

**ESTUDO DO DECRÉSCIMO DE RAIOS CÓSMICOS MEDIDOS PELO
DETECTOR MULTIDIRECIONAL DE MUONS DO OBSERVATÓRIO
ESPACIAL DO SUL DEVIDO A CHOQUES INTERPLANETÁRIOS.**

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

PROCESSO: 139712/2012-7

Vinícius Deggeroni – Bolsista PIBIC/INPE – CNPq/MCTI
Laboratório de Clima Espacial e Previsão de Tempestades Magnéticas
LCEPTM/CRS/CCR/INPE – MCTI
Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais
E-mail: vinidegg@gmail.com

Dr. Ezequiel Echer - Orientador
Divisão de Geofísica Espacial
DGE/CEA/INPE – MCTI
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
E-mail: ezequiel.echer@gmail.com

Santa Maria, Julho de 2013



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

PROJETO

**ESTUDO DO DECRÉSCIMO DE RAIOS CÓSMICOS MEDIDOS PELO
DETECTOR MULTIDIRECIONAL DE MUONS DO OBSERVATÓRIO
ESPACIAL DO SUL DEVIDO A CHOQUES INTERPLANETÁRIOS.**

PROCESSO: 139712/2012-7

Relatório elaborado por:

Vinícius Deggeroni - Bolsista PIBIC/INPE – CNPq/MCTI
E-mail: vinidegg@gmail.com

Dr. Ezequiel Echer – Orientador
Divisão de Geofísica Espacial – DGE/CEA/INPE – MCTI
E-mail: ezequiel.echer@gmail.com

Dr. Nelson Jorge Schuch – Co-Orientador
Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRS/CCR/INPE – MCTI
E-mail: njschuch@gmail.com

Dados de Identificação:

Título do Projeto:

ESTUDO DO DECRÉSCIMO DE RAIOS CÓSMICOS MEDIDOS PELO DETECTOR MULTIDIRECIONAL DE MUONS DO OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL DEVIDO A CHOQUES INTERPLANETÁRIOS

Processo CNPq Nº: 139712/2012-7

Bolsista:

Vinícius Deggeroni

Acadêmico do 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 II/INPE – MCTI

Co-Orientador:

Dr. Nelson Jorge Schuch

Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRS/CCR/INPE – MCTI

Colaboradores:

Dr. Kazuoki Munakata

Faculty of Science, Shinshu University, Matsumoto – Japan

Dr. Takao Kuwabara

Bartol Research Institute, University of Delaware, Newark, Delaware – EUA

Mauricio Rosa de Souza

Acadêmico do curso de Física Licenciatura Plena Noturno/UFSM

Bruno Knevez Hammerschmitt

Acadêmico do Curso de Engenharia Elétrica/UFSM

Dr. Alisson Dal Lago

Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRS/CCR/INPE – MCTI

Dr. Marlos Rockenbach da Silva

Pesquisador do Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento - IP&D e Professor da Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo - FEAU na UNIVAP.

Ms. Carlos Roberto Braga

Aluno do curso de Pós-Graduação em Geofísica Espacial em nível de Doutorado do (INPE)



Ms. Rafael Mendonça - INPE

Aluno do curso de Pós-Graduação em Geofísica Espacial em nível de Doutorado do (INPE)

Local de Trabalho/Execução do Projeto:

Laboratório de Clima Espacial e Previsão de Tempestades Magnéticas - LCEPTM/CRS/INPE – MCTI

Observatório Espacial do Sul – OES/CRS/CCR/INPE – MCTI (29.4°S, 53.8° W, 480 m acima do nível do mar).

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



Diretório dos Grupos de Pesquisa no Brasil



Estudante
Vinícius Deggeroni



[Link para Currículo Lattes](#)

Dados gerais

Indicadores de produção C, T & A

Dados gerais

Identificação do estudante

Nome: Vinícius Deggeroni

Nível de treinamento: Graduação

Currículo Lattes: 28/02/2013 16:02

E-mail:

Homepage: <http://www.inpe.br/crs/equipe.php>

Grupos de pesquisa que atua

[Clima Espacial, Interações Sol -Terra, Magnetosferas, Geoespaço, Geomagnetismo: Nanosatélites](#) - INPE (estudante)

Linhas de pesquisa que atua

[DESENVOLVIMENTO DE NANOSATÉLITES - CubeSats: NANOSATC-BR](#)

[MEIO INTERPLANETÁRIO - CLIMA ESPACIAL](#)

Orientadores participantes de grupos de pesquisa na instituição

[Ezequiel Echer](#)

Indicadores de produção C, T & A dos anos de 2010 a 2013

Tipo de produção	2010	2011	2012	2013
Produção bibliográfica	0	0	0	0
Produção técnica	0	0	1	0
Orientação concluída	0	0	0	0
Produção artística/cultural e demais trabalhos	0	0	0	0



Diretório dos Grupos de Pesquisa no Brasil



Grupo de Pesquisa
**Clima Espacial, Interações Sol -Terra, Magnetosferas, Geoespaço,
Geomagnetismo: Nanosatélites**

IdentificaçãoRecursos HumanosLinhas de PesquisaIndicadores do Grupo**Identificação****Dados básicos****Nome do grupo:** Clima Espacial, Interações Sol -Terra, Magnetosferas, Geoespaço, Geomagnetismo: Nanosatélites**Status do grupo:** **certificado pela instituição****Ano de formação:** 1996**Data da última atualização:** 27/05/2013 10:59**Líder(es) do grupo:** Nelson Jorge Schuch -

Natanael Rodrigues Gomes -

Área predominante: Ciências Exatas e da Terra; Geociências**Instituição:** Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE**Órgão:****Unidade:** Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais - CRS**Endereço****Logradouro:** Caixa Postal 5021**Bairro:** Camobi**Cidade:** Santa Maria**Telefone:** 33012026**CEP:** 97110970**UF:** RS**Fax:** 33012030**Home page:** <http://>**Repercussões dos trabalhos do grupo**

O Grupo - CLIMA ESPACIAL, MAGNETOSFERAS, GEOMAGNETISMO:INTERAÇÃO TERRA-SOL, NANOSATÉLITES 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 e DPD/UNIVAP 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 (DLR e Max Planck Institute for Solar System Research), Austrália (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, NANOSATÉLITES. Áreas de interesse: Heliosfera, Física Solar, Meio Interplanetário, Clima Espacial, Magnetosferas, Geomagnetismo, Aeronomia, Ionosferas, Aeroluminescência, Raios Cósmicos, Muons, Desenvolvimento de Nanosatelites Científicos, em especial CubeSats: o NANOSATC-BR1 e NANOSATC-BR2. 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: 52
Adriano Petry	Jose Humberto Andrade Sobral
Alexandre Alvares Pimenta	Juliano Moro
Alicia Luisa Clúa de Gonzalez	Lilian Piecha Moor
Alisson Dal Lago	Lucas Lopes Costa
Andrei Piccinini Legg	Lucas Ramos Vieira
Antonio Claret Palerosi	Mangalathayil Ali Abdu
Barclay Robert Clemesha	Marco Ivan Rodrigues Sampaio
Carlos Roberto Braga	Marlos Rockenbach da Silva
Cassio Espindola Antunes	Nalin Babulal Trivedi
Clezio Marcos De Nardin	Natanael Rodrigues Gomes
Cristiano Sarzi Machado	Nelson Jorge Schuch
Delano Gobbi	Nivaor Rodolfo Rigozo
Eduardo Escobar Bürger	Odim Mendes Junior
Eurico Rodrigues de Paula	Osmar Marchi dos Santos
Ezequiel Echer	Otavio Santos Cupertino Durão
Fabiano Luis de Sousa	Pawel Rozenfeld
Fernanda de São Sabbas Tavares	Petrônio Noronha de Souza
Fernanda Gusmão de Lima Kastensmidt	Polinaya Muralikrishna
Geilson Loureiro	Rajaram Purushottam Kane
Gelson Lauro Dal' Forno	Renato Machado
Guilherme Simon da Rosa	Ricardo Augusto da Luz Reis
Gustavo Fernando Dessbesell	Rubens Zolar Gehlen Bohrer
Hisao Takahashi	Severino Luiz Guimaraes Dutra
Igor Freitas Fagundes	Tardelli Ronan Coelho Stekel
Jean Pierre Raulin	Walter Demetrio Gonzalez Alarcon
João Baptista dos Santos Martins	William do Nascimento Guareschi
Estudantes	Total: 25
Anderson Vestena Bilibio	Lucas Camponogara Viera
Ândrei Camponogara	Lucas Lourencena Caldas Franke
Andreas Vestena Bilibio	Maurício Ricardo Balestrin
Bruno Knevez Hammerschmitt	Michel Baptistella Stefanello
Cassiano Vasconcelos dos Santos	Miguel Rossatto Bohr
Claudio Machado Paulo	Pietro Fernando Moro
Dimas Irion Alves	Rodrigo Passos Marques
Felipe de Souza Nogueira Coelho	Tális Piovesan
Fernando Landerdahl Alves	Thales Nunes Moreira
Guilherme Paul Jaenisch	Thales Ramos Mânica
Iago Camargo Silveira	Tiago Bremm
José Paulo Marchezi	Vinícius Deggeroni
Leonardo Zavareze da Costa	
Técnicos	Total: 0

Linhas de pesquisa	Total: 4
<ul style="list-style-type: none">• AERONOMIA - IONOSFERAS x AEROLUMINESCÊNCIA• DESENVOLVIMENTO DE NANOSATÉLITES - CubeSats: NANOSATC-BR• MAGNETOSFERAS x GEOMAGNETISMO• MEIO INTERPLANETÁRIO - CLIMA ESPACIAL	

Relações com o setor produtivo	Total: 1
<ul style="list-style-type: none">• ALPHA SOUTH AMERICA - REPRESENTACOES E CONSULTORIA AEROSPAZIAL LTDA - ASARCA PPROV	

Indicadores de recursos humanos do grupo	
Integrantes do grupo	Total
Pesquisador(es)	52
Estudante(s)	25
Técnico(s)	0



Diretório dos Grupos de Pesquisa no Brasil



Linha de Pesquisa
MEIO INTERPLANETÁRIO - CLIMA ESPACIAL

Linha de pesquisa
MEIO INTERPLANETÁRIO - CLIMA ESPACIAL

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

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

Pesquisadores:

- [Adriano Petry](#)
- [Alexandre Alvares Pimenta](#)
- [Alicia Luisa Clúa de Gonzalez](#)
- [Alisson Dal Lago](#)
- [Andrei Piccinini Legg](#)
- [Carlos Roberto Braga](#)

[Cassio Espindola Antunes](#)
[Eduardo Escobar Bürger](#)
[Ezequiel Echer](#)
[Jean Pierre Raulin](#)
[Juliano Moro](#)
[Lilian Piecha Moor](#)
[Lucas Lopes Costa](#)
[Lucas Ramos Vieira](#)
[Marlos Rockenbach da Silva](#)
[Nelson Jorge Schuch](#)
[Nivaor Rodolfo Rigozo](#)
[Rajaram Purushottam Kane](#)
[Renato Machado](#)
[Rubens Zolar Gehlen Bohrer](#)
[Severino Luiz Guimaraes Dutra](#)
[Tardelli Ronan Coelho Stekel](#)
[Walter Demetrio Gonzalez Alarcon](#)

Estudantes:

[Adilson José Rambo Pilla](#)
[Bruno Knevit Hammerschmitt](#)
[Claudio Machado Paulo](#)
[Dimas Irion Alves](#)
[Iago Camargo Silveira](#)
[José Paulo Marchezi](#)
[Leonardo Zavareze da Costa](#)
[Lucas Camponogara Viera](#)
[Magdiel Schmitz](#)
[Maurício Rosa de Souza](#)
[Michel Baptistella Stefanello](#)
[Pietro Fernando Moro](#)
[Tális Piovesan](#)
[Tiago Bremm](#)
[Vinícius Deggeroni](#)

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.



Linha de Pesquisa

DESENVOLVIMENTO DE NANOSATÉLITES - CubeSats: NANOSATC-BR

Linha de pesquisa

DESENVOLVIMENTO DE NANOSATÉLITES - CubeSats: NANOSATC-BR

Nome do grupo: [Clima Espacial](#), [Interações Sol -Terra](#), [Magnetosferas](#), [Geoespaço](#), [Geomagnetismo](#); [Nanosatélites](#)

Palavras-chave: CubeSats; Desenvolvimento de Engenharias - Tecnologias; Miniaturização; Nanosatélites; Nanotecnologia; Pesquisa do Geoespaço;

Pesquisadores:

[Adriano Petry](#)
[Alexandre Alvares Pimenta](#)
[Alicia Luisa Clúa de Gonzalez](#)
[Alisson Dal Lago](#)
[Andrei Piccinini Legg](#)
[Antonio Claret Palerosi](#)
[Cassio Espindola Antunes](#)
[Clezio Marcos De Nardin](#)
[Cristiano Sarzi Machado](#)
[Eduardo Escobar Bürger](#)
[Ezequiel Echer](#)
[Fabiano Luis de Sousa](#)
[Fernanda Gusmão de Lima Kastensmidt](#)
[Geilson Loureiro](#)
[Gelson Lauro Dal' Forno](#)
[Guilherme Simon da Rosa](#)
[Gustavo Fernando Dessbesell](#)
[Igor Freitas Fagundes](#)
[Jean Pierre Raulin](#)
[João Baptista dos Santos Martins](#)
[Jose Humberto Andrade Sobral](#)
[Lilian Piecha Moor](#)
[Lucas Lopes Costa](#)
[Marlos Rockenbach da Silva](#)
[Nalin Babulal Trivedi](#)
[Natanael Rodrigues Gomes](#)
[Nelson Jorge Schuch](#)
[Nivaor Rodolfo Rigozo](#)
[Odím Mendes Junior](#)
[Osmar Marchi dos Santos](#)
[Otavio Santos Cupertino Durão](#)
[Pawel Rozenfeld](#)
[Petrônio Noronha de Souza](#)
[Renato Machado](#)
[Ricardo Augusto da Luz Reis](#)
[Rubens Zolar Gehlen Bohrer](#)
[Severino Luiz Guimaraes Dutra](#)
[Tardelli Ronan Coelho Stekel](#)
[Walter Demetrio Gonzalez Alarcon](#)
[William do Nascimento Guareschi](#)

Estudantes:

[Anderson Vestena Bilibio](#)
[Andrei Camponogara](#)
[Andreas Vestena Bilibio](#)
[Dimas Irion Alves](#)
[Felipe de Souza Nogueira Coelho](#)
[Fernando Landerdahl Alves](#)
[Guilherme Paul Jaenisch](#)
[Iago Camargo Silveira](#)
[José Paulo Marchezi](#)
[Leonardo Zavareze da Costa](#)
[Lucas Lourencena Caldas Franke](#)
[Maurício Ricardo Balestrin](#)
[Miguel Rossatto Bohrz](#)
[Pietro Fernando Moro](#)
[Rodrigo Passos Marques](#)
[Tális Piovesan](#)
[Thales Nunes Moreira](#)
[Thales Ramos Mânica](#)
[Tiago Bremm](#)
[Vinícius Deggeroni](#)

Árvore do conhecimento:

Ciências Exatas e da Terra; Astronomia; Astrofísica do Sistema Solar;
Ciências Exatas e da Terra; Geociências; Instrumentação Científica;
Engenharias; Engenharia Aeroespacial; Engenharia Aeroespacial - Pequenos Satélites;

Setores de aplicação:

Aeronáutica e Espaço

Objetivo:

Pesquisas: Geoespaço e Nanosatélites Científicos - Iniciação Científica & Tecnológica: CubeSats: (100g-1Kg) o NANOSATC-BR1 e (1Kg-10Kg) o NANOSATC-BR2; Carga útil: magnetômetros, sondas de Langmuir, fotômetros/imageadores e detector de partículas; Desenvolvimentos Engenharias/Tecnologias Espaciais: estrutura mecânica, computador-bordo, programas, estação terrena, testes/integração. Sub-sistemas: potencia, propulsão, telemetria, térmico controle/atitude. Vice-Líder: Otávio Santos Cupertino Durão

Agradecimentos

Agradeço a minha mãe guerreira, exemplo de honra e dignidade, Malvina Deggeroni, a minha Irma Clarissa Deggeroni e minha namorada Simone Gardim por estarem sempre ao meu lado apoiando me incondicionalmente até hoje.

Agradeço ao meu Orientador, Dr. Ezequiel Echer. Ao meu Co-orientador, local no CRS o Dr. Nelson Jorge Schuch, pela oportunidade dessa Iniciação Científica pelos inúmeros conselhos e ensinamentos.

Agradeço ao Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRS/CCR/INPE-MCTI e ao Observatório Espacial do Sul – OES/CRS/CCR/INPE-MCTI, pela infraestrutura. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pelo auxílio financeiro. E finalmente a Universidade Federal de Santa Maria - UFSM, pelo suporte técnico.

Agradeço: (i) aos funcionários, servidores do CRS/CCR/INPE - MCTI e do LACESM/CT - UFSM, pelo carinho e pelos seus serviços prestados; (ii) ao Programa PIBIC/INPE – CNPq/MCTI pela aprovação do Projeto de Pesquisa; (iii) ao Coordenador Dr. Ezzat Selim Chalhoub e a Sra. Egidia Inácio da Rosa, Secretária do Programa PIBIC/INPE – CNPq/MCTI, pelos alertas e sua incansável preocupação com toda a burocracia e datas limites do Programa para com os bolsistas de I. C. & T do CRS/CCR/INPE - MCTI.

Por último, mas não menos importante, agradeço aos meus colegas de Laboratório no CRS, Bruno Knevitz Hammerschmitt, Maurício Rosa de Souza, Tiago Bremm e Cassiano Vasconcelos dos Santos por todo o apoio e incentivo durante o Projeto de Pesquisa.

RESUMO

O Projeto tem como objetivo estudar o decréscimo de raios cósmicos devido a choques interplanetários do tipo frontal rápido, incluindo as diferentes estruturas interplanetárias provenientes do Sol e, analisar suas interações com os raios cósmicos detectados pelo Detector Multidirecional de Muons – DMM instalado no Observatório Espacial do Sul em São Martinho da Serra, RS. Estruturas solar-interplanetárias tais como ejeções de massa coronais (CME), ejeções de massa coronais interplanetárias (ICMEs) e explosões solares podem interagir com a Magnetosfera Terrestre causando tempestades geomagnéticas. Os danos causados incluem perda de dados em satélites, perturbação em cabos de telecomunicação, interferência em radares, black-out de energia elétrica e riscos à saúde dos astronautas em órbita. Um dos objetivos da pesquisa nos processos físicos do Clima Espacial é encontrar mecanismos que possibilitem previsões de tempestades geomagnéticas. Os muons são decorrentes do decaimento dos raios cósmicos primários com os constituintes da atmosfera terrestre, atingindo a Terra de forma isotrópica. Quando há uma tempestade geomagnética ocorre um decréscimo na contagem dessas partículas, denominado decréscimo de Forbush. O projeto se concentra em: examinar dados de campo magnético e velocidade de vento solar obtidos através do satélite ACE – NASA (Advanced Composition Explorer), e determinar a amplitude média do decréscimo de muons devido à passagem de estruturas pela Terra e a correlação entre a amplitude dos decréscimos e a amplitude dos choques. Foi utilizado o canal vertical do DMM, corrigido pela pressão atmosférica.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	17
Introdução e Objetivos	17
1.1INTRODUÇÃO	17
1.2OBJETIVOS	17
CAPÍTULO 2	18
O Meio Interplanetário e as Interações Sol-Terra	18
2.1O SOL.....	18
2.1.1O Interior Solar.....	19
2.1.2Atmosfera Solar.....	19
2.1.2.1Fotosfera Solar	19
2.1.2.2Cromosfera Solar	20
2.1.2.3A Coroa Solar.....	21
2.2O VENTO SOLAR	22
2.3O CAMPO MAGNÉTICO DO SOL E O CAMPO MAGNÉTICO INTERPLANETÁRIO	23
2.4ESTRUTURAS MAGNÉTICAS NO MEIO INTERPLANETÁRIO	25
2.4.1 Regiões de Interação Co-Rotante	25
2.4.2Explosões Solares	27
2.4.3Ondas de Choque.....	28
2.4.4Ejeção Coronal de Massa	29
2.5RAIOS CÓSMICOS	31
2.6TEMPESTADES GEOMAGNÉTICAS	34
CAPÍTULO 3	38
Metodologia	38
3.1O SATÉLITE ACE	38
3.2DETECTOR MULTIDIRECIONAL DE MUONS	41
CAPÍTULO 4	45
Análise de Dados e Discussão dos Resultados	45
CAPÍTULO 5	48
Conclusões	48
Referências Bibliográficas	49
ANEXOS: Títulos de trabalhos apresentados/submetidos	55

Índice de Figuras

FIGURA 1: Estrutura do interior solar e atmosfera.	19
FIGURA 2: Imagem da fotosfera e dos grânulos solares. a) imagem da fotosfera solar, os pontos mais escuros são manchas solares. b) grânulos solares	21
FIGURA 3: Fotografia da cromosfera solar.	22
FIGURA 4: Fotografia mostrando as proeminências solares.....	22
FIGURA 5 Exemplo de eclipse solar total.....	23
FIGURA 6: Esquema do choque das partículas provenientes do vento solar com a atmosfera da terra. Reprodução: Observatório Astronômico Ufes.....	24
FIGURA 7: Aspecto do Campo Magnético Interplanetário.....	24
FIGURA 8: Polaridade das manchas solares nos diferentes hemisférios em um dado ciclo Solar..	25
FIGURA 9: Lâmina de Corrente Heliosférica – LCH, próxima ao Sol.....	26
FIGURA 10: Representação esquemática de uma CIR	27
FIGURA 11: Visão da estrutura de setor interplanetária e da Lâmina de Corrente Heliosférica.	28
FIGURA 12: Imagem de uma explosão solar.....	29
FIGURA 13: Sequência de imagens de coronógrafo mostrando uma CME, desde o momento da formação até o completo desprendimento da coroa solar.	31
FIGURA 14: Intensidade dos raios cósmicos em função da energia.	33
FIGURA 15: Diagrama esquemático de um chuveiro de raios cósmicos.....	34
FIGURA 16: Ilustração do bloqueio de raios cósmicos por uma CME.....	35
FIGURA 17: Curva DST entre os dias 5–8 de setembro de 1982.	36
FIGURA 18: Aurora formada após uma tempestade geomagnética.	37

FIGURA 19: Ilustração da interação entre uma nuvem magnética, oriunda de uma ICME, com a magnetosfera terrestre.....	37
FIGURA 20: Fenômenos que afetam o Clima Espacial, energias envolvidas, tempo de duração de seus efeitos e principais tipos de danos em sistemas tecnológicos.	38
FIGURA 21: Ilustração representativa da órbita do satélite ACE; o ponto Lagrangeano L1; a distância do L1 em relação à Terra e ao Sol.....	40
FIGURA 22: Ilustração da disposição dos instrumentos a bordo do ACE	41
FIGURA 23: Tabela de dados obtidos do satélite ACE, dados baixados da internet pelo bolsista para confecção de gráficos..	42
FIGURA 24: Diagrama mostrando a área de cobertura da rede de DMMs, mostrando as visões assintóticas de cada detector	43
FIGURA 25: Foto do DMM instalado no OES em dezembro de 2005	44
FIGURA 26: Esquema do método de contagem do DMM.	45
FIGURA 27: Painel com os gráficos do meio interplanetário 04 de abril de 2010..	46
FIGURA 28: Painel com os gráficos do meio interplanetário do dia 03 de abril de 2009	59

CAPÍTULO 1

Introdução e Objetivos

1.1 Introdução

O Sol é a estrela central do nosso sistema solar. Extremamente ativa, a sua atividade, chamada atividade solar, que possui um ciclo de aproximadamente 11 anos, é a principal responsável por distúrbios geomagnéticos observados na superfície Terrestre, podendo causar flutuações na rede elétrica e de telecomunicações, deixando sem uso os satélites e afetando o trabalho dos astronautas no espaço. Daí a importância de se estudar o Clima Espacial.

As principais estruturas provindas do Sol e estudadas no Projeto são ejeções coronais de massa (CMEs), nuvens magnéticas, explosões solares, ondas de choque e regiões de interação co-rotante (CIRs).

No Relatório são estudadas estruturas interplanetárias do tipo ICMEs, nuvens magnéticas e ondas de choque através de dados do meio interplanetário, fornecidos pelo satélite ACE (*Advanced Composition Explorer*), e a relação destas estruturas com a modulação de raios cósmicos de altas energias (muons) detectados pelo Detector Multidirecional de Muons instalado no OES, em São Martinho da Serra.

1.2 Objetivos

Os objetivos do Projeto envolvem principalmente a familiarização do aluno com o estudo do Clima Espacial, principalmente com a observação e análise de estruturas observadas no meio interplanetário.

A análise de eventos de diferentes estruturas interplanetárias, realizada através de dados obtidos pelo satélite ACE, situado no ponto Lagrangeano L1 – ponto de equilíbrio gravitacional entre o Sol e a Terra, permite realizar o cálculo da pressão cinética e da pressão magnética na estrutura, na qual a razão das mesmas determina o parâmetro beta de plasma.

E, posteriormente, serão realizadas observações dos efeitos das estruturas nos raios cósmicos, observadas pelo Detector Multidirecional de Muons, que está em operação no OES/CRS/CCR/INPE – MCTI, em São Martinho da Serra–RS.

CAPÍTULO 2

O Meio Interplanetário e as Interações Sol-Terra

2.1 O Sol

O Sol é uma estrela ativa com uma massa média de $1,99 \times 10^{30}$ Kg, raio de 696.000 km com potência luminosa de $3,9 \times 10^{26}$ W, sendo formado predominantemente por hidrogênio e hélio. A energia solar é originada através do processo de fusão de núcleos de hidrogênio (prótons), formando núcleos de hélio (partículas alfa). Esta reação ocorre em seu núcleo.

A estrutura solar pode ser dividida em duas grandes regiões: o Interior e a Atmosfera. A parte interna é composta pelo Núcleo, Zona Radiativa e Zona Convectiva e a Atmosfera, pela Fotosfera, Cromosfera e Coroa, conforme representada na Figura 1.

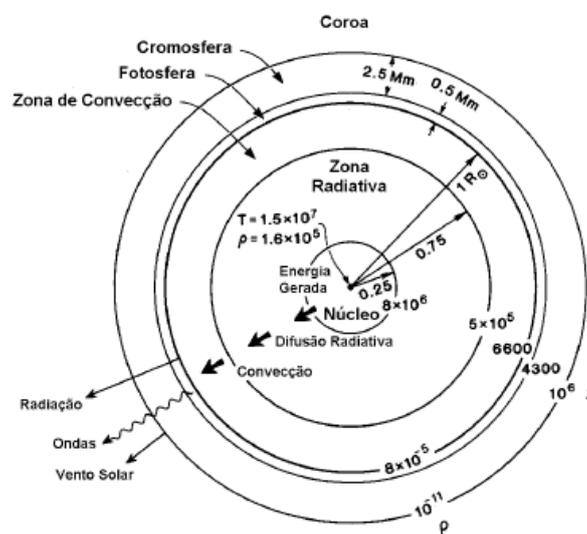


Figura 1 - Estrutura do interior solar e atmosfera. Fonte: Kivelson e Russell (1995, p.61)

2.1.1 O Interior Solar

O Interior Solar é formado pelas seguintes regiões: 1) Núcleo, que se estende até 0,25 raios solares, apresentando uma temperatura da ordem de $1,5 \times 10^7$ K e densidade $1,6 \times 10^5$ m⁻³; 2) Zona Radiativa, estendendo-se no intervalo de 0,25 a 0,75 raios solares, onde a energia gerada no núcleo

é dissipada através do processo de difusão radiativa, tendo uma temperatura da ordem de 8×10^6 K; 3) Zona de Convecção, estendendo-se no intervalo de 0,75 a 1 raio solar, com temperatura no intervalo de 5×10^5 a 6600 K, onde a energia é dissipada pelo processo de convecção.

Modelos teóricos sugerem que a energia solar se origina no núcleo por meio de um reator de fusão nuclear, operando a temperatura de $1,5 \times 10^7$ K e gerando energia através da fusão de 5 milhões de toneladas de hidrogênio por segundo para formar hélio. Essa energia demora cerca de 10 milhões de anos para ser transportada pela Zona Radiativa e em seguida pela Zona Convectiva até atingir a superfície do Sol, onde a temperatura é de aproximadamente 5800 K.

2.1.2 Atmosfera Solar

A Atmosfera Solar, em função de suas características e processos físicos, pode ser dividida em: Fotosfera, Cromosfera e Coroa Solar.

2.1.2.1 Fotosfera Solar

A fotosfera solar possui uma espessura de cerca de 500 km e densidade em torno de 10^{13} a 10^{15} partículas por centímetro cúbico. Dessa camada vem a maior parte da luz visível ao olho humano. Entretanto, o gás desta camada não é totalmente transparente e, devido a sua opacidade, o interior solar não pode ser visto.

A observação da Fotosfera revela duas estruturas marcantes: as Manchas Solares e as Granulações, que podem ser vistas na Figura 2. Quando muito intensas, as Manchas Solares podem ser vistas a olho nu, como notáveis formações escuras. O número destas Manchas aumenta e diminui de acordo com um período de aproximadamente 11 anos.

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 mais frias emitindo menos radiação que o restante da superfície solar. Os campos magnéticos associados às Manchas Solares estão relacionados à energias eletromagnéticas, constituindo regiões de

estabilidades. Quando instabilidades são originadas, esta energia é liberada na forma de Ejeções Coronais de Massa, Flares e Proeminências.

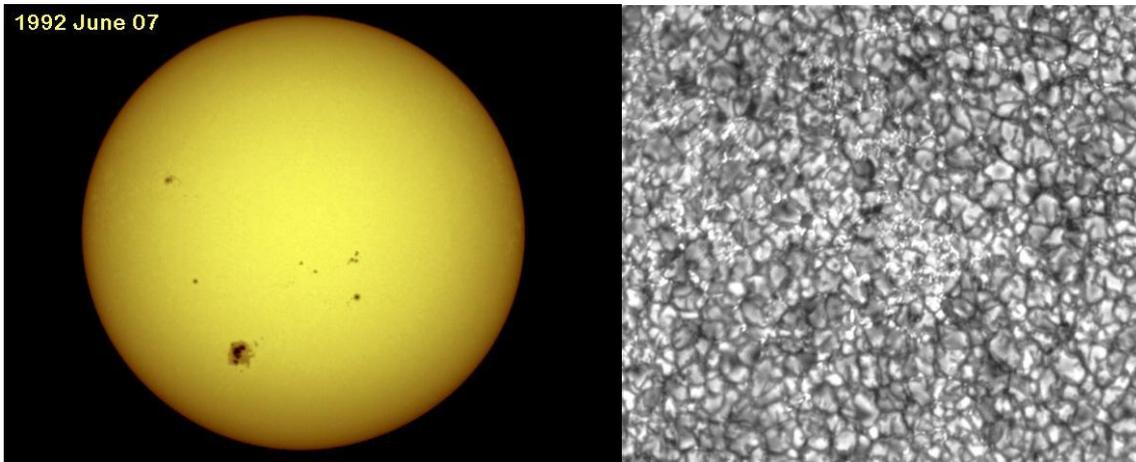


Figura 2: Imagem da fotosfera e dos grânulos solares.

a) Imagem da fotosfera solar, os pontos mais escuros são manchas solares.

Fonte: <http://solarscience.msfc.nasa.gov/images/w920607.jpg>

b) Grânulos solares. Fonte: Modificado de <http://solarscience.msfc.nasa.gov/feature1.shtml#Granules>

2.1.2.2 Cromosfera Solar

A Cromosfera (Figura 3) estende-se cerca de 10.000 km acima da Fotosfera, apresentando uma temperatura que varia no intervalo de 4.300 a 10^6 K que aumenta do interior para o exterior, ao contrário da Fotosfera. Esta camada apresenta densidade na ordem de 10^{-11} m^{-3} , caindo de 1-2 ordens de grandeza relativamente a Fotosfera. Ela é na realidade uma região de transição entre a Cromosfera fria e a Coroa quente.

A Cromosfera pode ser vista observando-se o Sol com um filtro solar conhecido como H-alfa. Com isso, distinguimos as várias estruturas cromosféricas, como as proeminências que apresentam uma coloração alaranjada (Figura 4) que só podem ser observadas quando ocorre um obscurecimento do disco solar, por exemplo, durante eclipses totais do Sol. Nessas ocasiões, a Cromosfera torna-se um arco brilhante e colorido, dos quais partem raios de grande luminosidade, indicando a presença de Cálcio, Hélio e Hidrogênio em sua composição.



Figura 3: Fotografia da cromosfera solar.

Fonte: http://solarscience.msfc.nasa.gov/images/HI6563_fulldisk.jpg

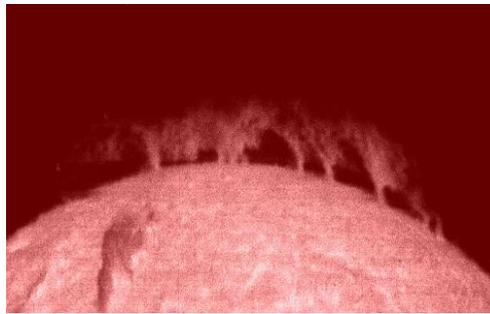


Figura 4: Fotografia mostrando as proeminências solares.

Fonte: <http://solarscience.msfc.nasa.gov/images/prominence.jpg>

2.1.2.3 A Coroa Solar

A Coroa Solar é a parte mais externa da Atmosfera Solar, não possuindo limite superior. A Coroa Solar, melhor observada durante os eclipses totais do Sol (Figura 5), caracteriza-se por variações de forma e largura que costumam acompanhar o Ciclo das Manchas Solares. Altamente rarefeita e muito difusa, a Coroa Solar possui densidade de aproximadamente 10 átomos por centímetro cúbico. Curiosamente, o gás da coroa solar possui uma temperatura bastante alta, atingindo cerca de dois milhões de graus Kelvins. Como a temperatura é extremamente alta, a Coroa emite 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. Este vento se propaga por todo o Sistema Solar e eventualmente atinge a Terra.

Nesta camada são observadas as chamadas regiões ativas, local onde temperatura e densidade são elevadas além de possuírem campos magnéticos intensos, distribuídos em formato de arcos com pontas – pólos magnéticos – situadas na Fotosfera.



Figura 5: Exemplo de eclipse solar total.

Fonte: <http://erassociados.com/blog/tag/eclipse/>

2.2 O Vento Solar

O vento solar é um plasma (gás de íons e elétrons) emitido radialmente pelo Sol como resultado da diferença de pressão dos gases da coroa solar e do espaço interestrelar nas proximidades do Sol. Este plasma espalha-se por todo meio interplanetário, passando pela Terra com uma velocidade média de 400-500 km/s com densidade média de prótons e elétrons de 5 cm^{-3} (Brandt, 1970). Este vento atinge e interage com a Terra causando tanto o fenômeno conhecido como Aurora, quanto perturbações no Campo Magnético. Quando interage com a Magnetosfera Terrestre causa sua deformação na direção da linha Sol-Terra, como mostrado na Figura 6.

Sua existência foi primeiramente sugerida por Ludwig Biermann, entre 1951 e 1957, baseado no fato observacional de que a cauda ionizada dos cometas tem uma direção radial ao Sol, independente da direção de seu movimento. A existência do Vento Solar também foi sugerida por outros cientistas que notaram mudanças no Campo Geomagnético, um dia ou mais após a

ocorrência de grandes “Flares” solares (Burlaga, 1995).

E. N. Parker, em 1958, formulou um modelo dinâmico com um fluxo de partículas saindo da base da Coroa. Este modelo propôs que o gradiente de pressão dos constituintes da Coroa Solar continuamente acelera o fluxo de partículas para fora do sol. Para investigar isso primeiramente foram enviadas as sondas soviéticas Lunik 2 e Lunik 3 em 1960, e a sonda Norte Americana Mariner 2 em 1962, que confirmaram as previsões de Parker. Desde então, várias sondas e espaçonaves fizeram experimentos e identificaram como o segundo mais abundante componente, o íon $^4\text{He}^{++}$ - 5% -. Íons como $^3\text{He}^{++}$, $^4\text{He}^+$, O^{6+} , e C^{3+} também existem no Vento Solar, porém em menores quantidades (Parks, 1991).

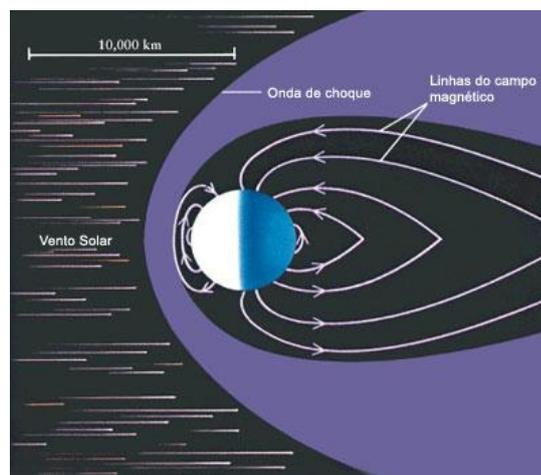


Figura 6: Esquema do choque das partículas provenientes do vento solar com a atmosfera da Terra. Reprodução: Observatório Astronômico Ufes.

2.3 O Campo Magnético do Sol e o Campo Magnético Interplanetário

O Sol possui um campo magnético de intensidade 10^{-4} T na superfície da Fotosfera. Este campo é aproximadamente dipolar (Pneuman e Kopp, 1970), porém devido ao fato do Vento Solar ser altamente condutor, ele é transportado para grandes distâncias, constituindo o chamado Campo Magnético Interplanetário - CMI - (Figura 7), com intensidade de aproximadamente 5 nT nas proximidades da Terra.



Figura 7: Aspecto do Campo Magnético Interplanetário
Fonte: <http://www.spaceweathercenter.org>

O CMI tem origem em regiões do Sol onde o campo magnético é "aberto", ou seja, onde as linhas de campo emergente de uma região não retornam a uma região conjugada, estendendo-se por tempo indeterminado para o espaço. A direção (sentido polaridade) do campo no hemisfério norte do Sol é oposta à do campo no hemisfério sul (Figura 8). As polaridades se invertem a cada ciclo solar.

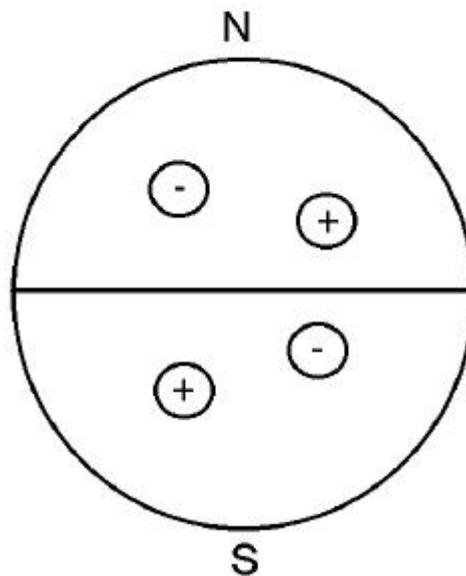


Figura 8: Polaridade das manchas solares nos diferentes hemisférios em um dado ciclo Solar. FONTE: Dal Lago, 2004, p. 29.

O eixo do dipolo magnético é próximo ao eixo de rotação do Sol podendo-se imaginar um plano de simetria cortando o seu equador. As linhas de Campo Magnético Interplanetário são

aproximadamente radiais, próximas ao Sol – de 1,5 a 2,5 raios solares –, entrando no Sol acima do plano de simetria e saindo abaixo deste plano, dependendo da fase do ciclo solar. No Meio Interplanetário, a transição entre as linhas de campo entrando e saindo do Sol constitui uma estreita região, não necessariamente planar, onde se forma uma lâmina de corrente, chamada Lâmina de Corrente Heliosférica, LCH (Schultz, 1973). Essa lâmina separa um hemisfério com polaridade negativa de outro com polaridade positiva e é representada na Figura 9.

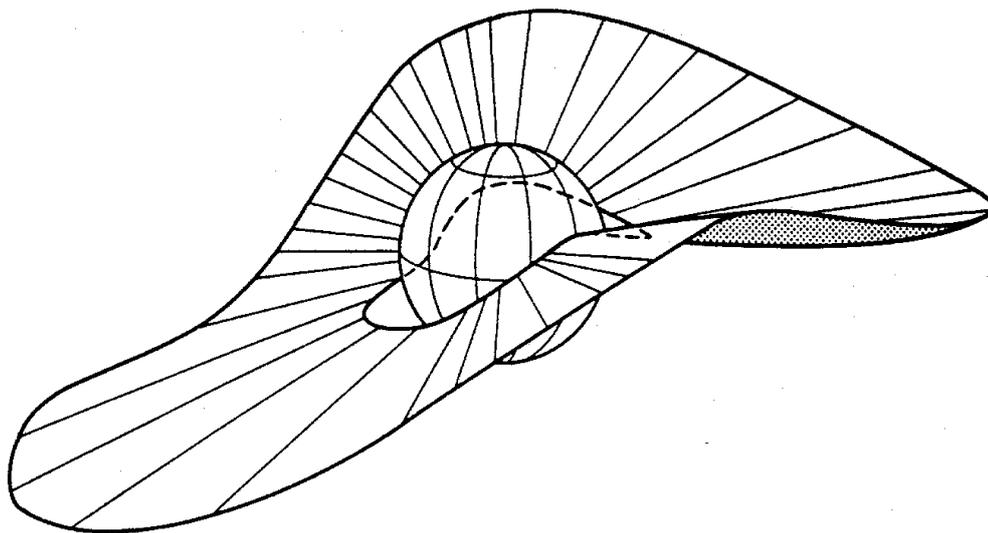


Figura 9: Lâmina de Corrente Heliosférica – LCH, próxima ao Sol.
Fonte: Burlaga et al. (1981a, p.8895).

Devido à rotação solar, o Campo Magnético Interplanetário tem o aspecto de uma espiral de Arquimedes, sendo quase radial próximo ao Sol e praticamente perpendicular à direção radial, além de 5-10 UA. Na vizinhança da Terra, 1 UA, o CMI tem inclinação de aproximadamente 45°.

2.4 Estruturas Magnéticas no Meio Interplanetário

2.4.1 Regiões de Interação Co-Rotante

As regiões de interação co-rotante (do inglês *Corotating Interaction Region*, CIR) se originam da interação de feixes de plasma rápidos e lentos. Os feixes de plasma rápidos se originam dos buracos coronais nas regiões polares do Sol, pois nestas regiões as linhas do campo magnético solar são abertas, permitindo o fluxo de partículas. Os feixes de plasma lentos se originam perto do

equador solar, onde as linhas do campo magnético solar são fechadas, oferecendo resistência ao movimento das partículas, assim diminuído a velocidade das mesmas.

Uma CIR é formada quando um feixe lento se desloca à frente de um feixe rápido. Com o aumento da distância heliocêntrica radial, o vento solar rápido se choca com o feixe lento formando uma região de compressão. O feixe rápido arrasta o feixe lento e com isso, cria uma região de rarefação na parte traseira da estrutura. A Figura 10 mostra o campo magnético interplanetário em forma de uma espiral.

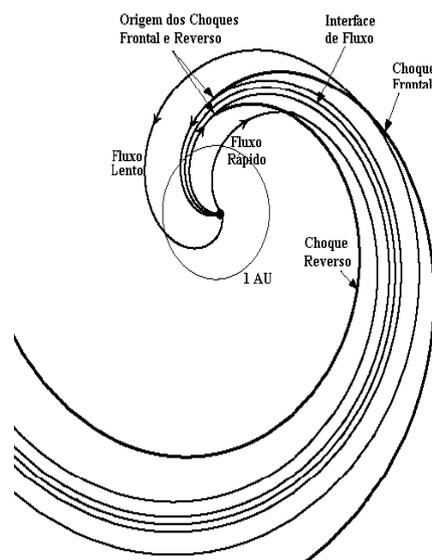


Figura 10: Representação esquemática de uma CIR.
Fonte: Modificado de (Crooker e Gosling, 1999).

Quando a pressão do vento solar na região de compressão atinge um valor determinado, à aproximadamente 2 AU, surge um choque frontal no vento lento e um choque reverso no vento rápido.

Há uma relação entre estruturas de setores e o campo magnético interplanetário (Wilcox e Ness, 1965). As estruturas são associadas com a lâmina de corrente heliosférica (LCH), que é envolta pelo vento solar lento. Em três dimensões a LCH parece oscilar criando uma Figura parecida com uma “saia de bailarina” (Alfvén, 1977), como mostra a Figura 11.

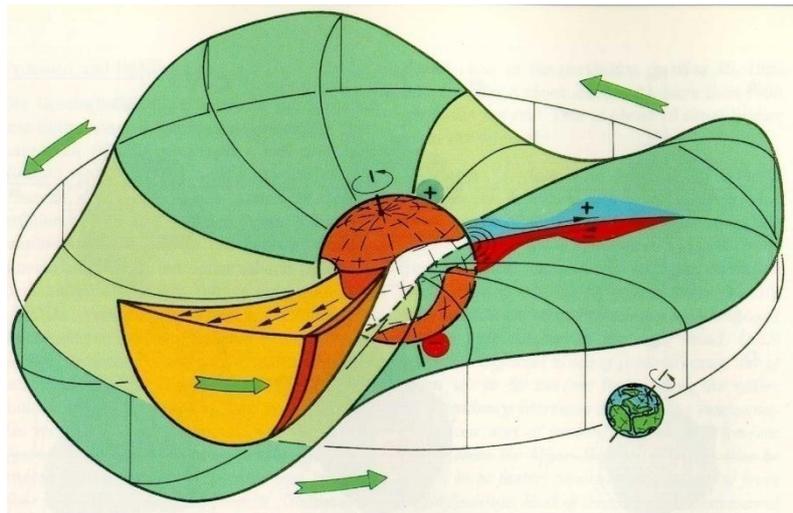


Figura 11: Visão da estrutura de setor interplanetária e da lâmina de corrente heliosférica.
Fonte: Rainer Schwenn comunicação pessoal.

2.4.2 Explosões Solares

As explosões solares foram observadas pela primeira vez em 1859, pelo astrônomo inglês Carrington, enquanto contava o número de manchas solares. Repentinamente, segundo seu relato, "dois pontos de luz branca e extremamente brilhante surgiram", próximas a um conjunto de manchas. Ele procurou outra pessoa para observar o fenômeno, mas quando retornou ao observatório as explosões já haviam parado.

O que Carrington observou, em 1859, foi apenas uma fração do que acontece. O brilho das explosões é maior em um comprimento de onda fora do espectro visível ao olho humano.

Explosões solares são definidas como uma súbita, rápida e intensa variação na luminosidade observada na superfície solar, Figura 12. Esta variação na luminosidade ocorre quando a energia magnética que estava armazenada na superfície solar é subitamente liberada.

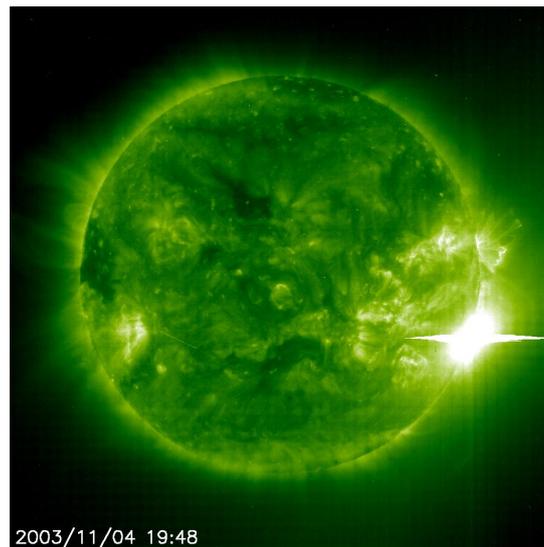


Figura 12: Imagem de uma explosão solar.

Fonte: http://sohowww.nascom.nasa.gov/hotshots/2003_11_04/eit195.gif.

A radiação é emitida em praticamente todo o espectro eletromagnético. Além da energia magnética também são liberados elétrons, prótons e núcleos pesados, que são aquecidos e acelerados na atmosfera solar. A energia liberada durante uma explosão é tipicamente da ordem de 10^{27} ergs/s. Grandes explosões podem emitir até 10^{32} ergs de energia.

2.4.3 Ondas de Choque

Tanto a teoria magnetohidrodinâmica (MHD) quanto a dinâmica de fluidos explicam a variação descontínua de campos físicos em um ponto sobre algumas superfícies (Richter et al., 1985). Tais discontinuidades são chamadas de ondas de choque e são formadas quando um objeto físico se desloca com uma velocidade acima das características do meio em que está se propagando.

Na teoria MHD existem três velocidades características: a velocidade do som, a velocidade de Alfvén e a velocidade magnetossônica. Para que seja formada uma onda de choque no meio interplanetário é necessário que uma estrutura viaje com uma velocidade maior do que pelo menos uma das velocidades características do meio (Parks, 1991).

Estas velocidades podem produzir cinco tipos de choques MHD: choques rápidos, choques lentos e três tipos de choques intermediários. Apenas os choques rápidos e lentos estão presentes no

vento solar, sendo identificados pela elevação da intensidade do campo magnético para o caso do choque rápido, ou pela redução da intensidade do campo magnético para o caso do choque lento.

Se a onda de choque se desloca do Sol para o meio interplanetário diz-se que o choque é frontal (do inglês *forward*). No caso contrário, quando a onda de choque se desloca do meio interplanetário para o Sol diz-se que o choque é reverso (do inglês *reverse*). Como o vento solar se desloca no sentido saindo do Sol com velocidade supersônica, ambos os choques se movem com o mesmo sentido, para fora do Sol (Burlaga, 1995).

A onda de choque realiza um processo de transformação de energia cinética, devido ao fluxo à frente do choque, em energia térmica atrás do choque sendo essa uma das motivações para o seu estudo.

2.4.4 Ejeções Coronais de Massa

Uma ejeção coronal de massa (do inglês *Coronal Mass Ejection - CME*) é um desprendimento de plasma solar, observado a partir da coroa, que se propaga através do espaço interplanetário e produz distúrbios geomagnéticos quando interage com o campo magnético terrestre. Estas estruturas viajam com uma velocidade de várias centenas de km/s, arrastando consigo o plasma do vento solar e o campo magnético interplanetário. Devido a sua velocidade estas estruturas são quase sempre acompanhadas por uma onda de choque.

A estrutura das CMEs é tipicamente caracterizada por um loop externo, uma cavidade interna com densidade menor e uma proeminência eruptiva interna (Hundhausen, 1998).

A origem das CMEs pode estar relacionada com estruturas chamadas de *helmet streamers*, um feixe em forma de arcada ao longo e sobre uma linha de inversão de polaridade fotosférica (Sturrock e Smith, 1968), uma vez que os *helmet streamers* normalmente apresentam proeminências.

A sequência de imagens do coronógrafo, na Figura 13 mostra a estrutura da densidade da coroa solar e suas variações temporais, bem como suas expulsões transientes de plasma, que são a essência das CMEs (Hundhausen, 1997).

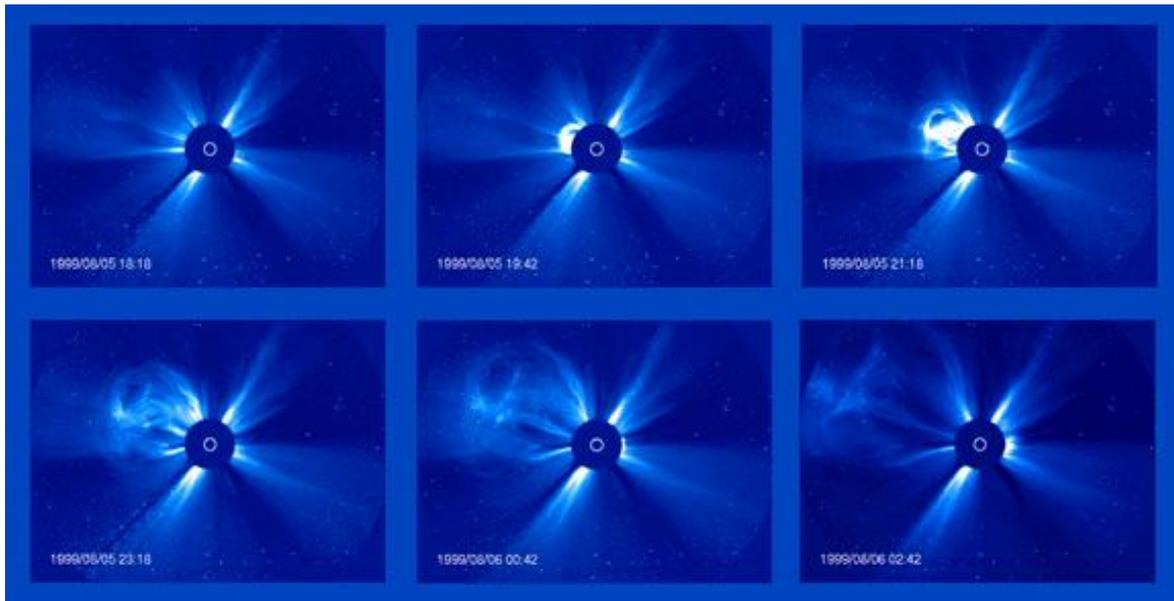


Figura 13: Sequência de imagens de coronógrafo mostrando uma CME, desde o momento da formação até o completo desprendimento da coroa solar. Fonte: http://sohowww.nascom.nasa.gov/gallery/images/large/cmeprogchart_prev.jpg

O coronógrafo mede a radiação fotosférica espalhada por elétrons no plasma coronal ionizado, mostrando a estrutura da densidade da Coroa. Tipicamente, as CMEs têm uma frequência relacionada com o ciclo solar, podendo ser observados cerca de um evento por semana, no mínimo do ciclo, enquanto podem ocorrer 2 a 3 eventos por dia nos períodos do máximo da atividade solar.

As CMEs foram divididas em dois tipos principais (Sheeley et al., 1999): CMEs graduais, aparentemente formadas pela elevação de proeminências e suas cavidades, vindas da baixa coroa, apresentando aceleração gradual até valores da ordem de 400-600 km/s² e CMEs impulsivas, associadas a explosões e ondas EIT (Extreme Ultraviolet Image Telescope), que são ondas observadas em comprimento de onda ultravioleta, não apresentando aceleração e com velocidades iniciais maiores a 750 km/s. Portanto a relação entre explosões e CMEs não está esclarecida, sendo impossível afirmar que um é causa/efeito do outro ou que são eventos independentes.

Quando observadas no meio interplanetário, as CMEs são denominadas “ejeções coronais interplanetárias de massa” (do inglês interplanetary coronal mass ejections, ICMEs). As observações de ICMEs no meio interplanetário são feitas por sondas e satélites orbitando a Terra, no ponto Lagrangeano interno L1 do sistema Sol – Terra, localizado a uma distância de aproximadamente 240 raios terrestres da Terra. Estes instrumentos capturam imagens do Sol e medem a intensidade, a direção do campo magnético e os parâmetros de plasma tais como temperatura, densidade e velocidade de íons e elétrons do vento solar. Dentre os diversos satélites

usados para este fim podemos citar o ACE (*Advanced Composition Explorer*), SOHO (*Solar and Heliospheric Observatory*) e o STEREO (*Solar Terrestrial Relations Observatory*).

As nuvens de plasma resultantes de ICMEs observadas no meio interplanetário não apresentam uma única característica. Segundo Neugebauer e Goldstein (1997), as características das ICMEs são:

- 01 - Baixa temperatura de íons para uma dada velocidade do vento solar, razão para tal característica é a expansão da estrutura;
- 02 - Anisotropia não usual da distribuição de prótons com temperatura paralela superior a temperatura perpendicular ao campo magnético interplanetário, causado pela conservação do momento magnético dos íons à medida que o plasma se expande;
- 03 - Abundância de Helio não usual;
- 04 - Abundância de outras espécies iônicas;
- 05 - Feixes bidirecionais de elétrons supratermais e íons energéticos. Caracteriza uma configuração de campo magnético interplanetário; é possível que seja o campo magnético interno de uma ejeção, fechado e com extremidades presas no Sol;
- 06 - Suave e intenso campo magnético, interferindo nos valores de parâmetro β de plasma, que quando combinado com baixas temperaturas levam o parâmetro β a baixos valores. Este parâmetro é geralmente menor que 0,1;
- 07 - Presença de rotação do campo magnético. Algumas destas configurações são chamadas de nuvens magnéticas quando possuem: aumento de seu campo magnético por um fator maior que 2; suave rotação por um amplo intervalo de ângulo θ ; baixa temperatura iônica;
- 08 - Decréscimo do fluxo de raios cósmicos.

No ano de 1982, Howard e colaboradores relataram à observação de uma CME que apresentava uma estrutura anular cobrindo quase todo o entorno do osculador do coronógrafo usado na missão P78-1. Os autores chegaram à conclusão que essa CME se deslocava em direção a Terra, devido à observação de uma tempestade geomagnética subsequente, denominando-a como uma ejeção coronal de massa “halo”, pela forma anular da estrutura.

2.5 Raios Cósmicos

Apesar de o nome sugerir que este tipo de radiação seja composta por “raios” originados no

espaço exterior, os raios cósmicos são, na realidade, compostos por partículas energéticas, cujo poder de penetração é muito superior ao de qualquer outra partícula conhecida, seu espectro de energia varia desde alguns MeV até acima de 10^{21} eV. A Figura 14 mostra um gráfico da distribuição da energia dos raios cósmicos. Existem dois fatos relativos ao espectro de energia que são importantes para a discussão sobre a origem dos raios cósmicos galácticos. Um é a isotropia dos raios cósmicos medida para energias $\leq 10^{15}$ eV e o outro é sua constância sobre um longo período de tempo, aproximadamente 10^9 anos.

Com isto, a fonte dos raios cósmicos deve produzir partículas com energia próxima a 10^{21} eV e com um espectro de potências dado por $I(E) \propto E^{-2.7}$ (Mursula e Usoskin, 2003). Além disso, a energia total produzida deve ser da ordem de 10^{49} ergs/ano em nossa galáxia, os raios cósmicos devem ser isotrópicos e constantes durante 10^9 anos. Também, o espectro primário deve incluir elementos pesados em torno de aproximadamente $Z = 100$.

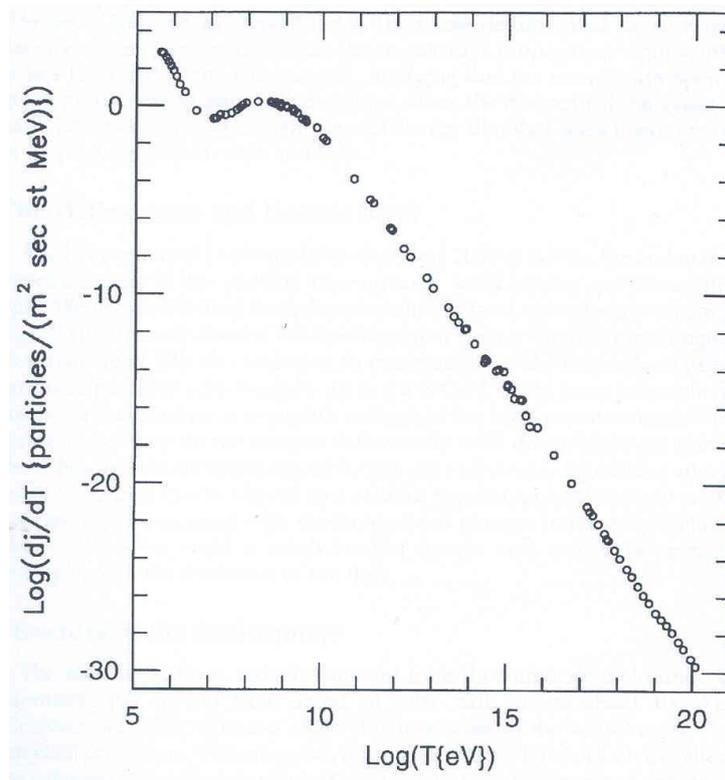


Figura 14: Intensidade dos raios cósmicos em função da energia.
Fonte: Jokipii (1998).

Os raios cósmicos podem ser divididos em duas categorias: raios cósmicos primários e raios cósmicos secundários.

Os raios cósmicos primários são partículas que sofrem a modulação heliosférica, podendo

ser originadas em três locais diferentes no centro da galáxia: raios cósmicos galácticos (do inglês *galactic cosmic rays*, GCR), no Sol, raios cósmicos solares (do inglês *solar cosmic rays*, SCR) e na heliosfera através da interação de partículas neutras do gás interestelar com o vento solar, raios cósmicos anômalos (do inglês *anomalous cosmic rays*, ACR).

Os raios cósmicos secundários são produtos da interação dos raios cósmicos primários com a atmosfera terrestre, sofrendo as modulações principalmente do campo magnético e da atmosfera terrestre.

Na região de baixa energia, os estudos das emulsões fotográficas revelaram que os processos são caracterizados por traços radiais a partir do ponto de interação, conhecidos como estrelas. Alguns destes rastros são reconhecidos como sendo píons, outros representando nucleons e um deles sendo o remanescente do núcleo original. A Figura 15 mostra, esquematicamente, algumas das partículas secundárias de um “chuveiro” de raios cósmicos, gerado a partir da interação das partículas primárias de raios cósmicos com os constituintes atmosféricos.

Um dos produtos dos raios cósmicos são os muons, chamada de componente méson-muônica. Os muons são partículas subatômicas que possuem a mesma carga do elétron, porém tem massa 207 vezes maior. Eles possuem grande poder de penetração e mantêm a direção e o sentido do raio cósmico primário que os originou. A Figura 15 mostra três tipos de componentes: a componente méson-muônica, a componente eletromagnética e a componente nucleônica.

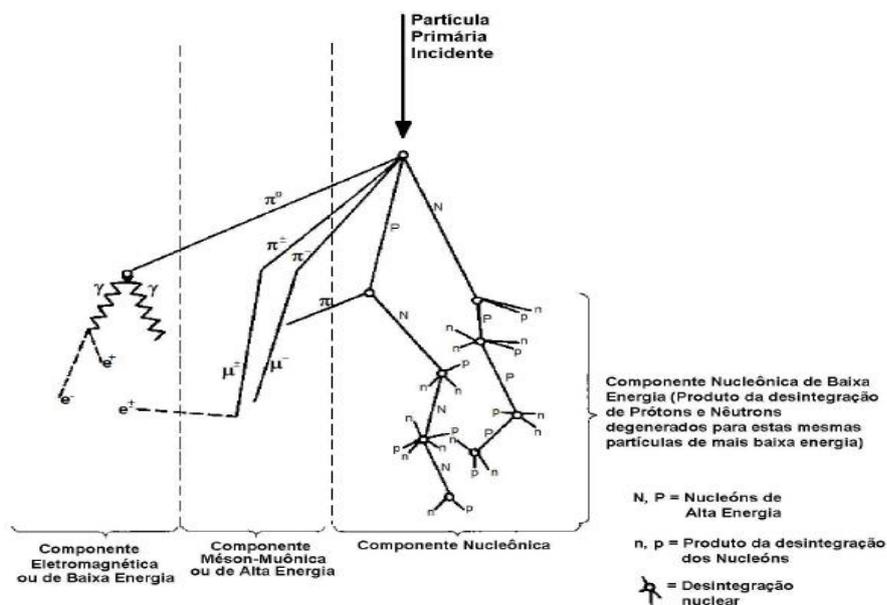


Figura 15: Diagrama esquemático de um chuva de raios cósmicos.

Fonte: Modificado de Forbush (1993).

A relação entre a incidência na Terra dos raios cósmicos e as estruturas interplanetárias é de grande importância para o estudo do Clima Espacial, pois quando uma estrutura como uma nuvem magnética se aproxima, ela age como um escudo, fazendo com que a taxa de raios cósmicos que incidem na Terra, vindos daquela direção diminua (Figura 16). Através disso é possível perceber quando uma nuvem magnética se aproxima da Terra e prever a ocorrência de uma tempestade geomagnética.

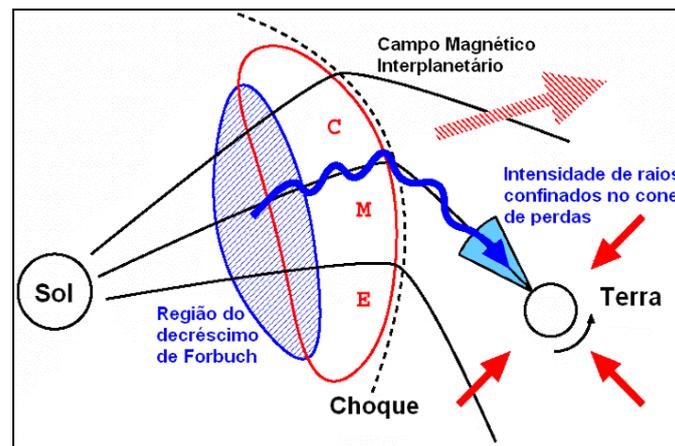


Figura 16: Ilustração do bloqueio de raios cósmicos por uma CME.
Fonte: Adaptado de Nagashima et al. (1992) e Ruffolo et al. (1999).

Quando há uma tempestade geomagnética acontece um novo decréscimo na taxa de raios cósmicos que atingem a Terra, mas desta vez de maneira global, sendo este denominado decréscimo de *Forbush*.

2.6 Tempestades Geomagnéticas

Tempestades Geomagnéticas são eventos que ocasionam grandes perturbações no Campo Magnético Terrestre, onde a Terra fica vulnerável a precipitação de partículas energéticas do Vento Solar, tendo recebido esta denominação desde a metade do século XIX (Gonzalez, 1994). A característica principal de uma Tempestade Geomagnética é o decréscimo acentuado da componente horizontal (H) do Campo Geomagnético e a posterior fase de recuperação (Kamide, 1998). O decréscimo atribui-se a um aumento da quantidade de partículas aprisionadas na magnetosfera. Este decréscimo é descrito quantitativamente através de vários índices dentre eles o principal se chama

Dst. O índice Dst é baseado nas medidas horárias da componente horizontal (H) do Campo Geomagnético obtido em observatórios de latitudes média e baixa. As variações do índice Dst durante uma Tempestade Geomagnética são mostradas na Figura 17.

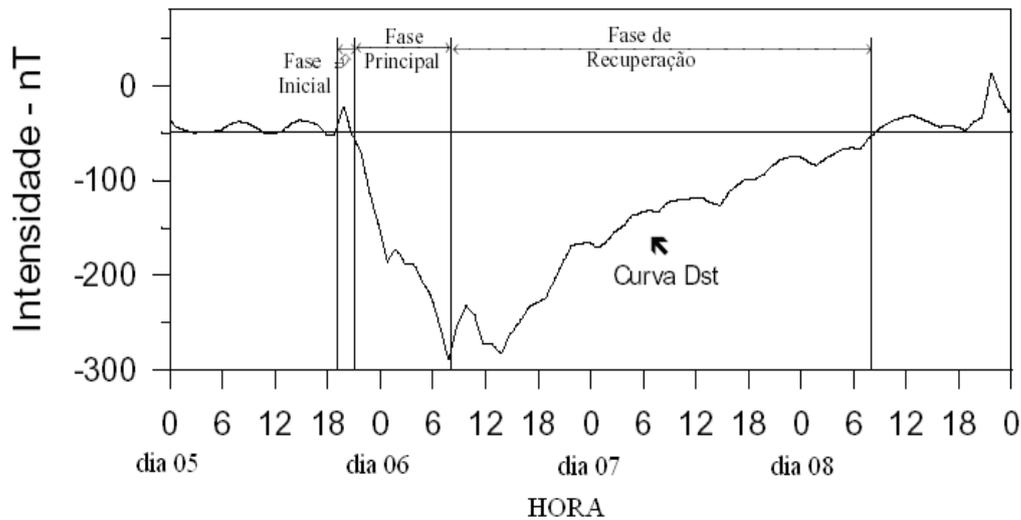


Figura 17: Curva Dst entre os dias 5–8 de setembro de 1982
Fonte: Adaptada de Yamashita (1999)

As tempestades geomagnéticas podem causar danos tais como:

- Efeitos sobre a rede de transmissão de energia elétrica, gerando “black-out”.
- Danos em satélites causados por partículas de alta energia.
- Mudanças nos arrastos atmosféricos em satélites.

Além dos danos, as tempestades também provocam fenômenos fascinantes, como a formação das auroras nos pólos (Figura 18).



Figura 18: Aurora formada após uma tempestade geomagnética.

Fonte: http://sohowww.nascom.nasa.gov/spaceweather/lenticular/green_aurora.jpg

Todas as estruturas citadas acima podem causar ou ter influência na ocorrência de tempestades, sendo as CMEs e as nuvens magnéticas as principais responsáveis por tempestades mais intensas (Gosling et al., 1990, 1991).

As nuvens magnéticas causam as tempestades geomagnéticas quando, ao interagir com a magnetosfera, a componente Z do campo magnético da estrutura é antiparalela a direção do campo geomagnético. Quando isto ocorre diz-se que há o fenômeno de reconexão magnética. A Figura 19 mostra a interação entre uma CME do tipo nuvem com a magnetosfera, onde são mostradas as direções da componente do campo da nuvem e da magnetosfera.

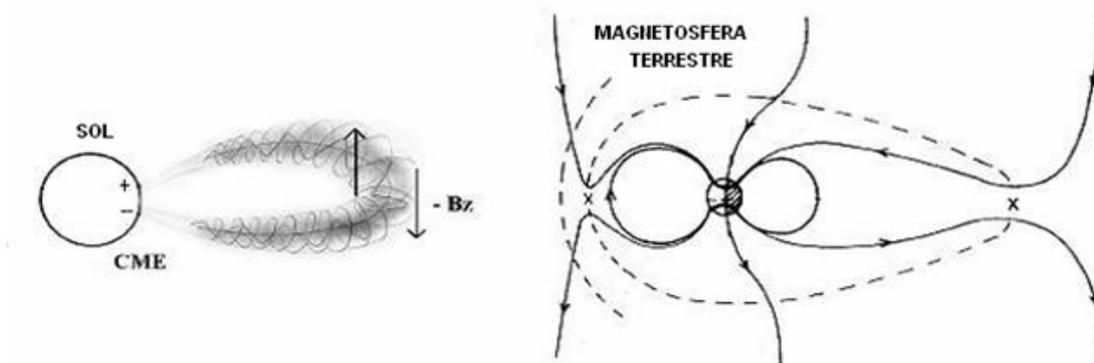


Figura 19: Ilustração da interação entre uma nuvem magnética, oriunda de uma ICME, com a magnetosfera terrestre.

Fonte: Adaptado de Tsurutani e Gonzalez et al. (1997).

Com os vários danos causados na Terra por estas estruturas fica óbvia a necessidade de um

estudo detalhado sobre a natureza física das estruturas interplanetárias, bem como dos mecanismos que as geram no Sol. Neste sentido, somam-se esforços dos principais centros de pesquisa do mundo, resultando em grandes avanços científicos como a possibilidade de previsão das tempestades geomagnéticas.

Existem diversos índices para a classificação das tempestades geomagnéticas. Neste trabalho foi usado o índice Dst do *World Data Center for Geomagnetism* (Kyoto, Japão) disponível no site <http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/dstdir/>.

De um modo geral a área científica responsável pelo estudo e monitoramento do geoespaço, através de observações in situ e de sensoriamento remoto, é denominada de Clima Espacial. Clima Espacial é o conjunto de variações das condições do meio interplanetário por influência da atividade solar. Alguns exemplos dessas condições são o vento solar, a radiação eletromagnética e o campo magnético interplanetário. A Figura 20 mostra os fenômenos que afetam o Clima Espacial mostrando os seus tempos de chegada à Terra e de duração, as energias envolvidas e seus principais efeitos.

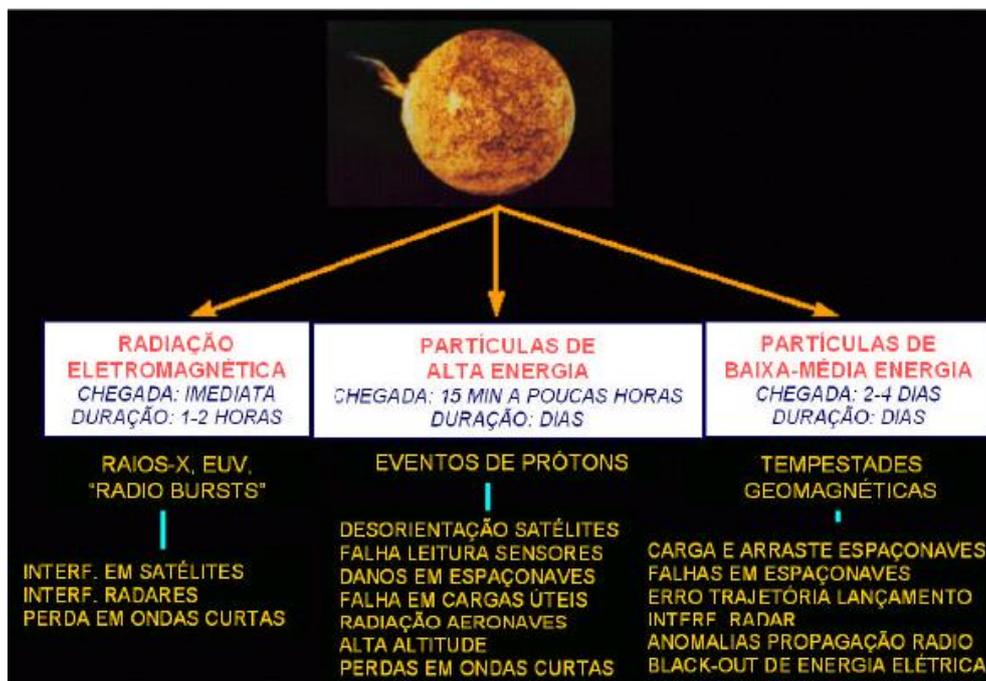


Figura 20: Fenômenos que afetam o Clima Espacial, energias envolvidas, tempo de duração de seus efeitos e principais tipos de danos em sistemas tecnológicos. Fonte: Schwenn (comunicação pessoal), (apud Dal Lago, 2003).

CAPÍTULO 3

Metodologia

No Capítulo 3 é descrita a Metodologia adotada na realização do Projeto. Inicialmente é feita uma pequena descrição do satélite ACE e dos instrumentos SWEPAM e MAG. Na última parte do capítulo é explicado de forma sucinta, o Detector Multidirecional de Muons – DMM e o método de contagem por cintilação. Todos os dados usados na execução do projeto são tratados em linguagem IDL.

3.1 O Satélite ACE

O satélite ACE (do inglês *Advanced Composition Explorer*) é um projeto da *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) e foi lançado em 25 de agosto de 1997 do *Kennedy Space Center* na Florida.

O satélite tem 1,6 m de comprimento e 1 m de altura, não incluindo os quatro painéis solares e a antena do magnetômetro. No momento de lançamento sua massa era de 785 kg, sendo 189 kg de combustível para inserção e correção da órbita. Seus painéis solares geram aproximadamente 500 W de potência.

O ACE encontra-se a aproximadamente 1,5 milhões de km da Terra, orbitando o ponto Lagrangeano interno L1, que é o ponto de equilíbrio gravitacional entre o Sol e a Terra. O ACE está em uma posição constante em relação à Terra e assim, como ela gira em torno do Sol, a Figura 24 é uma ilustração do ACE e da sua órbita.

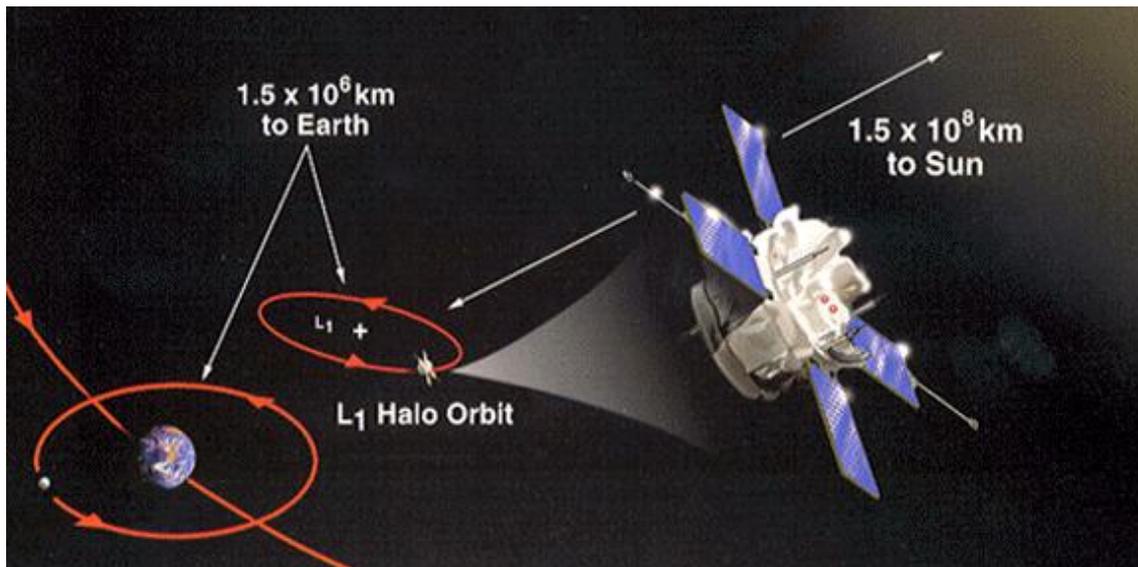


Figura 21: Ilustração representativa da órbita do satélite ACE; o ponto Lagrangeano L1; a distância do L1 em relação à Terra e ao Sol.

Fonte: http://www.srl.caltech.edu/ACE/ace_mission.html

Os principais objetivos da missão do ACE são: determinar a composição elementar e isotópica de diversas substâncias, incluindo a coroa solar, o meio interplanetário e galáctico. O estudo relacionado ao Sol é feito através da medição direta da composição do vento solar, CMEs e de partículas solares expelidas durante alguma atividade solar.

Para coletar os dados usados o ACE conta com 10 instrumentos, listados abaixo, que estão dispostos em sua maioria na parte superior do satélite. A Figura 22 mostra um esquema da disposição dos instrumentos no ACE.

- CRIS (*Cosmic Ray Isotope Spectrometer*)
- SIS (*Solar Isotope Spectrometer*)
- ULEIS (*Ultra Low Energy Isotope Spectrometer*)
- SEPICA (*Solar Energetic Particle Ionic Charge Analyzer*)
- SWIMS (*Solar Wind Ion Mass Spectrometer*)
- SWICS (*Solar Wind Ionic Composition Spectrometer*)
- EPAM (*Electron, Proton, and Alpha Monitor*)
- SWEPAM (*Solar Wind Electron, Proton, and Alpha Monitor*)
- MAG (*Magnetometer*)
- RTSW (*Real Time Solar Wind*)

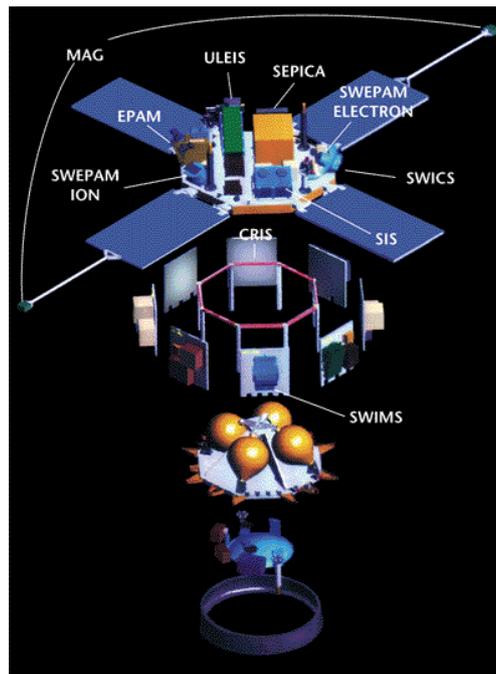


Figura 22: Ilustração da disposição dos instrumentos abordo do ACE.

Fonte: http://www.srl.caltech.edu/ACE/ace_mission.html

Dentre os instrumentos abordo do satélite ACE foram utilizados, neste Projeto, apenas dados dos instrumentos SWEPAM e MAG.

O SWEPAM mede o fluxo de partículas, elétrons e íons, no vento solar como funções da posição e da energia. Com isso, ele fornece dados de parâmetros como velocidade, temperatura e densidade do vento solar, sendo que estes dados proporcionam o estudo das condições internas do plasma do vento solar. Os dados do SWEPAM estão disponíveis no site da missão ACE (<http://www.srl.caltech.edu/ACE>), onde ainda encontram-se dados do meio interplanetário em tempo real.

O MAG é basicamente um sistema composto por dois magnetômetros fluxgate gêmeos, instalados no final de dois painéis solares opostos, Figura 22. O MAG fornece dados de campo magnético do meio interplanetário nos sistemas de coordenadas GSM e GSE. Os dados do MAG também estão disponíveis na página da missão ACE.

Através dos dados fornecidos pelo SWEPAM e pelo MAG é possível identificar e distinguir as diferentes estruturas interplanetárias. Os dados são disponíveis em arquivos de texto, dispostos em colunas, como mostra a Figura 23.

Year	Day of Year	B_gsm_x	B_gsm_y	B_gsm_z	Bmag	Np	Vp	Tp
2012.00000949	1.003472	4.9337	0.8820	2.1749	5.4907	7.9203	385.4282	3.5822e+04
2012.00001897	1.006944	4.3534	1.2158	2.2304	5.1061	8.2942	384.1512	3.5784e+04
2012.00002846	1.010417	3.9112	1.3588	2.0522	4.7048	8.6098	382.5385	3.7412e+04
2012.00003795	1.013889	3.6318	1.3995	1.9469	4.3790	8.5401	383.3144	3.5353e+04
2012.00004743	1.017361	3.4338	1.6942	2.0690	4.3597	8.6922	383.7401	3.7823e+04
2012.00005692	1.020833	2.2247	2.9852	1.4503	4.2438	9.1298	384.7350	4.3822e+04
2012.00006641	1.024306	0.6240	3.7996	0.7173	4.0699	9.6784	385.2243	4.6999e+04
2012.00007590	1.027778	1.0972	3.6341	0.8696	4.0945	9.3655	384.4437	4.5768e+04
2012.00008538	1.031250	-0.1440	4.0555	0.0118	4.3429	9.4647	382.4094	3.9262e+04
2012.00009487	1.034722	0.1734	4.2004	0.2766	4.3025	9.4799	380.6544	3.9667e+04
2012.00010436	1.038194	-0.0918	4.3919	0.7315	4.5566	8.8786	380.4601	3.5725e+04
2012.00011384	1.041667	-0.3162	4.8857	0.3260	5.0127	8.0826	382.4788	3.8381e+04
2012.00012333	1.045139	-1.0235	4.6590	-0.0628	4.7916	8.4219	387.9908	4.1233e+04
2012.00013282	1.048611	-1.8547	4.7955	-0.6240	5.2103	7.7200	385.1256	4.0021e+04
2012.00014230	1.052083	-1.8386	5.1035	-1.0479	5.5378	7.1668	380.7924	3.9057e+04

Figura 23: Tabela de dados obtidos do Satélite ACE, dados baixados da internet pelo bolsista para confecção de gráficos.

Fonte: http://www.srl.caltech.edu/ACE/ASC/browse/view_browse_data.html

O quadro da Figura 23 contém colunas que indicam respectivamente o ano fracionado, o dia do ano, os valores do módulo e das componentes nas direções x, y e z do campo magnético do vento solar e a densidade, a velocidade dos prótons e temperatura. Estes dados são utilizados para a análise através da confecção de gráficos. Os gráficos são feitos através de rotinas no programa IDL (*Interactive Data Language*).

3.2 Detector Multidirecional De Muons

Um Detector Multidirecional de Muons (DMM) está em operação no Observatório Espacial do Sul (OES/CRS/INPE – MCTI), em São Martinho da Serra, RS, Brasil (Latitude 29°, 26', 24''S, Longitude 53°, 48', 38''O, altitude 492m acima do nível do mar) no âmbito da parceria INPE/MCTI – UFSM, através do Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria (LACESM/CT – UFSM) desde março de 2001.

O DMM faz parte da rede internacional de telescópios, ou Rede Global de DMMs, (*Global*

Muon Detector Network (GMDN)), constituída por seis telescópios, um em cada cidade: Nagoya (Japão), Hobart (Austrália), Kuwait (Kuwait), São Martinho da Serra (Brasil), Greifswald (Alemanha) e Yerevan (Armênia). A Figura 24 mostra a área de cobertura da rede, com as visões assintóticas de cada telescópio.

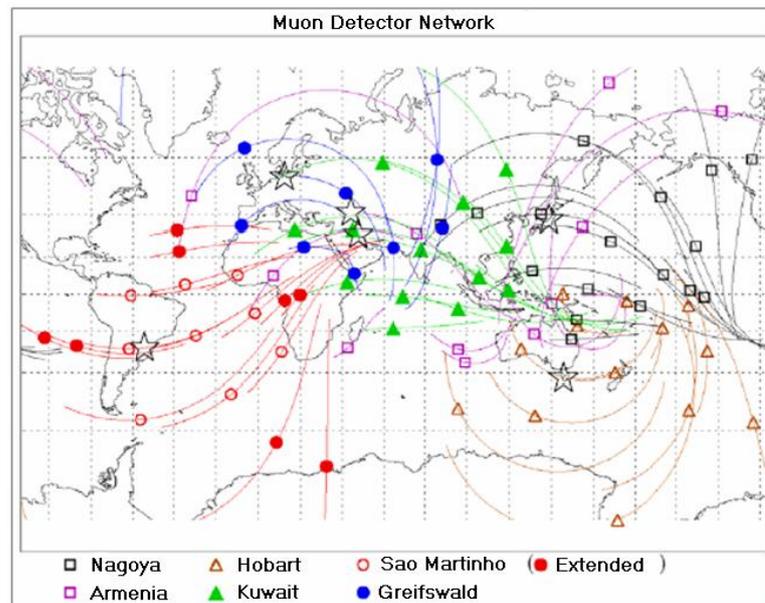


Figura 24: Diagrama mostrando a área de cobertura da rede de DMMs, mostrando as visões assintóticas de cada detector. Fonte: Munakata et al. (2004).

Os raios cósmicos de alta energia (muons) estão sujeitos a modulações consequentes de distúrbios interplanetários (Lockwood, 1971; Cane, 1993). Em adição a esta redução de intensidade, chamada decréscimo de *Forbush*, fenômenos precursores ao choque também foram relatados (Dorman, 1963; Dorman et al. 1967, 1972).

Decréscimos precursores devem resultar de um efeito “cone de perdas”, no qual o detector está observando partículas que passam na região de depleção de raios cósmicos atrás do choque. O efeito cone de perdas é geralmente restrito a partículas movendo-se de modo a afastar-se do choque e com ângulos de *pitch* pequenos. A Figura 25 destaca o equipamento – instalado no Observatório Espacial do Sul, em São Martinho da Serra, RS, Brasil – utilizado para a detecção deste efeito.



Figura 25: Foto do DMM instalado no OES em dezembro de 2005.

A detecção e contagem dos muons são realizadas pelo método de contagem por cintilação. Quando um muon atinge o plástico cintilante, localizado dentro de cada telescópio, alguns fótons são emitidos e detectados por uma fotomultiplicadora, acoplada em cada telescópio. Assim, um muon é detectado através do registro de uma corrente elétrica. Quando é registrada a passagem de uma partícula pelo detector na camada de cima e na de baixo, ao mesmo tempo, (tendo em vista que os muons se deslocam com velocidades muito altas) o computador conta como uma partícula. A Figura 26 mostra um esquema do DMM. Os muons que são detectados devem ter energia ≥ 50 GeV, para isso foi colocada uma camada de chumbo em baixo de cada camada do DMM, a fim de filtrar partículas com energia inferior.

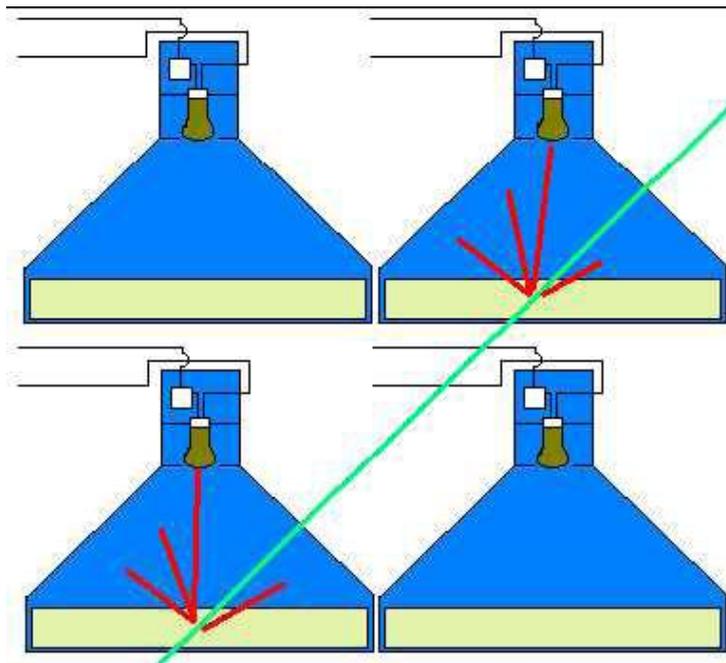


Figura 26: Esquema do método de contagem do DMM.
Fonte: DA SILVA, 2005 pg. 68.

Os detectores direcionais são identificados por uma letra seguida de um número, sendo U para a camada superior e L para a camada inferior. O DMM instalado no OES possui 13 direções de detecção, dadas pela combinação dos detectores da camada superior e inferior.

Neste Projeto foram utilizados dados do DMM, instalado no OES, apenas para o estudo da modulação dos muons por estruturas interplanetárias.

CAPÍTULO 4

Análise de Dados e Discussão dos Resultados

Neste capítulo foram estudado choque do tipo F (Fast Forward), ou rápido frontal, de Janeiro de 2006 a Julho 2011 para a análise e compreensão dos eventos estudados foram plotados dados de magnitude do campo magnético, velocidade do vento solar, densidade de prótons e temperatura de prótons obtidos através do Satélite ACE. Com relação aos dados de raios cósmicos coube a melhor manipulação de dados usando o canal vertical de São Martinho da Serra, corrigidos pela pressão. Na Figura 27 pode-se perceber o início do choque que é indicado por uma linha vermelha.

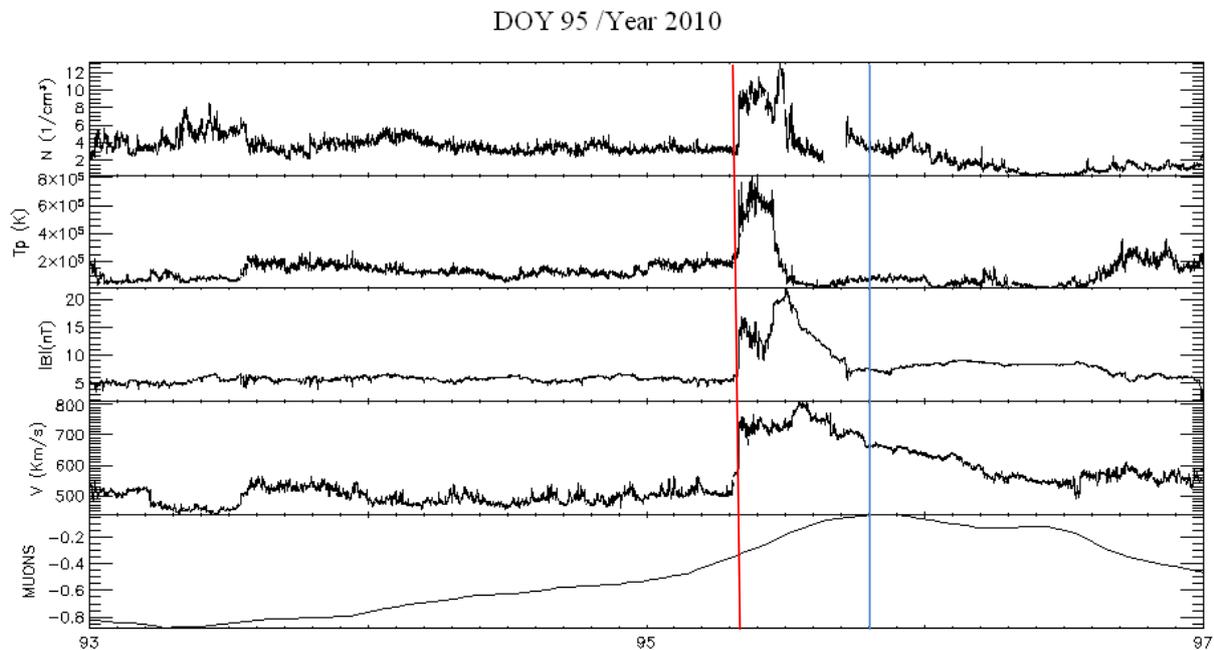


Figura 27 - Exemplo de um choque frontal rápido do dia 04 de abril de 2010. Onde houve saltos abruptos em todos os parâmetros de plasma, densidade (N_p), temperatura (T_p), velocidade (V) e campo magnético interplanetário (B).

A Figura 27 é um exemplo de choque que está se movendo para fora do Sol em relação ao Sol, portanto, frontal, e rápido por sua velocidade relativa ao vento solar ser maior que o modo rápido da onda magnetossônica. O gráfico da velocidade mostra que o vento solar passou de aproximadamente 500 km/s para aproximadamente 750 Km/s, ocorrendo assim um aumento na

densidade do plasma na parte frontal da estrutura. O decréscimo ocorrido antes da passagem da ICME pode estar associado à onda de choque que precedeu a estrutura.

Os valores das intensidades dos raios cósmicos foram analisados em termos da porcentagem da contagem média relativa a um período específico. Exige que os dados sejam centrados com relação ao zero, efetuou-se a contagem percentual calculada em relação à média dos dados referente ao canal vertical do DMM in São Martinho da Serra-RS, Brazil corrigida pela pressão atmosférica, utilizando-se a expressão:

$$\Delta\% = \left[\frac{\text{Contagem (Partic./h)} - \text{média}}{\text{média}} \right] \times 100 \quad (1)$$

Onde a “contagem” significa a contagem de determinada amostra (em geral a contagem horária de muons em determinada direção) e “média” significa a média da contagem horária. Para calcular-se a média toma-se um período de tempo muito maior que o período de análise (geralmente o período de um mês ou um ano).

Foi analisado o período de 32 a 37 de 2006, que corresponde de 01 á 06 de fevereiro de 2006 . A figura 28 mostra um painel com os gráficos realizados, listando de cima para baixo, a temperatura, o módulo do campo magnético, a pressão magnética, velocidade do vento solar e a contagem dos muons conforme equação (1) .

No período foi observado um evento interplanetário, onde a linha azul marca a onda de choque que precede a estrutura e as linhas vermelhas demarcam o início da estrutura.

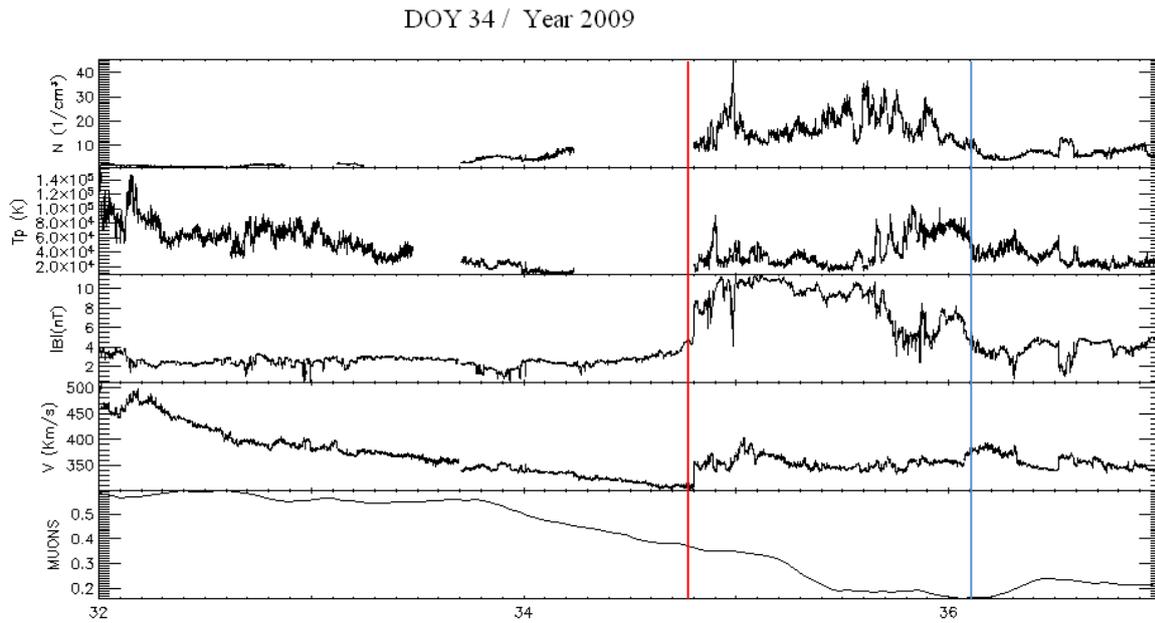


Figura 28 - Exemplo de um choque frontal rápido do dia 03 de abril de 2009. Onde houve saltos abruptos em todos os parâmetros de plasma, densidade (N_p), temperatura (T_p), velocidade (V) e campo magnético interplanetário (B).

No gráfico é possível ver que a densidade aumenta na região do choque, indica que houve uma compressão do plasma pela onda de choque da estrutura. Pode-se observar com clareza o decaimento na contagem dos muons com uma antecedência de aproximadamente 10h, que pode ser mais facilmente observado nos MUONS, percebe-se uma perda de dados na densidade e temperatura que antecede o choque do dia 03 de abril de 2009.

CAPÍTULO 5

Conclusões

Com o grande avanço nos sistemas tecnológicos e eletromagnéticos tornou-se indispensável o monitoramento das atividades solares. Um dos fenômenos causados por essas atividades são as CMEs, que ao entrarem em contato com a magnetosfera terrestre provocam as tempestades geomagnéticas, que podem causar graves prejuízos nas telecomunicações e na estabilidade de grandes sistemas, como usinas nucleares.

Vem crescendo os esforços internacionais para o estudo do Clima Espacial, especialmente sobre os ciclos solares. Como ferramentas para coleta de dados para o estudo, foram enviados satélites como o ACE, ao ponto Lagrangeano L1. Foi criada uma Rede Internacional GMDN de Detectores de Muons, na qual um dos DMMs se encontra instalado no OES em São Martinho da Serra.

Os métodos usados para as análises do meio interplanetário são muito parecidos, porém o fato de o DMM estar instalado na superfície terrestre, ficando viável a realização de reparos, propicia um maior contato do aluno e demais integrante do Laboratório de Clima Espacial e Previsão de Tempestades Magnéticas com a coleta de dados e respectivas análises. O DMM tem a vantagem de propiciar os meios para que seja feita uma previsão mais longa da possibilidade de ocorrência de uma tempestade geomagnética.

As análises do evento ocorrido entre os dias 14 e 16 de dezembro de 2006 mostram a ocorrência da passagem de uma onda de choque pelo satélite ACE, sendo classificada esta estrutura como uma ICME, não apresentando claramente rotação em nenhuma das coordenadas do campo magnético. A tempestade, classificada como tempestade intensa, teve pico Dst = -146 nT no dia 15 de dezembro.

As análises do evento ocorrido entre os dias 16 e 18 de junho de 2012 indicam a passagem de uma estrutura classificada como uma nuvem magnética, segundo Burlaga, precedida por uma onda de choque. A pressão magnética mostrou que o campo magnético dentro da nuvem é intenso, fazendo com que o parâmetro beta ficasse com valores baixos.

O Projeto permitiu ao acadêmico contato direto com a linha de pesquisa de Clima Espacial,

bem como, um contato estreito com o Método Científico. Além disso, o estudo do Clima Espacial tem se mostrado importante para a prevenção de danos causados por tempestades magnéticas em sistemas de comunicação de dados e transmissão de energia elétrica.

Referências Bibliográficas

Echer, E., Alves, M. V. e Gonzalez, W. D. 2006. Ondas de choque não colisionais no espaço interplanetário. Rev. Bras. Ens. Fís., v. 28, n° 1, p. 51 – 65.

Dal Lago, A., et al. (2006), The 17–22 October (1999) solar-interplanetary-geomagnetic event: Very intense geomagnetic storm associated with a pressure balance between interplanetary coronal mass ejection and a high-speed stream, J. Geophys. Res., 111, A07S14, doi:10.1029/2005JA011394.

ECHER, E. ; RIGOZO, N. R. ; NORDEMANN, D. J. R. ; VIEIRA, L e A ; PRESTES, A. ; H. H. Faria . O Número de Manchas Solares, Índice de Atividade do Sol. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 25, n. 2, p. 157-163, 2003.

ECHER, E. ; GONZALEZ, W D ; VIEIRA, L e A ; LAGO, A Dal ; GUARNIERI, F L ; PRESTES, A. ; GONZALEZ, A L C ; SCHUCH, N J . Interplanetary shock parameters during solar activity maximum (2000) and minimum (1995-1996). Brazilian Journal of Physics, v. 33, n. 1, p. 115-122, 2003.

ECHER, E. ; GONZALEZ, W D ; GUARNIERI, F L ; DALLAGO, A. ; VIEIRA, L e A . Introduction to space weather. Advances in Space Research, v. 35, p. 855-865, 2005.

ECHER, E. ; ALVES, M V ; GONZALEZ, W D . Ondas de choque não colisionais no espaço interplanetário. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 28, n. 1, p. 51-66, 2006.

Dal Lago, A.; Schwenn, R.; Stenborg, G; Gonzalez, W. D. Coronal mass ejection speeds measured in the solar corona using LASCO C2 and C3 images. Advances in Space Research, Inglaterra, v. 32, n. 12, p. 2619-2624, 2003.

Dal Lago, A.; Vieira, Luis Eduardo Antunes; Echer, Ezequiel; Gonzalez, Walter D.; Gonzalez, Alicia L Clua de; Guarnieri, Fernando Luis; Balmaceda, Laura Antonia; Santos, Jean Carlo; Silva, Marlos Rockenbach da; Lucas, Aline de ; Schuch, Nelson Jorge . Great geomagnetic storms in the rise and maximum of solar cycle 23. **Brazilian Journal of Physics**, Brasil, v. 34, n. 4B, p. 1542-1546, 2004.

Gonzalez, W.D., B.T. Tsurutani, e A.L.C. De Gonzalez, Interplanetary origin of geomagnetic storms, **Space Science Reviews**, 88 (3-4), 529-562, 1999.

E. Echer, W.D. Gonzalez, L.E.A. Vieira, A. Dal Lago, F.L. Guarnieri, A. Prestes, A.L.C. Gonzalez and N.J. Schuch, *Braz. Jour. Phys.* 33, 115 (2003).

Gosling, J. T., S. J. Bame, D. J. McComas, and J. L. Phillips, Coronal mass ejections and large geomagnetic storms, **Geophys. Res. Lett.**, 17, 901-904, 1990.

Gosling, J. T., D. J. McComas, J. L. Phillips, and S. J. Bame, Geomagnetic activity associated with earth passage of interplanetary shock disturbances and coronal mass ejections, **J. Geophys. Res.**, 96, 7831-7838, 1991.

Hundhausen, A. J. An introduction. In: Crooker, N.; Joselyn J. A.; Feynman, J. ed. **Coronal mass ejections**, Washington, DC: AGU, 1997. v. 99, p.1-7.

Munakata, K., J. W. Bieber, S.-I. Yasue, C. Kato, M. Koyama, S. Akahane, K. Fujimoto, Z. Fujii, J. E. Humble, & M. L. Duldig, Precursors of geomagnetic storms observed by the muon detector network, **J. Geophys. Res.**, 105, 27,457, 2000.

Schwenn, R., Dal Lago, A., Huttunen, E., Gonzalez, W.D. **The association of coronal mass ejections with their effects near the Earth** (2005) *Annales Geophysicae*, 23 (3), pp. 1033-1059.

ANEXOS

2nd IAA Conference on University Satellites Missions and Cubesat Workshop.

IAA-CU-13-04-07

The Importance of a Dosimeter in the NANOSATC-BR2

Vinicius Deggeroni^{}, Tiago Bremm*, Ezequiel Echer**, Alisson Dal Lago**, Otávio Cupertino Durão **, Nelson Jorge Schuch **.*

The NANOSATC-BR2 is the first nanosatellite of the INPE-UFSM Brazilian NANOSATC-BR program intended to have the capability of measuring the amount of space radiation with a dosimeter. The purposes of the mission associated with NANOSATC-BR2 are to qualify human resource for the space area; to develop the technological capacity of the partner institutions and to improve the researches on Geospace phenomena and mainly on the Solar-Terrestrial Physics and Space Weather Science and Applications related to the South Atlantic Magnetic Anomaly (SAMA) and the Equatorial Electrojet. A bibliographic review of the main results published on the topic area is done, focusing on the study of the dosimeter RFTDAT_CC10 type RADFET (Radiation-Sensing Field-Effect Transistor). In order to act individually on each circuit, checking the efficiency of the protection system upsets caused by the incidence of energetic particles emanating from space, the dosimeter is responsible for making the measurement of this radiation, verifying the energy level radiation limit and serviceability of equipment present in the nanosatellite. The objective in this work is to detail the characteristics of the dosimeter, and the possible analysis to be performed with this instrumentation, which is paramount in the study of the radiation environment in the SAMA region.

^{*} Southern Regional Space Research Center – CRS/INPE – MCTI, in collaboration with the Santa Maria Space Science Laboratory – LACESM/CT – UFSM, Santa Maria, RS, Brasil.

^{**}National Institute for Space Research – DGE/CEA/INPE – MCTI, São José dos Campos, SP Brasil.

SICCRS-SICINPE 2013

ESTUDO DO DECRÉSCIMO DE RAIOS CÓSMICOS MEDIDOS PELO DETECTOR MULTIDIRECIONAL DE MUONS DO OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL DEVIDO A CHOQUES INTERPLANETÁRIOS

Vinicius Deggeroni¹ (UFSM – CRS/INPE – MCTI, Bolsista do Programa PIBIC/INPE - CNPq/MCTI)
Ezequiel Echer² (Orientador - DGE/CEA/INPE – MCTI)
Nelson Jorge Schuch³ (Co-Orientador - CRS/INPE – MCTI)

RESUMO

O Projeto tem como objetivo estudar o decréscimo de raios cósmicos devido a choques interplanetários, incluindo as diferentes estruturas interplanetárias provenientes do Sol e, analisar suas interações com os raios cósmicos detectados pelo Detector Multidirecional de Muons – DMM. Estruturas solar-interplanetárias tais como ejeções de massa coronais (CME), ejeções de massa coronais interplanetárias (ICMEs) e explosões solares podem interagir com a Magnetosfera causando tempestades geomagnéticas. Os danos causados incluem perda de dados em satélites, perturbação em cabos de telecomunicação, interferência em radares, black-out de energia elétrica e riscos à saúde dos astronautas em órbita. Um dos objetivos do Clima Espacial é encontrar mecanismos que possibilitem previsões de tempestades geomagnéticas. Os muons são decorrentes do decaimento dos raios cósmicos primários com os constituintes da atmosfera terrestre, atingindo a Terra de forma isotrópica. Quando há uma tempestade geomagnética ocorre um decréscimo na contagem dessas partículas, denominado decréscimo de Forbush. O projeto se concentra em: examinar dados de campo magnético e velocidade de vento solar obtidos através do satélite ACE – NASA (*Advanced Composition Explorer*), e determinar a amplitude média do decréscimo de muons devido à passagem de estruturas pela Terra e a correlação entre a amplitude dos decréscimos e a amplitude dos choques. Foi utilizado o canal vertical do DMM, corrigido pela pressão atmosférica.

¹Aluno do Curso de Física Bacharelado da UFSM vinculado ao LACESM/CT – UFSM.

E-mail: vinidegg@gmail.com

²Pesquisador Titular I de DGE/CEA/INPE – MCTI.

E-mail: ezequiel.echer@gmail.com

³Pesquisador Titular Sênior III do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais.
E-mail: njschuch@lacesm.ufsm.br

33rd International Cosmic Ray Conference – ICRC - 2013

Analysis of Fast Forward shocks from January 2006 until July 2011 affected the structures in the intergalactic cosmic rays.

Deggeroni, V. [1]; Dal Lago, A. [2]; Schuch, N. J. [1]; Hammerschmitt, B. K. [1];
Bremm, T. [1]; Vasconcelos, C. [1];

[1] Southern Regional Space Research Center – CRS/CCR/INPE – MCTI, in collaboration with the Santa Maria Space Science Laboratory – LACESM/CT – UFSM, Brazil;

[2] National Institute for Space Research, – DGE/CEA/INPE – MCTI, São José dos Campos, SP Brasil.

Abstract

The space between the planets in the Solar System is the Sun's atmosphere, which is permeated by the solar wind, expanding through interplanetary space. The disturbances and Sun activities are transmitted to solar wind and often produce shock waves with the interplanetary medium. Any change in solar activity is reflected in the interplanetary medium this changes can be generate shocks waves. The solar atmosphere is composed of magnetized plasma, the agitation in the solar wind generates a disturbance in the charged particles passage, such as cosmic rays primary, generally causing a decrease in particle count. The Muons are results from the decay of cosmic rays primary with the constituents of the atmosphere, reaching the Earth so isotropic. The object is study the interplanetary structures from the Sun, using the shocks wave of type F (Fast Forward) that occurs in January 2006 until July 2011, analyzing the effects of the structures in the intergalactic cosmic rays observed by the Muon Detector Multidirectional – MDM, installed at the Southern Space Observatory - OES/CRS/CCR/INPE-MCTI, in São Martinho da Serra-RS, Brazil, the MDM counts the muons of high energy (> 50 GeV). The work consists of analyzing data magnitude of interplanetary magnetic field, solar wind speed, proton density and proton temperature data obtained from the Advanced Composition Explorer Satellite - ACE in the periods in which recorded solar events of type F (Fast Forward) to identify the relation between the decrease of cosmic rays measured by the muon Detector Multidirectional - MDM using the data from vertical channel.