maior de explosões solares, tendo um aumento nas “Ejeções de Massa Coronal – EMC”. No entanto, eventos extremos podem ocorrer em qualquer parte do ciclo solar. Durante os eventos do *Halloween* de 2003, a intensidade das explosões solares superou uma marca histórica e propiciou grandes efeitos na Ionosfera Terrestre, como o aumento da ionização e das bolhas de plasma em seu meio. Em 4 de novembro de 2003, ocorreu uma notável explosão solar que foi classificada como X-45, intensidade igual a $45 \times 10^{-4} \text{ W/m}^2$. Este evento solar foi muito mais intenso do que outras explosões solares registradas, trazendo grandes problemas para sistemas tecnológicos, principalmente para o sistema de navegação GPS. As explosões solares podem ser classificadas de várias formas, uma das quais envolve o fluxo de raios-X medido geralmente por instrumentos a bordo dos satélites da série GOES. Estes dados estão disponível via internet através do banco de dados do NOAA/SEC. O Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais e seu Observatório Espacial do Sul – OES/CRS/INPE – MCT, em São Martinho da Serra – RS possuem em suas instalações uma serie de instrumentos dedicados ao estudo das Interações Sol – Terra, e em especial, para o monitoramento da Ionosfera. Dentre os quais podemos citar o Sistema Monitor de Cintilação Ionosférica - SCINTMON, que consiste basicamente de duas antenas que monitoram a portadora L1 transmitida pelos satélites GPS, instaladas no Prédio Sede do Centro, em Santa Maria. Este trabalho, realizado no Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais - CRS/INPE - MCT, tem como principal objetivo analisar os dados de índices de raios-X para os meses de outubro e novembro de 2003, bem como apresentar seus respectivos efeitos na Ionosfera Terrestre na região da Anomalia Magnética do Atlântico Sul – AMAS.

Análise de Estruturas Interplanetárias Utilizando dados do Satélite ACE e da Rede Internacional de Telescópios Cintiladores de Muons

M.V. Silveira^(1,2), A. Dal Lago⁽³⁾, N.J. Schuch⁽¹⁾, C.R. Braga^(1,2),
S.M. Da Silva^(1,2), N. Kemmerich^(1,2), J.F. Thuorst^(1,2), T.R.C. Stekel^(1,2)

⁽¹⁾*Laboratório de Clima Espacial, Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais
CRS/INPE – MCT, Santa Maria, RS, Brasil*

⁽²⁾*Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria - LACESM/CT – UFSM,
Parceria INPE-UFSM, Santa Maria, RS, Brasil*

⁽³⁾*Divisão de Geofísica Espacial, Coordenação de Ciências Espaciais e Atmosféricas
DGE/CEA/INPE - MCT, São José dos Campos, SP, Brasil*

Com o grande desenvolvimento da tecnologia, o estudo da variabilidade solar é cada vez mais necessário, pois esta é a responsável por inúmeros danos aos sistemas de comunicação por satélites e transmissão de energia elétrica além de naves e estações espaciais. Seguindo essa linha, este trabalho tem como objetivo analisar estruturas interplanetárias através de dados de parâmetros de plasma, fornecidos pelo ACE (Advanced Composition Explorer) e pela Rede Internacional de Telescópios Cintiladores de Muons. As estruturas analisadas são as CMEs (Ejeções de Massa Coronais), que são estruturas de plasma liberadas pelo Sol, observadas na Coroa Solar, as quais muitas vezes atingem a Terra. As CMEs possuem um campo magnético e ao interagirem com a Magnetosfera podem ocasionar fortes flutuações do Campo Magnético Terrestre, denominadas Tempestades Geomagnéticas. Sua principal característica é um decréscimo na componente H, horizontal, do Campo Magnético Terrestre durante cerca de algumas dezenas de horas. Nesses eventos ocorre grande transferência de energia do vento solar para o Campo Magnético Terrestre, havendo precipitação de partículas energéticas do vento solar nas regiões aurorais, intensificando as correntes da Magnetosfera. O satélite ACE está localizado no ponto lagrangeano L1, coletando dados in-situ e a rede internacional de Telescópios Cintiladores de Muons encontra-se na superfície terrestre e faz a contagem de raios cósmicos (muons) de alta energia (>50 GeV). Todos os dados são analisados através de rotinas realizadas em linguagem IDL. Os resultados esperados são previsões de Tempestades Geomagnéticas. Em especial, estruturas de balanço de pressão cinética e magnética serão estudadas.

Estudo das Propriedades da Frente de Choque de Mercúrio com Observações da Mariner 10

S.M. da Silva^(1,2), C.R. Braga^(1,2), N. Kemmerich^(1,2), M.V. Silveira^(1,2),
J.F. Thuorst^(1,2), T.R.C. Stekel^(1,2), E. Echer⁽³⁾, N.J. Schuch⁽¹⁾

⁽¹⁾*Laboratório de Clima Espacial, Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais
CRS/INPE – MCT, Santa Maria, RS, Brasil*

⁽²⁾*Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria - LACESM/CT-UFSM,
Parceria INPE-UFSM, Santa Maria, RS, Brasil*

⁽³⁾*Divisão de Geofísica Espacial, Coordenação de Ciências Espaciais e Atmosféricas
DGE/CEA/INPE - MCT, São José dos Campos, SP, Brasil*

O estudo de frentes de choque planetárias nos proporciona uma visão importante a cerca do comportamento dos choques não colisionais no espaço interplanetário, sobre uma variedade de condições do vento solar e de diferentes tipos de obstáculos planetários. A frente de choque é formada devido à interação eletromagnética do vento solar supermagnetosônico com os obstáculos magnetizados (campo magnético intrínseco ou magnetosfera induzida) dos planetas. A natureza desta interação varia consideravelmente dependendo de uma variedade de fatores (módulo e direção do campo magnético, valor do parâmetro beta de plasma, número de Mach do vento solar, tipo de magnetosfera planetária, populações de plasma das magnetosferas, etc.). O objetivo deste trabalho é determinar o vetor normal (\hat{n}) à frente de choque e o ângulo (θ) entre o campo magnético interplanetário (CMI) upstream e o vetor normal utilizando o Teorema da Coplanaridade Magnética. Neste trabalho, analisamos as propriedades da frente de choque de Mercúrio através dos dados do vetor campo magnético obtidos pelo magnetômetro fluxgate a bordo da sonda espacial Mariner-10 em 29/03/1974 (*Mercúrio I*) e 16/03/1975 (*Mercúrio III*). Usando um procedimento estatístico, obtemos os vetores normais à frente choque, o ângulo (θ) e o desvio padrão relativo ao vetor normal e ao ângulo. Exemplos de cruzamentos de frente de choque para Mercúrio são apresentados.

O Uso do Telescópio Cintilador de Muons do Observatório Espacial do Sul e Dados do Satélite ACE para Estudo e Previsão do Clima Espacial

N. Kemmerich^(1,2), A. Dal Lago⁽³⁾, N.J. Schuch⁽¹⁾, C.R. Braga^(1,2),
S.M. da Silva^(1,2), M. Silveira^(1,2), J.F. Thuorst^(1,2), T.R. Stekel^(1,2)

⁽¹⁾*Laboratório de Clima Espacial do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais
CRS/INPE – MCT, Santa Maria, RS, Brasil;*

⁽²⁾*Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria - LACESM/CT – UFSM,
Parceria INPE - UFSM, Santa Maria, RS, Brasil;*

⁽³⁾*Divisão de Geofísica Espacial, Coordenação de Ciências Espaciais e Atmosféricas
DGE/CEA/INPE - MCT, São José dos Campos, SP, Brasil.*

O estudo do clima espacial está ligado à relação entre o Sol, o espaço interplanetário, a magnetosfera e a superfície terrestre. Dentre as principais estruturas ejetadas do Sol que chegam a Terra, as nuvens magnéticas são as principais causas de tempestades geomagnéticas. Estas nuvens se originam de ejeções de massa coronais solares e podem ser identificadas porque seus campos são mais intensos do que o campo magnético interplanetário (este é arrastado pelo vento solar). Sabe-se que a distribuição de raios cósmicos observados na Terra é praticamente uniforme em todas as direções. Ejeções de massa coronais interplanetárias blindam raios cósmicos vindos da direção do Sol, permitindo sua detecção várias horas antes de sua chegada na Terra, possibilitando prever a ocorrência de tempestades geomagnéticas. Os danos causados pelas tempestades são perda de dados de satélite, interferência em radares e black-out de energia elétrica, além de causarem as auroras nas calotas polares devido à perturbação na magnetosfera terrestre. Muons são partículas que se originam da colisão dos raios cósmicos com partículas da atmosfera terrestre. Com o objetivo de prevenir os danos tecnológicos foi instalado em 2001 o protótipo detector de raios cósmicos Muons de alta energia no Observatório Espacial do Sul - OES/CRS/INPE – MCT, constituído de 2 camadas de 4 detectores (2x2x2) com resolução temporal a cada hora. O detector foi expandido em 2005 com a diferença de ser constituído de 56 detectores (2x4x7) e com resolução temporal a cada minuto sendo 7 vezes mais preciso que o protótipo e integrando a Rede Internacional de Detectores de Muons. Para a identificação da chegada das estruturas interplanetárias geofetivas foram utilizados dados de plasma e de campo magnético interplanetário obtido pelo satélite ACE da NASA. O telescópio detector de raios cósmicos Muons mostra resposta à ocorrência de tempestades geomagnéticas na forma de decréscimo de 1% a 10% na contagem de muons.

A STATISTICAL STUDY OF THE GOES SOLAR X-RAY FLUX DURING M AND X CLASS FLARES IN THE EXTREME EVENTS OF OCTOBER AND NOVEMBER 2003

Mr. Tardelli Ronan Coelho Stekel, tardelli@lacesm.ufsm.br

Southern Regional Space Research Center - CRS/INPE - MCT - Brazil, Santa Maria, Brazil

Ezequiel Echer, eecher@dge.inpe.br

National Institute for Space Research-INPE-Brazil, Sao Jose Campos, Brazil

Nelson Jorge Schuch, njschuch@lacesm.ufsm.br

Southern Regional Space Research Center - CRS/INPE - MCT - Brazil, Santa Maria - RS, Brazil

Carlos Roberto Braga, carlos@lacesm.ufsm.br

Southern Regional Space Research Center CRS/INPE - MCT and Space Science Laboratory of Santa Maria

LACESM/CT - UFSM, Santa Maria, Brazil

Samuel Martins da Silva, samuel@lacesm.ufsm.br

Southern Regional Space Research Center - CRS/INPE - MCT - Brazil, Santa Maria, Brazil

Nikolas Kemmerich, nikolas@lacesm.ufsm.br

Southern Regional Space Research Center - CRS/INPE - MCT - Brazil, Santa Maria, Brazil

Marcos Vinicius Dias Silveira, silveira@lacesm.ufsm.br

Southern Regional Space Research Center - CRS/INPE - MCT - Brazil, Santa Maria, Brazil

Fabricio Deives Kummer, deives@lacesm.ufsm.br

Southern Regional Space Research Center - CRS/INPE - MCT - Brazil, Santa Maria, Brazil

During the declining phase of the solar cycle 23, the solar activity intensified to high levels, especially from mid-October through early November 2003, where there were some of the most intense solar flares measured in 1.0 to 8.0Å X-rays range, already registered. The Nov 4 event is the largest in the NOAA/GOES records, classified as an X28 flare, and the Oct 28 flare was the fourth most intense X17. The objective of this study is to analyze the phenomena of Solar X-ray flares during the period from October to November 2003 in order to use the Soft X-ray Sensors (XRS), onboard the Geostationary Operational Environment Satellites (GOES), operated by NOAA, since 1974. The XRS is a whole-disc X-ray photometer that measures in real-time the solar X-ray flux in the spectral range of 0.5 to 4.0Å (short Sun channel) and 1 to 8Å (long sun channel). This X-ray data can be obtained through the database of NOAA/SEC.

To investigate the XRS data in the period of the Halloween events, were determined 35 flares of the classes M (1×10^{-5}) and X (1×10^{-4}) in the 0.5-8.0Å wavelength from GOES10 and GOES12. This study consisted of determining the beginning and end of the flare, so then we can determine the intensity, integrated energy and the time duration of these solar flares. To compare this study with the actual effects, we also analyze images of the sun in the Extreme Ultra Violet (EUV) obtained from the Extreme ultraviolet Imaging Telescope (EIT), onboard the Solar and Heliospheric Observatory (SOHO). Some of the effects on earth upper atmosphere/ionosphere of these flares are also discussed.

A STUDY OF JUPITER'S MAGNETOPAUSE POSITION AND ORIENTATION

Mr. Fabricio Deives Kummer, deives@lacesm.ufsm.br

Southern Regional Space Research Center - CRS/INPE - MCT - Brazil, Santa Maria, Brazil

Ezequiel Echer, eecher@dge.inpe.br

National Institute for Space Research-INPE-Brazil, Sao Jose Campos, Brazil

Nelson Jorge Schuch, njschuch@lacesm.ufsm.br

Southern Regional Space Research Center - CRS/INPE - MCT - Brazil, Santa Maria - RS, Brazil

Orimar Antonio Battistel, orimar@ccne.ufsm.br

Universidade federal de Santa Maria-UFSM, Santa Maria, Brazil

Samuel Martins da Silva, samuel@lacesm.ufsm.br

Southern Regional Space Research Center - CRS/INPE - MCT - Brazil, Santa Maria, Brazil

Nikolas Kemmerich, nikolas@lacesm.ufsm.br

Southern Regional Space Research Center - CRS/INPE - MCT - Brazil, Santa Maria, Brazil

Carlos Roberto Braga, carlos@lacesm.ufsm.br

Southern Regional Space Research Center CRS/INPE - MCT and Space Science Laboratory of Santa Maria

LACESM/CT - UFSM, Santa Maria, Brazil

Marcos Vinicius Dias Silveira, silveira@lacesm.ufsm.br

Southern Regional Space Research Center - CRS/INPE - MCT - Brazil, Santa Maria, Brazil

Tardelli Ronan Coelho Stekel, tardelli@lacesm.ufsm.br

Southern Regional Space Research Center - CRS/INPE - MCT - Brazil, Santa Maria, Brazil

The solar wind is a supersonic magnetized fluid which continuously flows outwards from the solar atmosphere. When the solar wind flows through the solar system and encounters an obstacle such as a planetary magnetic field, a magnetosphere is formed. The boundary between the solar wind and a planetary plasma environment is the magnetopause. At this boundary, mass, momentum and energy exchange between the solar wind and the planetary environment occur. Jupiter has the largest and more complex magnetosphere of the solar system. The position and shape of Jupiter's magnetopause is determined by a balance between the solar wind dynamic pressure and the internal, magnetic plus plasma pressure of Jupiter magnetosphere. The objective of this work is to study the orientation and position of the Jupiter magnetopause, using magnetic field observations and the minimum variance analysis. To conduct this study, we use magnetopause crossing data from the Voyager-1, Voyager-2 and Ulysses spacecraft. Finally, the position of the magnetopause is investigated in relation to the ambient solar wind conditions.

SPACE WEATHER FORECASTING - A MULTI DIRECTIONAL TELESCOPE FOR DETECTION OF HIGH ENERGY COSMIC RAYS
- MUONS – SOUTHERN SPACE OBSERVATORY - BRAZIL

Dr. Nelson Jorge Schuch, njschuch@lacesm.ufsm.br
Southern Regional Space Research Center - CRS/INPE - MCT - Brazil, Santa Maria - RS, Brazil

Alisson Dal Lago, dallago@dge.inpe.br
National Institute for Space Research (Brazil), Sao Jose dos Campos - SP, Brazil

Ezequiel Echer, eecher@dge.inpe.br
National Institute for Space Research-INPE-Brazil, Sao Jose Campos, Brazil

Kazuoki Munakata, kmuna00@gipac.shinshu-u.ac.jp
Shinshu University, Matsumoto, Japan

John W. Bieber, jwbieber@bartol.udel.edu
Bartol Research Institute, Univ Delaware, Newark, Delaware, United States

Marlos Da Silva, marlosrs@gmail.com
National Institute for Space Research-INPE-Brazil, Sˆao Jos´e dos Campos, SP, Brazil

Marcus L. Duldig, Marc.Duldig@aad.gov.au
Australian Antarctic Division, Hobart, Tasmania, Australia

Paul Evenson, evenson@udel.edu
University of Delaware, Newark, New Jersey, United States

Zenjirou Fujii, fujii@stelab.nagoya-u.ac.jp
Solar-Terrestrial Environment Laboratory, Nagoya University, Nagoya, Japan

Walter Demétrio Gonzalez Alarcon, gonzalez@dge.inpe.br
National Institute for Space Research-INPE-Brazil, Sˆao Jos´e dos Campos, Brazil

Chihiro Kato, ckato@shinshu-u.ac.jp
Shinshu University, Matsomoto, Japan

Nikolas Kemmerich, nikolas@lacesm.ufsm.br
Southern Regional Space Research Center - CRS/INPE - MCT - Brazil, Santa Maria, Brazil

Fabricio Deives Kummer, deives@lacesm.ufsm.br
Southern Regional Space Research Center - CRS/INPE - MCT - Brazil, Santa Maria, Brazil

Takao Kuwabara, takao@bartol.udel.edu
University of Delaware, Newark, Delaware, United States

Ismail Sabbah, sabbah@kucdl.kuniv.edu.kw
Kuwait University, Kuwait, Kuwait

Marcos Vinicius Dias Silveira, silveira@lacesm.ufsm.br
Southern Regional Space Research Center - CRS/INPE - MCT - Brazil, Santa Maria, Brazil

Tardelli Ronan Coelho Stekel, tardelli@lacesm.ufsm.br
Southern Regional Space Research Center - CRS/INPE - MCT - Brazil, Santa Maria, Brazil

Carlos Roberto Braga, carlos@lacesm.ufsm.br
Southern Regional Space Research Center CRS/INPE - MCT and Space Science Laboratory of Santa Maria
LACESM/CT - UFSM, Santa Maria, Brazil

Ashot Chilingarian, chilingarian@aragats.am
Yerevan Physics Institute, Yerevan 36, Armenia

Rainer Hippler, hippler@physik.uni-greifswald.de
University of Greifswald, Greifswald, Germany

John E. Humble, John.Humble@utas.edu.au

University of Tasmania, Hobart, Tasmania, Australia

A multi-directional telescope for detection of high-energy galactic cosmic rays (GCRs) – muons was installed in 2001, through an international cooperation between Brazil, Japan and USA, and operated since then at the Southern Space Observatory - SSO/CRS/INPE - MCT, (29S, 53W), Sao Martinho da Serra, RS, in the south of Brazil. The telescope capability and sensitivity were upgraded in 2005. The observations conducted by this telescope are used for forecasting the arrival of the geomagnetic storm and their interplanetary coronal mass ejection (ICME) drivers in the near-earth geospace. The telescope measures high-energy GCRs by detecting secondary muons produced from the hadronic interactions of primary GCRs (mostly protons) with atmospheric nuclei. Since muons have a relatively long life-time (about 2.2 microseconds for muons at rest) and can reach the detector at ground level preserving the incident direction of primary particles, the telescope can measure the GCRs intensity in various directions with a multidirectional detector at a single location, such as in Brazil. ICMEs accompanied by a strong shock often forms a GCR depleted region behind the shock - this abrupt decrease of the GCR density (i.e. the isotropic intensity), is known as a Forbush decrease, which is a region of suppressed cosmic ray density located downstream of an ICME shock. The ICME arrival also causes a systematic variation in the GCR streaming (i.e. the directional anisotropy of intensity). The magnitude of the streaming is small (about 1 % or less), but its variation is relevant. Some particles from this suppressed density region traveling with about the speed of light leak into the upstream region, much faster than the approaching shock, creating the possibility of being observed, at earth's surface, by a network of ground based multi-directional telescopes, as precursory loss-cone anisotropy ahead of the upstream region. Loss-cones are typically visible 4-10 hours ahead of shock arrival for shocks associated with major geomagnetic storms. The Brazilian muon telescope, at SSO, is part of a global network on an international collaboration, consisting of 10 institutions from 7 countries. ICMEs traveling in interplanetary space and reaching the Earth - cause reduction in cosmic ray counts at the earths surface by one to ten percent, and can be detected sometimes as much as ten hours before their arrival at Earth - with the global network of muon detectors developed at Shinshu University, Japan, thus permitting accurate and reliable Space Weather forecasting.

AMPLIAÇÃO DO PROTÓTIPO DE TELESCÓPIO MULTIDIRECIONAL DE RAIOS CÓSMICOS DE ALTA ENERGIA – MUONS

Níkolás Kemmerich¹, Alisson Dal Lago², Nelson Jorge Schuch¹, Carlos Roberto Braga¹, Samuel Martins da Silva¹, Marcos Vinícius Dias Silveira¹, Fabrício Deives Kummer¹, Tardelli Ronan Coelho Stekel¹

¹CRS/INPE, ²INPE

O clima espacial está ligado à relação entre o Sol, o espaço interplanetário, a magnetosfera, alta e baixa atmosfera, e a superfície terrestre, além de estudar as origens e a previsão de tempestades geomagnéticas. Tempestades magnéticas são originadas por estruturas ejetadas do Sol chamadas de Ejeções de Massa Coronais (EMC), que têm sua ocorrência modulada pelo ciclo solar de 11 anos. A estrutura típica dessas EMCs observada no meio interplanetário é a de uma nuvem magnética, sendo uma das causas principais das tempestades. A motivação desse estudo é conseguir avanços no entendimento do Sol e sua influência no meio interplanetário, uma vez que na Terra há várias consequências decorrentes desses fenômenos e de sua variabilidade. Tempestades magnéticas são responsáveis pelo aparecimento das auroras nos pólos devido à perturbação da magnetosfera terrestre e são responsáveis por danos em sistemas tecnológicos, perda de dados de satélite, blackout de energia elétrica e interferência nas telecomunicações e em radares. Dados fornecidos pelo satélite ACE da NASA localizado no ponto lagrangeano, L1, permitem identificar a chegada desses distúrbios à Terra através do aumento da média da velocidade do vento solar, intensidade do Campo Magnético Interplanetário, densidade e temperatura. Na ocorrência das tempestades geomagnéticas parte dos raios cósmicos é blindada pela EMC quando se encontra no meio interplanetário próximo a Terra causando um decréscimo na taxa de contagem de muons. O muon é originado da colisão de raios cósmicos de alta energia (~50GeV) com partículas da atmosfera, conservando a direção do raio primário incidente. Com o objetivo de efetuar a previsão e, portanto, possibilitar a tomada de decisão para prevenir possíveis danos tecnológicos foi instalado em 2001 o protótipo detector de raios cósmicos muons de alta energia no Observatório Espacial do Sul (OES/CRS/INPE – MCT), constituído de 2 camadas de 4 detectores (2x2x2) com resolução temporal a cada hora. O detector foi expandido em 2005, passando a ser constituído de 56 detectores (2x4x7) e com resolução temporal a cada minuto, sendo 7 vezes mais preciso que o protótipo, otimizando o desempenho da Rede Mundial de Detectores de muons. O telescópio detector de raios cósmicos mostra resposta à ocorrência de tempestades geomagnéticas na forma de decréscimo de 1% a 10% na contagem de muons.

ESTUDO DAS PROPRIEDADES DA FRENTE DE CHOQUE DE MERCÚRIO COM DADOS DE MAGNETÔMETRO FLUXGATE E SENSOR DE PLASMA/ELÉTRONS

Samuel Martins da Silva¹, Ezequiel Echer², Nelson Jorge Schuch¹, Carlos Roberto Braga¹, Níkolos Kemmerich¹, Marcos Vinícius Dias Silveira¹, Fabrício Deives Kummer¹ e Tardelli Ronan Coelho Stekel¹

¹CRS/INPE, ²DGE/CEA/INPE

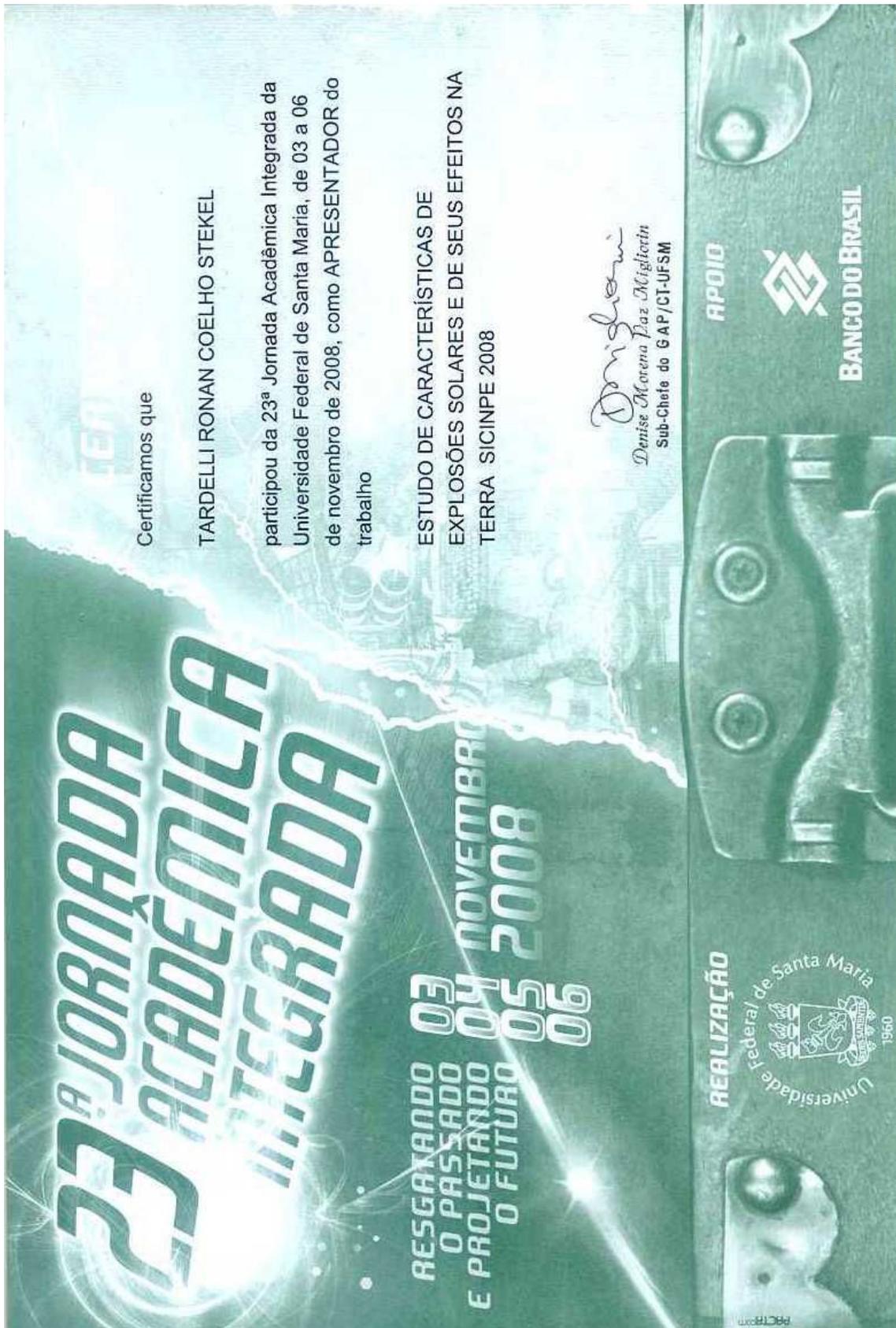
As frentes de choque planetárias são formadas devido à interação eletromagnética do vento solar supermagnetosônico com os obstáculos magnetizados (campo magnético intrínseco ou magnetosfera induzida) dos planetas. O estudo de frentes de choque planetárias nos proporciona uma visão importante acerca do comportamento dos choques não colisionais no espaço interplanetário. A natureza da interação varia consideravelmente dependendo de uma série de fatores (módulo e direção do campo magnético interplanetário, valor do parâmetro beta de plasma, número de Mach do vento solar, tipo de magnetosfera planetária, populações de plasma das magnetosferas, intensidade do campo magnético intrínseco do planeta etc.). O presente trabalho tem como objetivo determinar o vetor normal (n_s) à frente de choque e o ângulo (θ_{Bn}) formado entre o campo magnético interplanetário (CMI) “upstream” e o vetor normal. Foram analisadas as propriedades da frente de choque de Mercúrio nos cruzamentos da Mariner – 10 em 29/03/1974 (Mercúrio I) e 16/03/1975 (Mercúrio III) por meio de dados de magnetômetro fluxgate e sensor de plasma de elétrons. Usando um procedimento estatístico e o Teorema da Coplanaridade Magnética, obtivesse o vetor normal à frente de choque e o ângulo (θ_{Bn}). São apresentados os resultados dos cálculos dos ângulos (θ_{Bn}) e do salto dos parâmetros – campo magnético total, pressão magnética, densidade de elétrons, temperatura de elétrons e pressão cinética de elétrons – através da frente de choque de Mercúrio.



APENDICE C

CERTIFICADOS DE TRABALHOS DE PARTICIPAÇÃO DO BOLSISTA

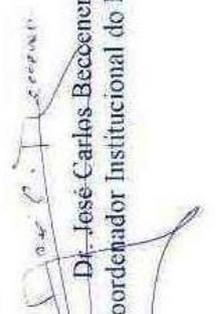
Tardelli Ronan Coelho Stekel
EM CONGRESSOS



PROGRAMA INSTITUCIONAL DE BOLSAS DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA - PIBIC/INPE/CNPq

Conferimos o presente Certificado a **TARDELLI RONAN COELHO STEKEL** por sua participação no Seminário de Iniciação Científica do INPE-SICINPE, realizado em São José dos Campos-SP, nos dias 15 e 16 de julho de 2008 e apresentação do trabalho intitulado: "ESTUDO DE CARACTERÍSTICAS DE EXPLOÇÕES SOLARES E DE SEUS EFEITOS NA TERRA", orientado pelo(a) Prof(a). Ezequiel Echer.

São José dos Campos, 16 de julho de 2008.



Dr. José Carlos Becçeneri
Coordenador Institucional do PIBIC