



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

ESTUDO DO DECRÉSCIMO NA INTENSIDADE DE RAIOS CÓSMICOS CAUSADO POR DIFERENTES ESTRUTURAS INTERPLANETÁRIAS DO VENTO SOLAR

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

PROCESSO: CNPq N° 111680/2008-5

**Lucas Ramos Vieira – Bolsista PIBIC/INPE – CNPq/MCT
Laboratório de Clima Espacial Previsão de Tempestades Magnéticas
LCEPTM/CRS/INPE – MCT
Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais
CRS/INPE – MCT
E-mail: lucasramos@lacesm.ufsm.br**

**Dr. Ezequiel Echer - Orientador
Divisão de Geofísica Espacial
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 DO DECRÉSCIMO NA INTENSIDADE DE RAIOS CÓSMICOS CAUSADO POR DIFERENTES ESTRUTURAS INTERPLANETÁRIAS DO VENTO SOLAR.

Processo: CNPq N° 111680/2008-5

Relatório elaborado por:

Lucas Ramos Vieira - Bolsista PIBIC/INPE – CNPq/MCT
E-mail: lucasramos@lacesm.ufsm.br

Dr. Ezequiel Echer – Orientador
Divisão de Geofísica Espacial – DGE/CEA/INPE – MCT
E-mail: eecher@dae.inpe.br

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



Dados de Identificação

Título do projeto:

ESTUDO DO DECRÉSCIMO NA INTENSIDADE DE RAIOS CÓSMICOS CAUSADO POR DIFERENTES ESTRUTURAS INTERPLANETÁRIAS DO VENTO SOLAR.

Processo: CNPq N° 111680/2008-5

Bolsista:

Lucas Ramos Vieira

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 – DAE/CEA/INPE – MCT

Co-orientador:

Dr. Nelson Jorge Schuch

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

Colaboradores/Acadêmicos:

Marlos Rockenbach da Silva

Doutorando do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE/MCT

Carlos Roberto Braga

Mestrando do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE/MCT

Marcos Vinicius Silveira

Mestrando do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE/MCT

Níkolos Kemerich

Acadêmico do curso de Física – Bacharelado da UFSM

José Fernando Thuorst

Acadêmico do curso de Física – Bacharelado da UFSM

Aline Seeger

Acadêmico do curso de Física – Bacharelado da UFSM



Local de Trabalho/Execução do projeto:

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

Observatório Espacial do Sul – OES/CRS/INPE – MCT, São Martinho da Serra, RS.

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



Estudante
Lucas Ramos Vieira

Dados gerais

Indicadores de produção C, T & A

Dados gerais

Identificação do estudante

Nome: Lucas Ramos Vieira

Nível de treinamento: Graduação

Currículo Lattes: 12/06/2009 15:06

E-mail: lucasramos@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

[Desenvolvimento de 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 2006 a 2009

Tipo de produção	2006	2007	2008	2009
Produção bibliográfica	0	0	5	1
Produção técnica	0	2	4	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



Identificação

Recursos Humanos

Linhas de Pesquisa

Indicadores do Grupo

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), Australia (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.



Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRS/INPE – MCT
Relatório Final de Atividades

Recursos humanos	
Pesquisadores	Total: 42
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)	2



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.



Linha de pesquisa

Desenvolvimento de CubeSats - NANOSATC-BR

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

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

Pesquisadores:

[Ademar Michels](#)
[Alicia Luisa Clúa de Gonzalez](#)
[Alisson Dal Lago](#)
[Antonio Claret Palerosi](#)
[Clezio Marcos De Nardin](#)
[Ezequiel Echer](#)
[Fabiano Luis de Sousa](#)
[Fernando Luís Guarneri](#)
[Ijar Milagre da Fonseca](#)
[Jean Pierre Raulin](#)
[Jose Humberto Andrade Sobral](#)
[Nalin Babulal Trivedi](#)
[Natanael Rodrigues Gomes](#)
[Nelson Jorge Schuch](#)
[Nivaor Rodolfo Rigozo](#)
[Odim Mendes Junior](#)
[Otavio Santos Cupertino Durão](#)
[Pawel Rozenfeld](#)
[Petrônio Noronha de Souza](#)
[Severino Luiz Guimaraes Dutra](#)
[Walter Demetrio Gonzalez Alarcon](#)

Estudantes:

[Bernardo Henz](#)
[Cassio Espindola Antunes](#)
[Celito Muck Felipetto](#)
[Eduardo Escobar Bürger](#)
[Fernando de Souza Savian](#)
[Guilherme Grams](#)
[Guilherme Simon da Rosa](#)
[Igor Freitas Fagundes](#)
[Jose Fernando Thuorst](#)
[Josemar de Siqueira](#)
[Lucas Antunes Tambara](#)
[Lucas Lopes Costa](#)
[Lucas Ramos Vieira](#)
[Luis Fernando Nicolini](#)
[Nikolas Kemmerich](#)
[Rafael Lopes Costa](#)
[Ricardo Cartier dos Santos](#)
[Rubens Zolar Gehlen Bohrer](#)
[Tardelli Ronan Coelho Stekel](#)
[Tiago Jaskulski](#)
[Willian Rigon Silva](#)

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 em Engenharias/Tecnologias: eletrônica, comunicações, mecânica, lançamento de pequenos satélites científico universitário - iniciação científica: CubeSat (100g-1Kg, 10x10x10cm), Nanosatélite (1Kg-10Kg); Carga útil: magnetômetro e detector de partículas; Desenvolvimentos: estrutura mecânica, computador-bordo, programas,



Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRS/INPE – MCT
Relatório Final de Atividades

estação terrena, testes/integração, sub-sistemas: potencia, propulsão, telemetria, controle: atitude, térmico, Vice-Líder: Otávio Santos Cupertino Durão



AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Neuza e Mario, e minha namorada, Carolina, pelo carinho, apoio e incentivo aos estudos.

Sou grato ao meu orientador, Dr. Ezequiel Echer, pelos valiosos ensinamentos durante o projeto e por atender, prontamente, a todas as minhas dúvidas.

Agradeço ao meu co-orientador Dr. Nelson Jorge Schuch pela minha inserção no Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais e por compartilhar sua experiência científica através de discussões e conselhos.

Aos amigos mestrando Carlos Roberto Braga e Marcos Vinicius Dias Silveira e doutorando Marlos Rockenbach da Silva por suas sugestões e correções durante o período de vigência do projeto.

Sou grato ao colega do laboratório de Clima Espacial Nícolas Kemmerich pelos conselhos e ajuda durante o projeto.

E, finalmente, 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 pelo Bolsista Lucas Ramos Vieira, durante o período de agosto de 2008 a julho de 2009, no Projeto **“ESTUDO DO DECRÉSCIMO NA INTENSIDADE DE RAIOS CÓSMICOS CAUSADO POR DIFERENTES ESTRUTURAS INTERPLANETÁRIAS DO VENTO SOLAR”** 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.

Estruturas magnéticas interplanetárias do vento solar, tais como os remanescentes de ejeções de massa coronal (EMCs) e regiões de interação co-rotante (RIC), frequentemente propagam-se mais rapidamente do que a velocidade magnetossônica gerando à sua frente ondas de choques interplanetários. Como a extensão espacial de um choque é maior do que sua estrutura correspondente é comum que espaçonaves próximas à órbita da Terra observem somente os efeitos causados pelo choque. Um significativo número de choques pode ser geofetivo, ou seja, resultar em tempestades geomagnéticas moderadas ou intensas. Outro efeito observado é o decréscimo de vários dias na intensidade de raios cósmicos (RC), registrados em detectores de RC tanto na superfície terrestre quanto no espaço. No projeto, apenas estruturas de choques interplanetários são analisadas, investigando as correlações entre diversos parâmetros de choque do tipo frontal (ou dianteiro) e as magnitudes dos respectivos decréscimos de raios cósmicos para diferentes intervalos de energia, observados em 2001. Por intermédio de rotinas de programação desenvolvidas no projeto, são analisados os seguintes tipos de dados: valores de plasma e campo magnético do meio interplanetário próximo a Terra; contagem de partículas (raios cósmicos) com energia >60 MeV presentes no meio interplanetário; contagem de nêutrons oriundos de 4 regiões da Terra com diferentes rigidez de corte; contagem de muons observados em 2001 pelo protótipo do detector multidirecional de muons, instalado no



Observatório Espacial do Sul (OES/CRS/INPE – MCT), (29.4°S, 53.8°W, 480 m a.n.m.), em São Martinho da Serra, RS. O ano de 2001 corresponde ao máximo do ciclo solar 23. As principais conclusões são: choques frontais lentos não causam perceptíveis decréscimos na intensidade de raios cósmicos; a densidade de partículas na região do choque, por ser muito baixa, não é responsável pela modulação do fluxo de RC's; os coeficientes de correlação entre parâmetros de variação de velocidade (na região do choque) e a magnitude de decréscimos de RC's são mais próximos da unidade quanto menor é a rigidez de corte.



SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 – ATIVIDADE SOLAR	18
1.1 – AS MANCHAS SOLARES.....	19
1.2 – CICLO DE 11 ANOS E EVENTOS SOLARES	22
1.3 – ESTRUTURAS MAGNÉTICAS INTERPLANETÁRIAS.....	24
1.4 – TEMPESTADES GEOMAGNÉTICAS	25
CAPÍTULO 2 – CHOQUES INTERPLANETÁRIOS	27
CAPÍTULO 3 – DECRÉSCIMOS DE RAIOS CÓSMICOS.....	31
CAPÍTULO 4 – DADOS E METODOLOGIA.....	35
4.1 – SATÉLITE ACE	35
4.2 – CÁLCULO DOS PARAMETROS DE CHOQUES	38
4.3 – DETECTORES DE RAIOS CÓSMICOS.....	40
CAPÍTULO 5 - RESULTADOS	43
CAPÍTULO 6 – CONCLUSÕES	49
REFERÊNCIAS	51
ANEXO A – ROTINAS.....	54
A.1 – CÁLCULO DOS PARAMETROS DE CHOQUE	54
A.2 – CORREÇÃO DO EFEITO DE PRESSÃO.....	55
A.3 – ANÁLISE DE ÉPOCA SUPERPOSTA – NEUTRONS E MUONS	56
A.4 - ANÁLISE DE ÉPOCA SUPERPOSTA – IMP-8.....	57
ANEXO B – RESUMOS E PÔSTERES.....	58
ANEXO C - CERTIFICADOS	69



ÍNDICE DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1.1 - Representação do GSM, sistema de coordenadas utilizado para definir a orientação de grandezas física no meio interplanetário como, por exemplo, o campo magnético interplanetário. FONTE: Dal Lago, 2003	18
Figura 1.2 – Grupo de manchas solares registrados por Galileu no século XVII.	19
Figura 1.3 – a) Dínamo Solar. Campo inicial poloidal evoluindo para um campo toroidal devido à rotação diferencial solar. b) Polaridade das manchas solares nos diferentes hemisférios Fonte: Hoyt e Schatten, 1997.	21
Figura 1.4 – Foto ampliada de uma mancha solar mostrando a umbra (região central escura) rodeada pela penumbra.	21
Figura 1.5 – Gráfico do número médio mensal de manchas solares nos últimos 100 anos, cujo ciclo de 11 anos é evidente.	22
Figura 1.6 – a) A região branca mais brilhante nesta imagem foi causada por uma explosão solar (<i>flare</i>). b) Imagem de uma CME fotografada por um coronógrafo. Ambas as imagens são do satélite SOHO obtidas no endereço eletrônico http://sohowww.nascom.nasa.gov/gallery/	23
Figura 1.7 - Acoplamento Sol – meio interplanetário – magnetosfera. FONTE: Gonzales e Tsurutani, 1999.....	26
Figura 2.1 - Perfis de parâmetros de plasma do vento solar, T_p , N_p , $ B $ e V_p através de choques frontais e reversos dos tipos lentos e rápidos, no sistema de referência da espaçonave.	28
Figura 2.2 - Os perfis de intensidade de raios cósmicos observados em um monitor de nêutron enquanto a Terra é atingida pelo choque e sua correspondente ICME ou “ <i>Ejecta</i> ” (caminho A) e enquanto a Terra é atingida apenas pelo choque (caminho B).	29
Figura 2.3 - Composição entre a observação de uma nuvem magnética observada em 18-20 de outubro de 1995 próximo da Terra e uma ilustração do cenário solar-interplanetário relacionado. FONTE: Dal Lago, 2003.	30
Figura 3.1 - Variação mensal do número médio de manchas solares para o período entre 1960 e 2006. As polaridades do campo magnético global solar, “ $A>0$ ” e “ $A<0$ ”, são indicadas.	31
Figura 3.2 – GCRs sendo espalhados devido sua interação com uma estrutura magnética interplanetária atingindo a Terra (adaptado de Augusto, 2006).....	32
Figura 3.3 – Clássico decréscimo de Forbush registrado por três monitores de nêutrons (DeepRiver, Mt. Wellington, Kerguelen) em meados de julho de 1982. FONTE: Cane, 2000.....	33
Figura 3.4 – Exemplo do efeito causado na contagem percentual de 3 detectores de RC devido a rotação da Terra. Este efeito pode “mascarar” um decréscimo causado por alguma estrutura interplanetária.....	34
Figura 4.1 – Esquema mostrando a órbita do satélite ACE sobre o ponto L1. ...	35
Figura 4.2 – Exemplo de um arquivo de dados proveniente do site da missão do satélite ACE.	37
Figura 4.3 – Exemplo de um choque frontal rápido observado em 11 de outubro de 2001. Os painéis, de cima para baixo, correspondem ao módulo da velocidade, a densidade e a temperatura dos prótons e a intensidade do campo	



magnético interplanetário. A linha contínua indica o choque (C) e as linhas tracejadas delimitam as janelas temporais pré-choque (U) e pós-choque (D). .38

Figura 4.4 – Clássico decréscimo de Forbush (dF). Os painéis mostram as variações percentuais na contagem de raios cósmicos nos 6 detectores mencionados no texto ocorrido no período de 9 a 19 de outubro de 2001.....41

Figura 4.5 – No painel superior, exemplo de um aumento nos dados de contagem de RC oriundos do satélite IMP-8, enquanto, conforme visto nos painéis abaixo, ocorre decréscimos nos dados das outras 5 estações de superfície.....42

Figura 5.1 – Variações percentuais medidos pelo detector G do instrumento MED à bordo do satélite IMP-8 versus variações na velocidade de prótons através de choques frontais rápidos.....44

Figura 5.2 – Exemplo de decréscimo de raios cósmicos versus taxa de compressão de densidade rN. Esta figura não mostra qualquer associação entre estes parâmetros, contrastando com o que é apresentado na figura 5.1.45

Figura 5.3 – Análise de época superposta para os dados oriundos dos 6 detectores de raios cósmicos analisados. O tempo 0 representa o exato momento dos choques interplanetários registrados pelo satélite ACE.47

CAPÍTULO 1 – ATIVIDADE SOLAR

No Relatório escolheu-se trabalhar com o sistemas de coordenadas *Geocentric Solar Magnetosphere* (GSM)

No GSM, a origem é fixada na Terra, a direção positiva do eixo “x” aponta para o Sol e a direção “z” é paralela ao eixo de dipolo do campo geomagnético (positivo ao norte magnético), conforme é mostrado na figura 4.3.

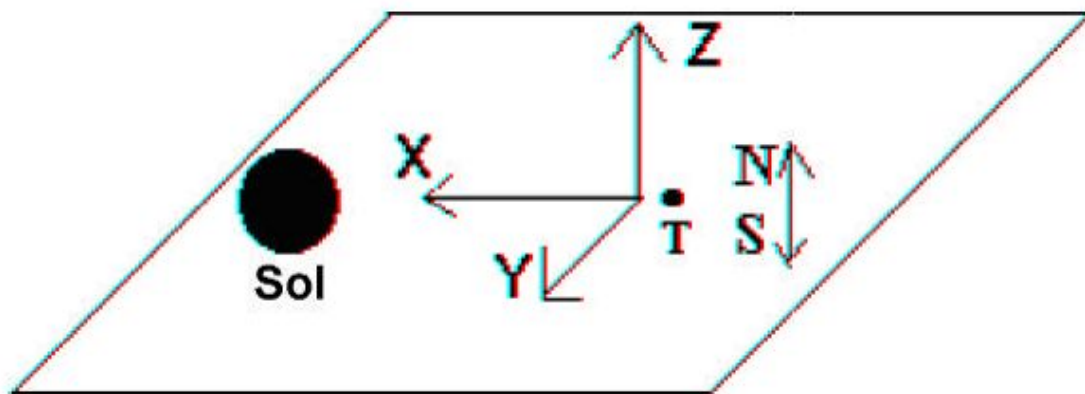


Figura 1.1 - Representação do GSM, sistema de coordenadas utilizado para definir a orientação de grandezas física no meio interplanetário como, por exemplo, o campo magnético interplanetário. FONTE: Dal Lago, 2003

1.1 – AS MANCHAS SOLARES

Embora as manchas solares sejam conhecidas desde vários séculos antes de Cristo (Kilvelson e Russel, 1995), existem poucos registros históricos de suas observações a olho nu, pois apenas manchas extremamente grandes podem ser vistas sem o auxílio de um telescópio e a ocorrência de manchas com tal magnitude é raríssima. Os povos do ocidente na Idade Média interpretaram (erroneamente) as manchas como a passagem de Mercúrio ou Vênus sobre o disco solar (Van Helden, 1996). Por isso, as primeiras observações não obtiveram grandes repercussões, visto que a passagem de tais planetas diante do Sol não implicava em nenhum acontecimento extraordinário.

Concluir que as manchas ocorriam de fato na superfície solar só seria possível com o auxílio de algum instrumento ótico. Foi então que, em julho de 1610, o astrônomo italiano Galileu Galilei apontou sua luneta em direção ao Sol e viu as referidas manchas em sua superfície. Um grupo de manchas solares observados pelo astrônomo italiano é mostrado na figura 1.1.

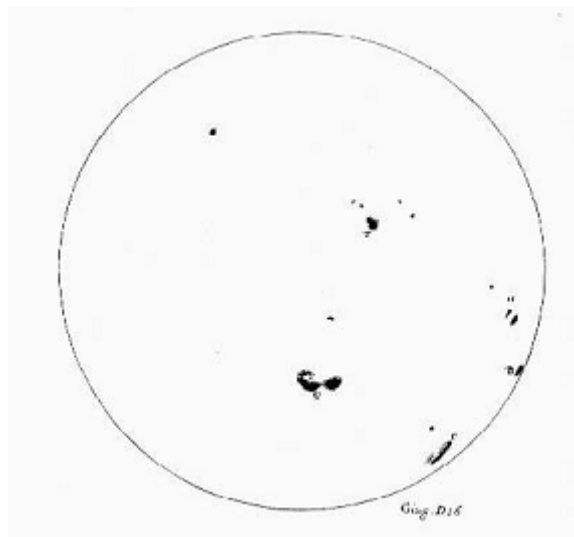


Figura 1.2 – Grupo de manchas solares registrados por Galileu no século XVII.

As principais conclusões obtidas por Galileu foram:



- as manchas estão contíguas ao Sol ou separadas dele por uma distância imperceptível;
- não são estrelas nem nada permanente, mas alteram-se continuamente, sendo umas mais duradouras e outras menos;
- sua figura é bastante irregular; elas unem-se e se separam ao acaso (se observadas isoladamente);
- apresentam um único movimento universal e uniforme em linhas paralelas (isto é, vistas em conjunto, percebe-se um movimento regular e contínuo);
- As manchas se concentram em uma faixa entre 28° ou 29° ao norte e ao sul do equador solar;
- As manchas solares devem ser mais claras que as manchas lunares, já que durante o dia as manchas lunares nem são percebidas na superfície da lua, pois são ofuscadas pela luz solar. Fato contrário ao das manchas solares, as quais, segundo o sábio italiano, apenas pareciam mais escuras que o Sol, e isto seria devido ao contraste com o corpo intensamente luminoso do astro;
- o Sol é perfeitamente esférico girando sobre si mesmo em aproximadamente um mês lunar (Moschetti, 2006).

Posteriormente realizou-se a importante descoberta de que o Sol apresenta rotação diferencial, de modo que o período de rotação da região equatorial é cerca de 26 dias, enquanto que, conforme se afasta do equador, o período de rotação gradualmente aumenta até alcançar um valor de até 35 dias nas regiões polares.

A rotação diferencial intensifica o campo magnético na superfície solar pelo acúmulo de linhas de campo fazendo com que fluxo magnético comece a emergir para fora da fotosfera*. Ocorre então a expulsão de matéria da fotosfera (a camada visível do Sol) na direção das linhas de campo magnético, mecanismo esse conhecido como dínamo solar, conforme é mostrado na figura 1.2 a. As regiões em que os laços magnéticos saem e retornam à fotosfera possuem polaridades magnéticas opostas e nelas surgem as manchas solares, como é mostrado na figura 1.3 b (Hoyt e Schatten, 1997).

* Fotosfera é a camada visível do Sol. As camadas que a envolve são a cromosfera e a coroa solar.

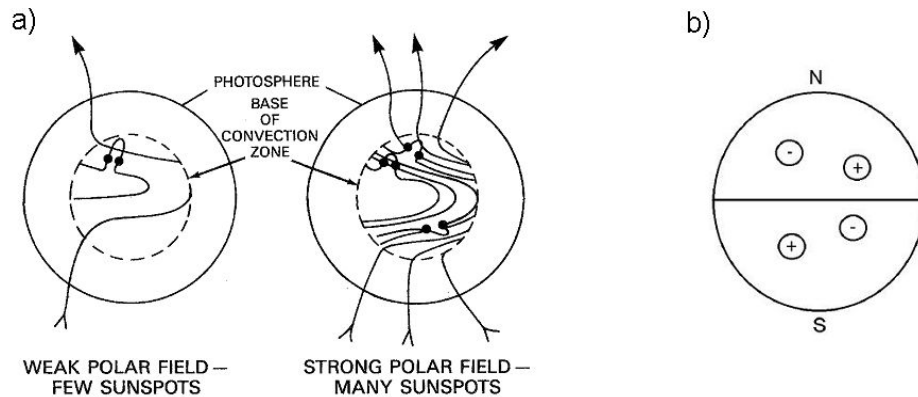


Figura 1.3 – a) Dínamo Solar. Campo inicial poloidal evoluindo para um campo toroidal devido à rotação diferencial solar. b) Polaridade das manchas solares nos diferentes hemisférios Fonte: Hoyt e Schatten, 1997.

Atualmente sabe-se que as manchas solares são regiões em torno de 2000 K mais frias do que a fotosfera solar circunvizinha. Elas emitem menos radiação do que a fotosfera em geral porque possuem intensos campos magnéticos (cerca de 1000 vezes mais intensos do que a superfície clara) que parcialmente bloqueiam a radiação transmitida para cima pelas células de convecção na região sub-fotosférica (Kilvelson e Russel, 1995). Ampliando-se a imagem de uma mancha, nota-se uma região central escura, denominada umbra, rodeada por uma zona com filamentos radiais claros e escuros, a penumbra, conforme a imagem da figura 1.4.

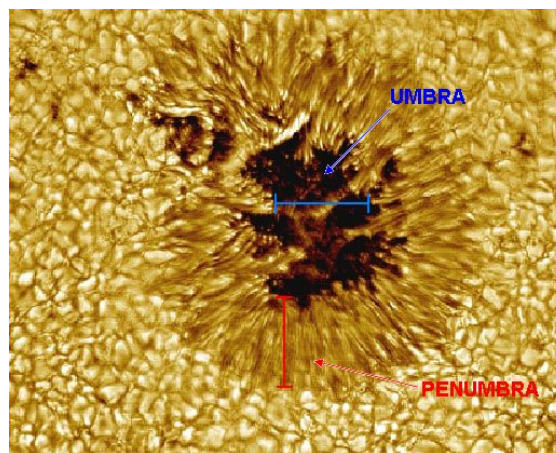


Figura 1.4 – Foto ampliada de uma mancha solar mostrando a umbra (região central escura) rodeada pela penumbra.

* FONTE: <http://www.geocities.com/CapeCanaveral/Hall/1018/observacoes2.html>

1.2 – CICLO DE 11 ANOS E EVENTOS SOLARES

Passados 17 anos de cuidadosas observações do Sol, o alemão farmacêutico e astrônomo amador Samuel Heinrich Schwabe descobriu nos anos 1840 o ciclo de 11 anos no número de manchas solares, como é mostrado no exemplo na figura 1.5.

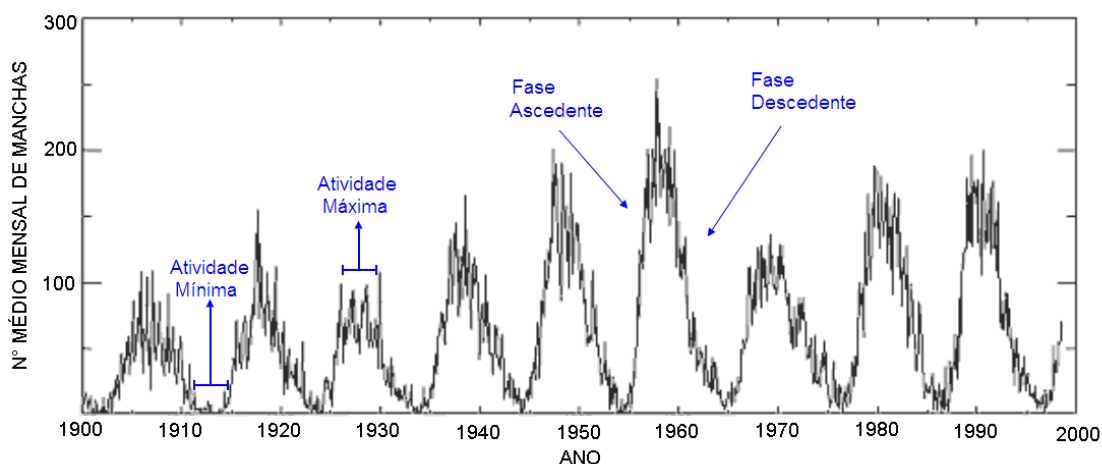


Figura 1.5 – Gráfico do número médio mensal de manchas solares nos últimos 100 anos, cujo ciclo de 11 anos é evidente*.

Não existe ainda uma compreensão física completa sobre a origem do ciclo solar. Modernas teorias atribuem ao modelo de dínamo solar como o mecanismo responsável pelas características periódicas das manchas, embora esse modelo não explique, por exemplo, a variação da amplitude nas épocas de máximo e mínimo.

Na figura 1.5 nota-se uma clara assimetria nos ciclos solares. A fase ascendente, que estende-se do mínimo ao máximo, é mais curta - média de 4 anos - do que a fase descendente, do máximo para o mínimo – 5 a 6 anos.

O número de manchas solares é o índice mais antigo da atividade solar, servindo como uma medida da atividade magnética geral do Sol (Echer, 2003b). Deste modo, o período de atividade solar máxima ocorre concomitantemente ao período com maior número de manchas solares.

No período de atividade solar máxima é mais freqüente a ocorrência de diversos eventos solares, tais como explosões solares (*flares*), ejeções de

* FONTE: <http://astro.if.ufrgs.br/esol/explorsol.htm>

massa da coroa solar (*Coronal Mass Ejections* – CME) e eventos de prótons-solares. A seguir é apresentada uma breve descrição de cada evento:

- **Flares:** explosões de partículas energéticas e de raios X intensos resultantes de variações abruptas do campo magnético em escala relativamente pequena (comparadas à superfície solar). A figura 1.6 a, mostra um *flare* ocorrido no dia 29 de outubro de 2003;

- **CME:** bolhas magnéticas gigantes, com milhões de quilômetros de extensão ao ser lançada*, as quais arremessam violentamente para o meio interplanetário nuvens de plasma de milhões de toneladas, com velocidades entre 400 e 1000 km/s. A figura 1.6 mostra uma CME fotografada por um coronógrafo no dia 27 de fevereiro de 2000;

- **Eventos de prótons-solares:** liberação de grande quantidade de prótons de alta energia (da ordem de milhões de elétrons-volts) que ocasionalmente acompanham os *flares* e as CME. Prótons suficientemente energéticos, com energias acima de um bilhão de elétrons-volts, interagem com os núcleos de átomos de nitrogênio e de oxigênio da atmosfera, gerando nêutrons e criando anomalias com abundância de nitratos. Uma “chuva” de nêutrons atinge a superfície terrestre produzindo o que é conhecido como evento ao nível do solo (*Ground Level Enhancement - GLE*) (Odenwald, 2008).

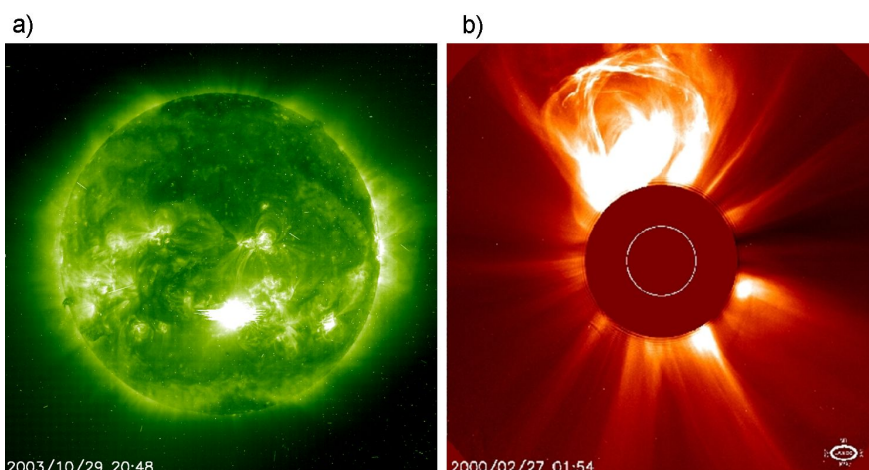


Figura 1.6 – a) A região branca mais brilhante nesta imagem foi causada por uma explosão solar (*flare*). b) Imagem de uma CME fotografada por um coronógrafo. Ambas as imagens são do satélite SOHO obtidas no endereço eletrônico <http://sohowww.nascom.nasa.gov/gallery/>.

* Conforme propagam-se no meio interplanetário, as CME “inflam” de modo que ao atingir a Terra já possuem dezenas de milhões de quilômetros de extensão.



1.3 – ESTRUTURAS MAGNÉTICAS INTERPLANETÁRIAS

As mais comuns estruturas magnéticas interplanetárias presentes no vento solar são CME e as regiões de interação co-rotantes (CIR). As CIR originam-se basicamente da interação dos feixes de plasma rápido e lento oriundos do Sol. Os feixes de plasma rápidos originam-se nos buracos coronais estendendo-se a baixas latitudes, pois nestas regiões o campo magnético solar possui uma configuração de linhas de campo abertas e não oferece resistência ao fluxo de partículas, enquanto que os feixes de plasma lentos originam-se nas regiões solares de mais baixa latitude, onde as linhas do campo magnético solar são fechadas, oferecendo resistência ao fluxo de partículas e, assim, diminuindo sua velocidade.

Uma região de interação desenvolve-se quando uma superfície de interface de fluxo separa o vento lento a frente do vento rápido. Com o aumento da distância heliocêntrica radial, o vento rápido colide com o vento lento criando uma região de compressão e, conseqüentemente, com o vento solar rápido, desenvolve-se uma região de rarefação na parte de trás da estrutura. A compressão eleva a velocidade da superfície de interface para um valor intermediário, entre as velocidades dos feixes lento e rápido. Se a configuração de interação de feixes de vento solar for estável sobre várias rotações solares, então a região é chamada região de interação co-rotante.

Tanto CME quanto CIR podem propagarem-se rápidas o suficiente para gerar ondas de choque interplanetário à sua frente. Como a onda de choque possui maior extensão espacial do que sua correspondente estrutura, é comum a Terra ser atingida apenas pela onda de choque. Então, é usual classificar as ondas de choque interplanetário como um tipo de estrutura interplanetária. Neste trabalho, focou-se na correlação entre decréscimos de raios cósmicos e parâmetros de choques, por isso mais informações sobre os choques são apresentados no capítulo seguinte.

Outra estrutura interplanetária de interesse são as chamadas “nuvens magnéticas”. Uma nuvem magnética é uma ICME com particulares características. A região compreendida por esta estrutura possui pouca flutuação e intenso módulo de campo magnético (geralmente entre 10 – 25 nT)



com baixa temperatura de prótons e beta de plasma (tipicamente em torno de 0.1). Além disso, o campo magnético tem rotação do norte para o sul (ou vice-versa).

É possível que duas ou mais estruturas interplanetárias interajam uma com a outra, gerando uma estrutura interplanetária complexa com características distintas das estruturas que a deram origem. A maioria dos registros de estruturas complexas envolve um choque frontal rápido seguido por uma nuvem magnética ou uma CIR acompanhada de uma nuvem magnética (Gonzalez, 1999).

1.4 – TEMPESTADES GEOMAGNÉTICAS

A ocorrência de manifestações da atividade solar propagando-se no meio interplanetário e interagindo com a magnetosfera terrestre provoca fenômenos já conhecidos há séculos, como as auroras e perturbações do campo geomagnético. A interação do vento solar com a magnetosfera terrestre gera uma grande cadeia de interações e fenômenos físicos fascinantes. Destes efeitos, os mais intensos e de grande interesse tanto prático como teórico são as chamadas tempestades magnéticas, perturbações do campo magnético terrestre resultando na depressão do mesmo (Echer, 2005).

A causa primária de tempestades geomagnéticas está associada à estruturas interplanetárias com a componente vertical do campo magnético (B_z) dirigido para o sul (no sistema de coordenadas GSM), possuindo altos valores, $B_z \approx -10 \text{ nT}$ e duração maior que 3 horas. Nessas condições o campo magnético interplanetário interconecta-se com o campo magnético da Terra permitindo o transporte de energia para dentro da magnetosfera terrestre por meio do mecanismo de acoplamento Sol – meio interplanetário – magnetosfera. Um esquema deste acoplamento é ilustrado na figura 1.6, onde está esquematizado o processo de reconexão e a injeção de energia pelo lado noturno da magnetosfera, que leva à formação de um aumento na população de partículas da corrente de anel e, conseqüentemente, a uma tempestade geomagnética (Gonzales e Tsurutani, 1999). Estruturas interplanetárias são

ditas “geofetivas” quando possuem os critérios antes mencionados para causar tempestades geomagnéticas.

ACOPLAMENTO SOL-MEIO INTERPLANETÁRIO-MAGNETOSFERA

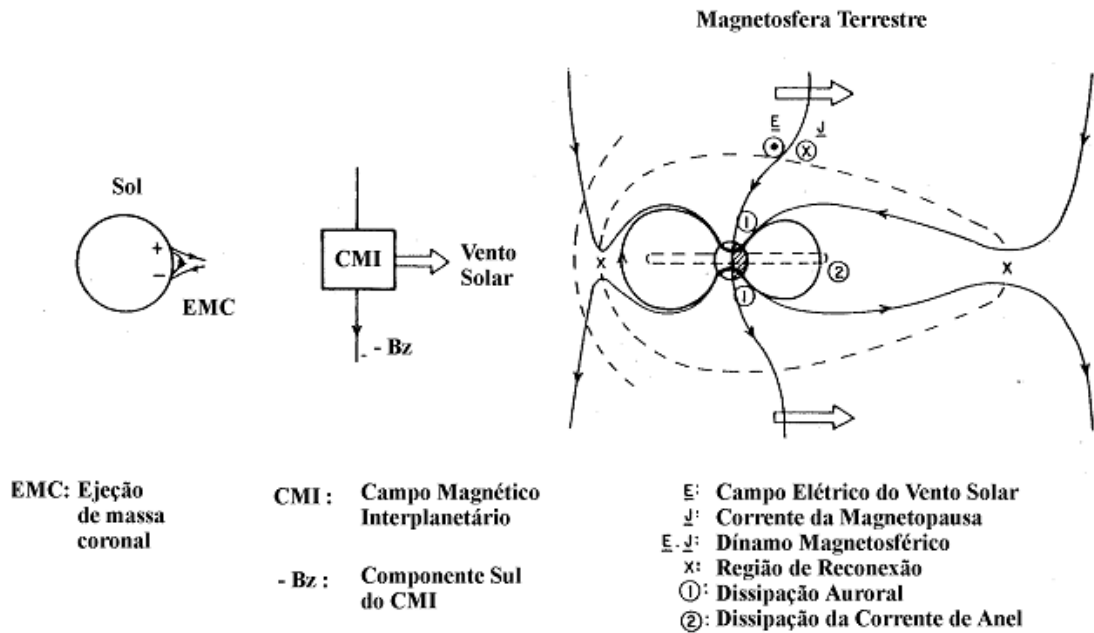


Figura 1.7 - Acoplamento Sol – meio interplanetário – magnetosfera. FONTE: Gonzales e Tsurutani, 1999.



CAPÍTULO 2 – CHOQUES INTERPLANETÁRIOS

Estruturas do vento solar ejetadas pelo Sol, tais como remanescentes de CME's* e regiões de interação co-rotantes (CIR), frequentemente propagam-se com velocidade excedente a velocidade do meio, ou seja, a velocidade magnetossônica, e, assim, produzem choques interplanetários à sua frente (adaptado de Sheley et al, 1985 e Echer, 2005).

As assinaturas do choque nos dados do meio interplanetário são vistos como abruptos aumentos em parâmetros de plasma e campo magnético do vento solar. Um choque movendo-se para longe do Sol relativo ao vento solar é chamado de choque frontal (*forward shock*). O choque reverso (*reverse shock*) é aquele que se move em direção ao Sol relativamente ao vento solar. Porém, devido ao fato do vento solar está movendo-se para longe do Sol, ambos os tipos de choques estão movendo-se para longe do Sol (Burlaga, 1995).

Um choque (reverso ou frontal) é dito rápido quando sua velocidade relativa ao vento solar é maior do que a velocidade de onda magnetossônica rápida. Por outro lado, um choque é lento quando sua velocidade relativa ao vento solar é maior do que a velocidade de onda magnetossônica lenta (Echer, 2003b).

Os perfis típicos ocasionados por choques reversos e frontais nos dados de parâmetros de plasma, tais como temperatura (T_p), densidade (N_p), intensidade do campo magnético interplanetário ($|B|$) e velocidade de prótons do vento solar (V_p) são mostrados na figura 2.1. Como se percebe nessa figura, choques frontais lentos apresentam saltos positivos (ou seja, os valores médios dos parâmetros crescem através dos choques) em V_p , T_p e N_p , mas possuem saltos negativos em $|B|$. A maioria dos choques encontrados no meio interplanetário é do tipo frontal rápido, os quais mostram saltos positivos em todos os parâmetros de plasma. Choques reversos apresentam saltos positivos em V_p porque o vento solar está arrastando o choque. Tanto para choques reversos lentos quanto para choques do tipo rápido N_p e T_p têm saltos

* Alguns autores restringem o termo CME apenas para estruturas que são vistas saindo do Sol, preferindo utilizar ICMEs (*Interplanetary Coronal Mass Ejections*) para estruturas magnéticas que são encontradas propagando-se no meio interplanetário.

negativos. Para choques reversos lentos, $|B|$ apresenta saltos positivos, anticorrelacionados ao salto na densidade de prótons (Echer, 2006).

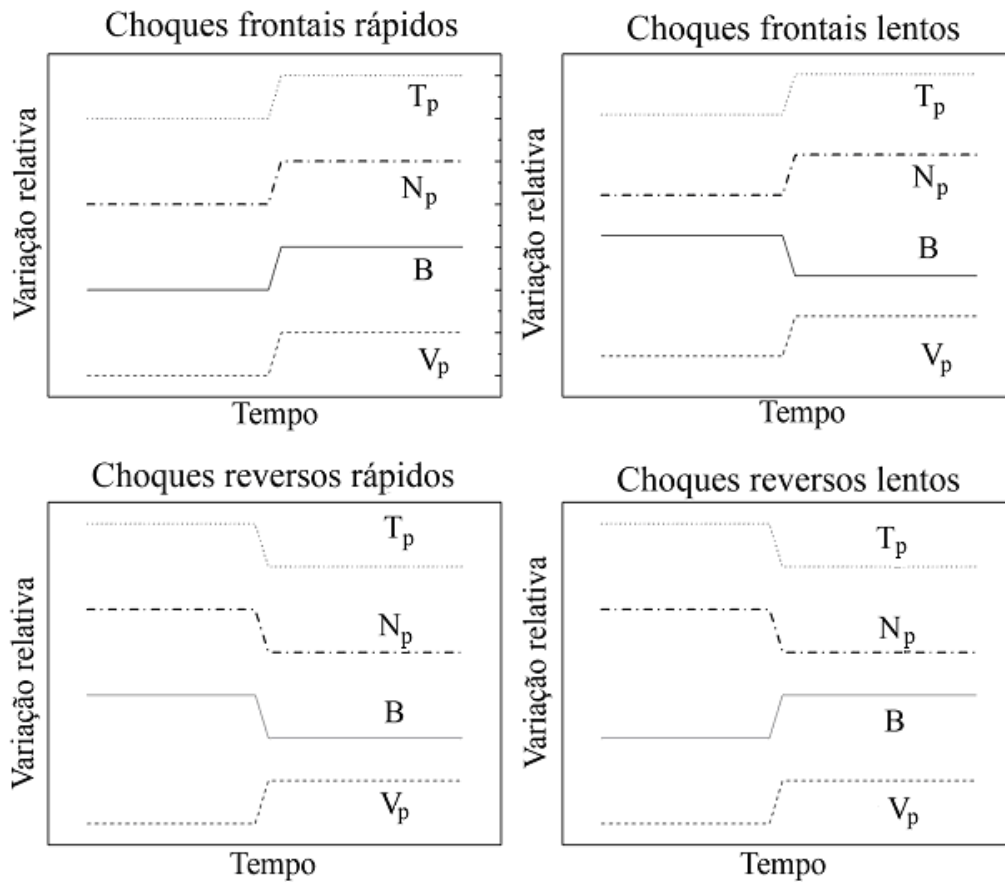


Figura 2.1 - Perfis de parâmetros de plasma do vento solar, T_p , N_p , $|B|$ e V_p através de choques frontais e reversos dos tipos lentos e rápidos, no sistema de referência da espaçonave.

É usual que a Terra seja atingida apenas pelo choque interplanetário, pois o choque possui uma extensão espacial maior do que a estrutura interplanetária que lhe deu origem*. Se o choque e sua correspondente estrutura (uma ICME, por exemplo) passam pela Terra, o perfil da intensidade de raios cósmicos observado num monitor de neutros é semelhante aquele do caminho A da figura 2.2. O caminho B representa a Terra sendo atingida apenas pelo choque e o respectivo perfil da intensidade de RC's. As posições T_1 e T_2 representam o início e o fim da ICME (denotado por "ejecta" na figura). "E_J" marca o início da ICME no perfil de RC's do caminho A. Em ambos os perfis, o momento que é medido o choque é designado por "S".

* Seria como, por exemplo, uma ICME que atinge a Terra de "raspão"

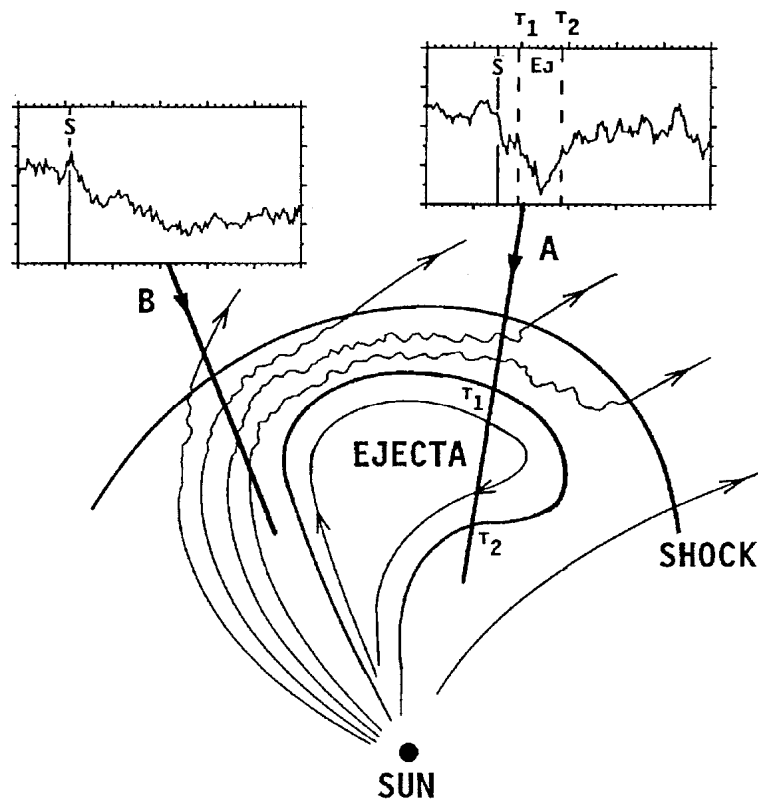


Figura 2.2 - Os perfis de intensidade de raios cósmicos observados em um monitor de nêutron enquanto a Terra é atingida pelo choque e sua correspondente ICME ou “Ejecta” (caminho A) e enquanto a Terra é atingida apenas pelo choque (caminho B).

A figura 2.3 apresenta uma comparação entre uma observação de uma nuvem magnética em 18-20 de outubro de 1995 e uma ilustração da estrutura solar-interplanetária envolvida. Neste caso a estrutura é uma nuvem magnética oriunda de uma CME. Essa nuvem magnética possuía velocidade suficientemente grande para produzir um choque a sua frente. Tal choque está representado na figura 2.3 pela seta superior, tanto nos gráficos quanto na ilustração. A seta logo abaixo mostra a região de compressão ou bainha, formada logo após o choque. Devido a forte flutuação nos valores do campo, supõe-se que haja forte turbulência nessa região. A seta seguinte indica a nuvem magnética, que apresenta um campo magnética com poucas flutuações e mais intenso que as demais regiões. A rotação da componente z do campo magnético (B_z) é de sul para norte e é mostrada pela quarta seta. Devido à grande intensidade de B_z , houve uma queda no índice Dst graças a

* FONTE: Cane, 2000.

intensificação da corrente de anel (indicado pela última seta na parte inferior da figura), gerando-se assim uma tempestade geomagnética intensa.

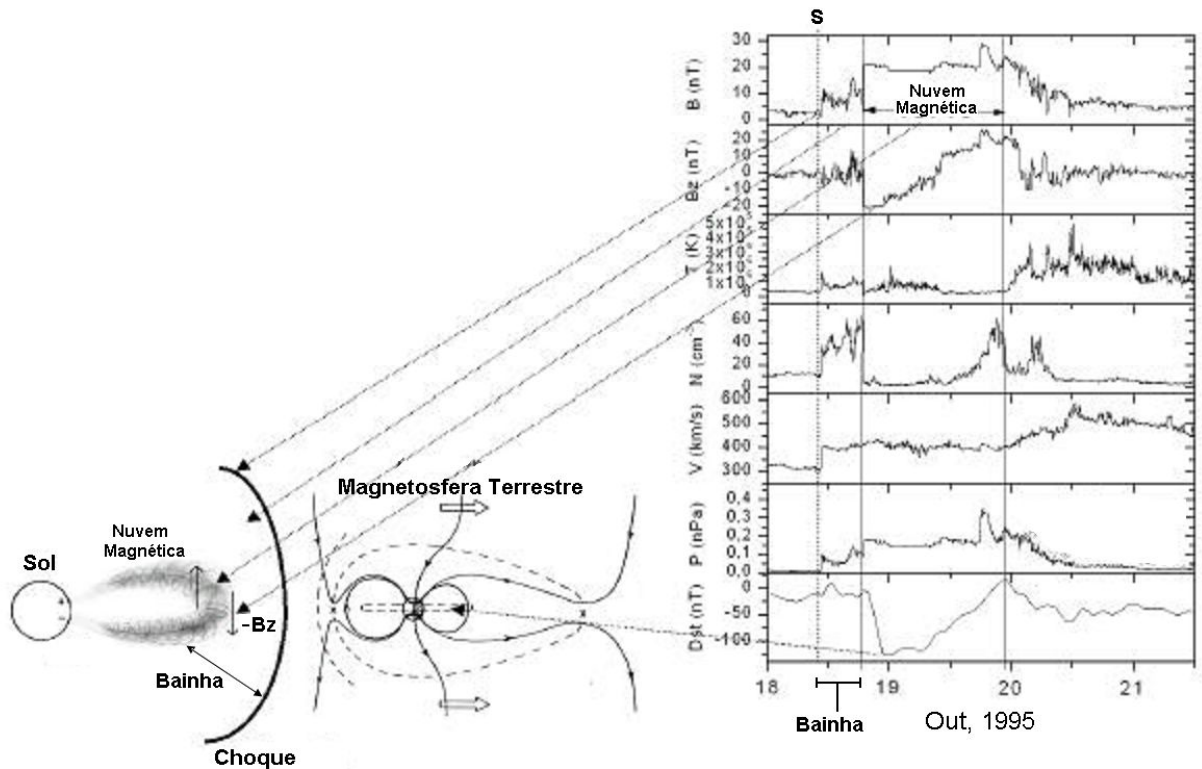


Figura 2.3 - Composição entre a observação de uma nuvem magnética observada em 18-20 de outubro de 1995 próximo da Terra e uma ilustração do cenário solar-interplanetário relacionado. FONTE: Dal Lago, 2003.

CAPÍTULO 3 – DECRÉSCIMOS DE RAIOS CÓSMICOS

A associação entre a intensidade de raios cósmicos (RC) e a atividade solar é conhecida desde a primeira metade do século 20. Uma relação bastante conhecida envolve o ciclo de 11 anos do número de manchas solares. A figura 3.1 mostra as médias na contagens de 27 dias de raios cósmicos de origem galáctica (GCR) medidas por monitores de nêutrons e a média mensal do número d manchas solares para o período compreendido entre 1960 e 2006 (<http://neutronm.bartol.udel.edu/>). Nota-se que a intensidade de GCR exibi uma variação de 11 anos que é anticorrelacionada com o ciclo de 11-anos da atividade solar. Embora os detalhes desta anticorrelação não tenha sido completamente entendido ainda, acredita-se que a intensidade de GCR é diminuída durante o máximo solar porque o intenso e turbulento campo magnético interplanetário reduz o fluxo de GCR no sistema solar (Okazaki, 2008)

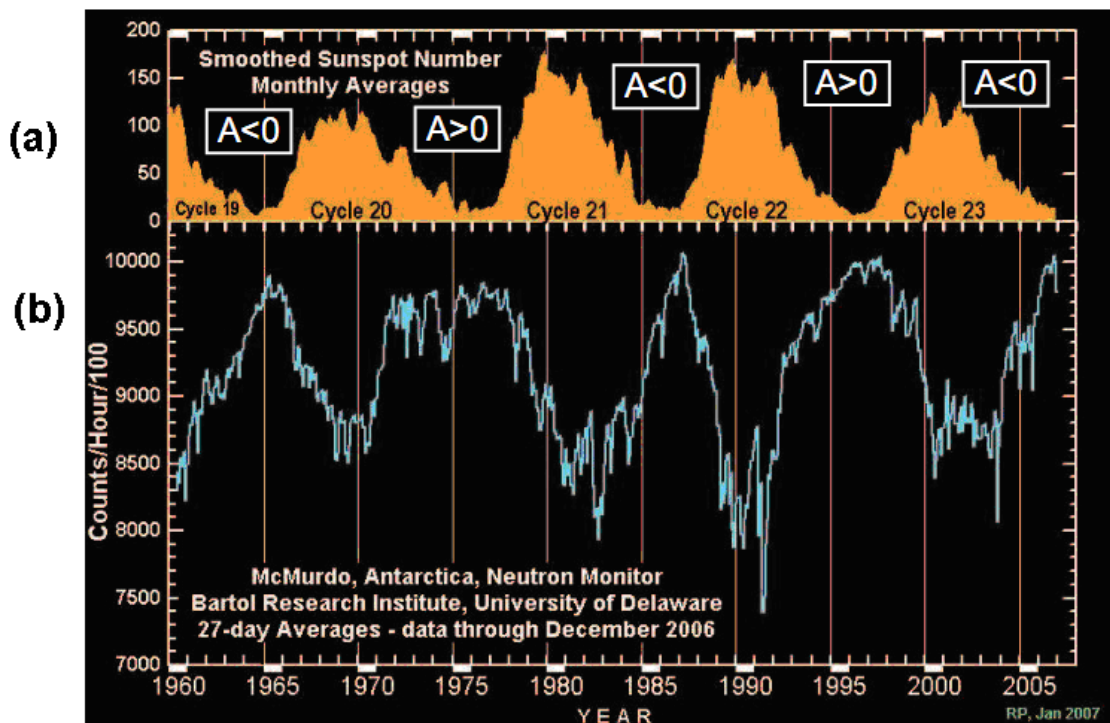


Figura 3.1 - Variação mensal do número médio de manchas solares para o período entre 1960 e 2006. As polaridades do campo magnético global solar, “A>0” e “A<0”, são indicadas.

Há outros tipos de variações na intensidade nos GCR*. Neste relatório dar-se-á atenção aos decréscimos de curto-prazo na contagem de GCR (medidos no espaço) e raios cósmicos secundários (medidos na superfície terrestre). Estes decréscimos, que ocorrem tipicamente em cerca de uma semana, foram primeiros observados por Scott E. Forbush em 1937 usando câmeras de ionização. Porém, foi apenas no início dos anos 1950 que John A. Simpson, usando monitores de nêutrons, mostrou estar no meio interplanetário a origem dos decréscimos.

A Terra sendo atingida por alguma estrutura interplanetária do vento solar como, por exemplo, uma ICME, é ilustrada na figura 2.2. As setas vermelhas indicam o desvio causado na trajetória dos GCR pela sua interação com a estrutura interplanetária. Assim, durante a passagem de alguma estrutura pela Terra, é comum ser medido uma redução na contagem de partículas em estações de superfície de muons e nêutrons †.

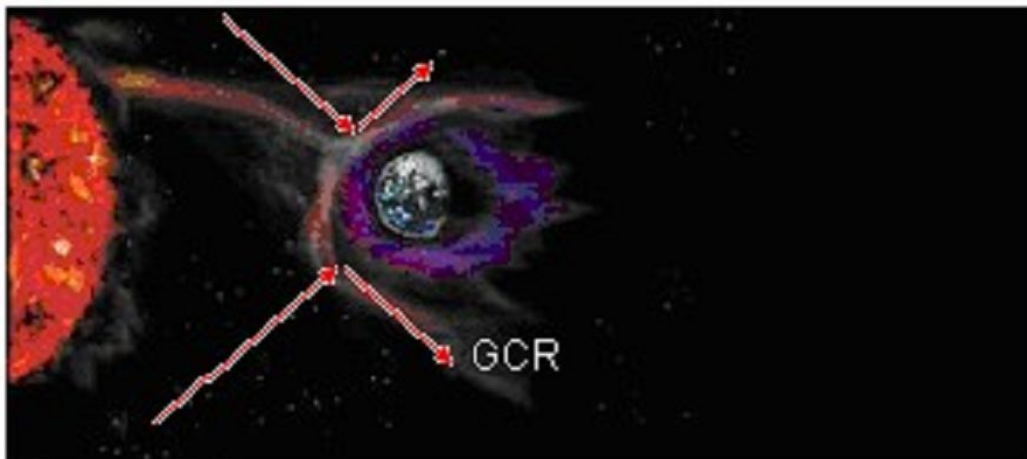


Figura 3.2 – GCRs sendo espalhados devido sua interação com uma estrutura magnética interplanetária atingindo a Terra (adaptado de Augusto, 2006).

Há dois tipos básicos de decréscimos, os recorrentes e os não-recorrentes. Decréscimos não-recorrentes são causados por distúrbios interplanetários transientes que estão relacionados à ICMEs (tais como nuvens magnéticas e choques). Os perfis de decréscimos não recorrentes apresentam uma fase de “súbito ataque” ocasionado pelo choque, alcançando a máxima depressão em cerca de 1 dia e uma fase de recuperação mais gradual. O caso

* Mais detalhes sobre os tipos de variação nos GCR podem ser encontrados em Mursula e Usoskin, 2003

† Muons e nêutrons são alguns dos vários tipos de raios cósmicos secundários.

em que a Terra é atingida pelo choque e sua correspondente ICME recebe o nome de clássico decréscimo de Forbush, conforme é mostrado na figura 1.3. Decréscimos recorrentes têm uma fase de ataque mais gradual (ou seja, leva mais do que 1 dia para alcançar a depressão máxima) e geralmente estão associados a uma CIR, feixes corrotantes de alta velocidade do vento solar (Lockwood, 1971).

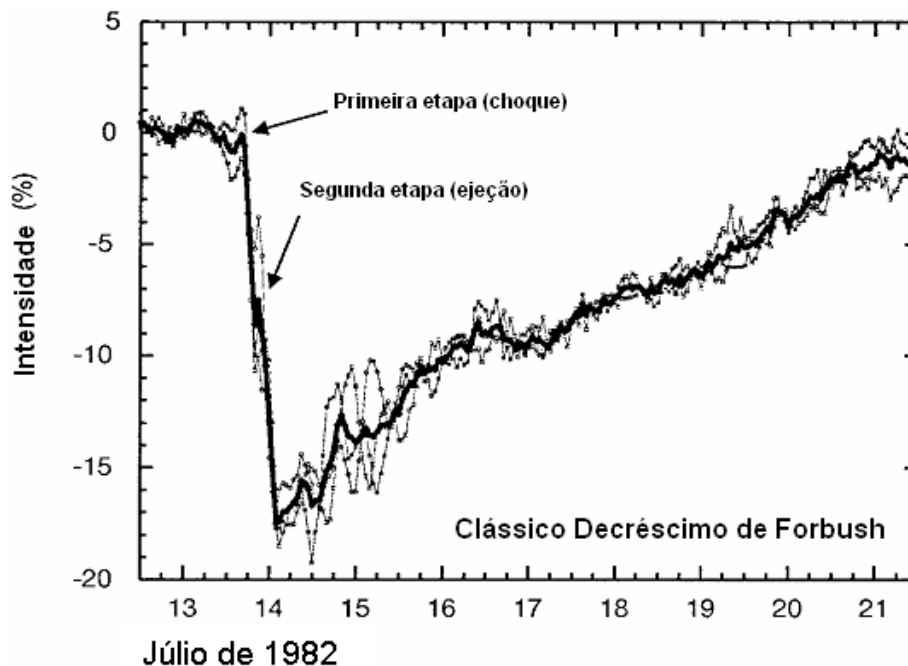


Figura 3.3 – Clássico decréscimo de Forbush registrado por três monitores de nêutrons (DeepRiver, Mt. Wellington, Kerguelen) em meados de julho de 1982. FONTE: Cane, 2000.

Historicamente, todos decréscimos a curto-prazo tem sido chamados de decréscimos de Forbush. Entretanto, alguns pesquisadores utilizam o nome mais seletivamente para aplica-lo somente aos não-recorrentes eventos. No presente trabalho analisar-se-á ambos tipos, sem preocupar-se com suas discriminações.

Conforme relatado por Cane, 1994, uma dificuldade em associar estruturas do vento solar (como CIR) com decréscimos em raios cósmicos usando dados de monitores de nêutrons (e outros detectores de raios cósmicos secundários) é que a rotação da Terra produz uma modulação diurna na contagem de RC que é superposta na variação resultante de estruturas do vento solar. Como conseqüência, torna-se complicado o reconhecimento de um decréscimo

causado por alguma estrutura. Um exemplo da modulação nos RC devido a rotação da Terra é mostrado na figura 3.4. O período deste exemplo foi de 17 a 27 de junho de 2001, correspondentes aos dias do ano (do inglês *day of year - DOY*) compreendido entre 168 e 178. Nos painéis, do superior ao inferior, estão as contagens percentuais registrada pelos seguintes detectores de raios cósmicos de superfície: monitor de nêutron de Clímax (onde a rigidez de corte geomagnética é acima de 3 Giga Volts), monitor de nêutron de Beijing (onde a rigidez é >10 GV) e detector vertical do então protótipo do telescópio multidirecional de muons de São Martinho da Serra, RS, Brasil (rigidez da ordem de 50 GV).

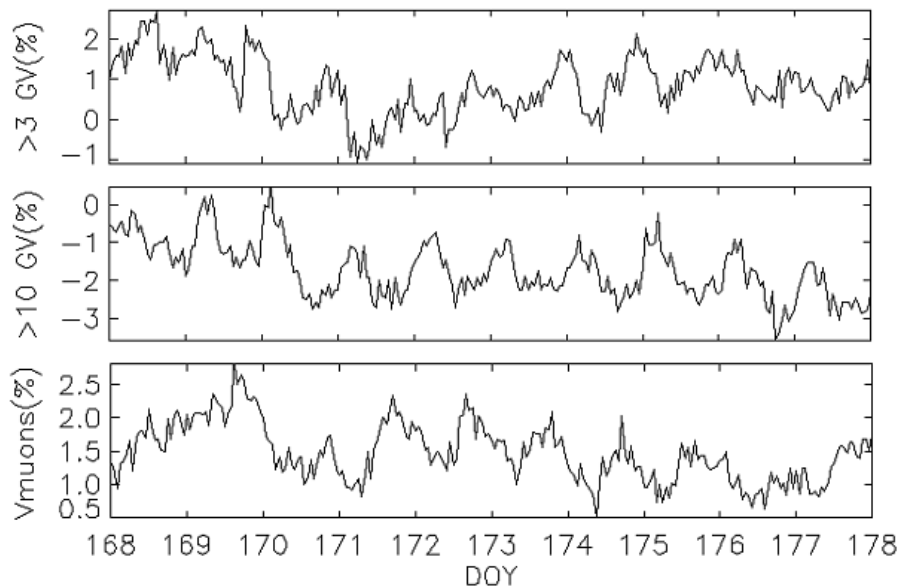


Figura 3.4 – Exemplo do efeito causado na contagem percentual de 3 detectores de RC devido a rotação da Terra. Este efeito pode “mascarar” um decréscimo causado por alguma estrutura interplanetária.

A intensidade dos raios cósmicos pode ser dada tanto em termos da taxa de contagens, quanto em porcentagem da taxa de contagem média para um período específico. No caso da análise da figura 3.4, a intensidade relativa é calculada em relação à média dos dados do ano, utilizando-se a seguinte expressão

$$Contagens (\%) = \left[\frac{Contagens (partículas / hora) - Média Anual}{Média Anual} \right].$$

CAPÍTULO 4 – DADOS E METODOLOGIA

Os dados de plasma e de campo magnético do meio interplanetário foram obtidos a partir do satélite Advanced Composition Explorer (ACE)

Utilizaram-se dados de raios cósmicos secundários, observados em superfícies, oriundos de 4 monitores de nêutrons e 1 detector de muons. Também analisaram-se os dados de raios cósmicos do detector G dos *Medium Energy Detectors* (MED) do experimento *Goddard Medium Energy* (GME) à bordo do satélite IMP-8 (*Explorer 50*).

4.1 – SATÉLITE ACE

A NASA lançou o satélite ACE em 25 de agosto de 1997. Este satélite orbita o ponto langrangeanos L1 o qual é o local marcado pelo equilíbrio gravitacional entre o Sol e a Terra e situa-se em torno de 1.5 milhões Km da Terra (distância 100 vezes menor que 1 AU*), de acordo com a figura 4.1. Logo, o ACE está sempre voltado para o Sol, sendo interceptado antes por todas as estruturas magnéticas interplanetárias oriundas do Sol que atingem a Terra.

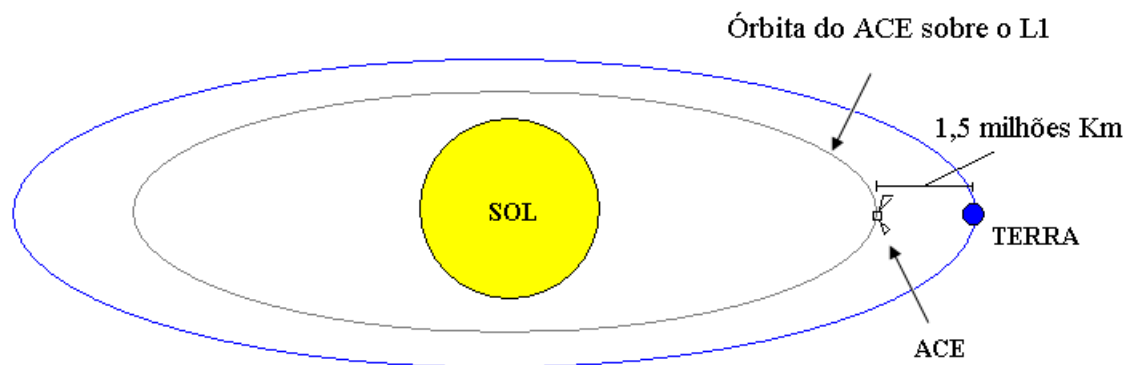


Figura 4.1 – Esquema mostrando a órbita do satélite ACE sobre o ponto L1.

Entre outras coisas, o satélite envia informações acerca dos parâmetros do vento solar. Tais dados são oriundos dos instrumentos MAG (*Magnetometer*) e SWEPAM (*Solar Wind Electron*), ambos a bordo do ACE. Os

* AU é a sigla em inglês para unidade astronômica, a distância média entre a Terra e o Sol, que vale aproximadamente 150 milhões de Km.



dados são encontrados no site da missão*, estando no formato ASCII, com resolução temporal de 64 s e prontos para serem utilizados. A figura 4.2 mostra um exemplo de arquivo obtido do site.

Conforme mencionado no capítulo 1, escolheu-se trabalhar com os dados de módulo de campo magnético no sistema de coordenadas GSM - *Geocentric Solar Magnetosphere System*.

As datas dos eventos de choques interplanetários analisados no projeto foram encontradas na lista de eventos “ACE Lists of Disturbances and Transients”, mantida on-line pelo *Bartol Instituto of Delaware University*†. Baseado nessa lista analisou-se todos os choques frontais ocorridos no ano de 2001, calcularam-se os parâmetros de choque, conforme descrito na próxima seção e encontraram-se os coeficientes de correlação entre cada parâmetro de choque e o respectivo decréscimo registrado em cada detector de raios cósmicos (que serão mencionados na seção 4.3).

* <http://www.srl.caltech.edu/ACE/ASC/level2/index.html>

† http://www.bartol.udel.edu/~chuck/ace/ACElists/obs_list.html



Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRS/INPE – MCT
Relatório Final de Atividades

```

BEGIN METADATA
MAG and SWEFAM 64-second Averaged IMF and Solar Wind Ion Parameters
Data downloaded from ACE Science Center on Fri Feb 27 09:07:48 2009
MAG/SWEFAM Team Software Version: 2.0
MAG/SWEFAM Team Time/Date Processed:

Note: All timestamps are UT, and refer to the start of the time period.
year,day,hr,min,sec: year, day of year, hour of day, minutes, seconds.
fp_year      : fractional year.
fp_doy       : fractional day-of-year.
ACEepoch     : seconds since Jan 1 00:00:00 UT 1996.
Np           : Proton Density (cm-3).
Tp          : Radial Component of proton temperature (deg. Kelvin).
Alpha_ratio  : Ratio of alphas/protons
Vp          : Proton Speed (km/s)
r,t,n_dot_RTN : R,T,N-component of proton velocity in RTN coordinates (km/s)
x,y,z_dot_GSE : X,Y,Z-component of proton velocity in GSE coordinates (km/s)
x,y,z_dot_GSM : X,Y,Z-component of proton velocity in GSM coordinates (km/s)
Br          : R-component of mag. field in RTN (nT).
Bt          : T-component of mag. field in RTN (nT).
Bn          : N-component of mag. field in RTN (nT).
Bgse_x     : X-component of mag. field in GSE (nT).
Bgse_y     : Y-component of mag. field in GSE (nT).
Bgse_z     : Z-component of mag. field in GSE (nT).
Bgsm_x     : X-component of mag. field in GSM (nT).
Bgsm_y     : Y-component of mag. field in GSM (nT).
Bgsm_z     : Z-component of mag. field in GSM (nT).
Bmag       : <|B|> magnetic field magnitude (nT).
Lambda     : mag. field longitude in RTN (0 to 360 degrees).
Delta      : mag. field latitude in RTN (-90 to 90 degrees).
dBrms      : RMS values of underlying high-resolution measurements (nT).
pos_gse_x,y,z : Components of spacecraft position in GSE (km).
pos_gsm_x,y,z : Components of spacecraft position in GSM (km).
pos_hs_x,y,z  : Components of spacecraft position in HS (km).
MAG_pts     : Number of hi-res (16-sec) MAG measurements included in the average.
A value of -9999.9 indicates bad or missing data.

More Documentation of the ACE SWEFAM level 2 data is at this web site:
http://www.srl.caltech.edu/ACE/ASC/level2/swepam_l2desc.html
More Documentation of the ACE MAG level 2 data is at this web site:
http://www.srl.caltech.edu/ACE/ASC/level2/mag_l2desc.html

year day hr min sec   fp_doy    Np    Tp      Vp      B_rtn_r  B_rtn_t  B_rtn_n  B_gse_x  B_gse_y  B_gse_z  B_gsm_x  B_gsm_y  B_gsm_z  Bmag
BEGIN DATA
2001 64 0 0 55.037   64.0006370  4.380  11480.000  426.100  -2.604  9.946  -7.760  2.618  -9.960  -7.737  2.618  -4.180  -11.899  12.887
2001 64 0 1 58.973   64.0013770  4.775  10588.000  426.850  -2.587  9.679  -8.085  2.600  -9.694  -8.063  2.600  -3.782  -12.028  12.875
2001 64 0 3 2.995   64.0021180  4.365  9816.200  424.190  -2.520  9.491  -8.297  2.532  -9.506  -8.275  2.532  -3.512  -12.104  12.859
2001 64 0 4 7.018   64.0028590  4.513  10497.000  424.120  -2.382  9.503  -8.365  2.395  -9.519  -8.343  2.395  -3.489  -12.168  12.885
2001 64 0 5 11.040  64.0036000  3.184  -9999.900  420.930  -2.233  9.154  -8.748  2.245  -9.171  -8.726  2.245  -2.991  -12.301  12.896
2001 64 0 6 14.976  64.0043400  3.053  7774.800  428.050  -2.861  9.915  -7.686  2.874  -9.929  -7.663  2.874  -4.207  -11.816  12.873
2001 64 0 7 18.998  64.0050810  3.251  11904.000  427.320  -2.868  9.954  -7.584  2.882  -9.967  -7.561  2.882  -4.297  -11.749  12.840
2001 64 0 8 23.021  64.0058220  3.651  7911.000  429.050  -2.867  9.724  -7.895  2.880  -9.739  -7.873  2.880  -3.939  -11.887  12.851

```

Figura 4.2 – Exemplo de um arquivo de dados proveniente do site da missão do satélite ACE.

4.2 – CÁLCULO DOS PARAMETROS DE CHOQUES

Em cada evento calcularam-se os parâmetros de choque, mencionados no capítulo 3, adotando-se o mesmo método empregado por Echer, 2003, descrito a seguir. Definiram-se três “janelas” temporais, cada uma de 10 minutos, para avaliar a variação dos parâmetros de choques. As fronteiras das janelas temporais são limitadas pelas linhas pontilhadas no exemplo ilustrado na figura 4.5. A janela de tempo central corresponde à região do próprio choque. As janelas laterais correspondem ao lado *upstream* (U) ou pré-choque e ao lado *downstream* (D) ou pós-choque. Parâmetros médios foram calculados para os intervalos limitados pelas regiões *upstream* e *downstream*, e a diferença entre estas médias é quantificado como a variação do parâmetro através do choque. As razões entre as densidades e módulos do campo magnético nas regiões *upstream* e *downstream* são representados por r_N e r_B , respectivamente.

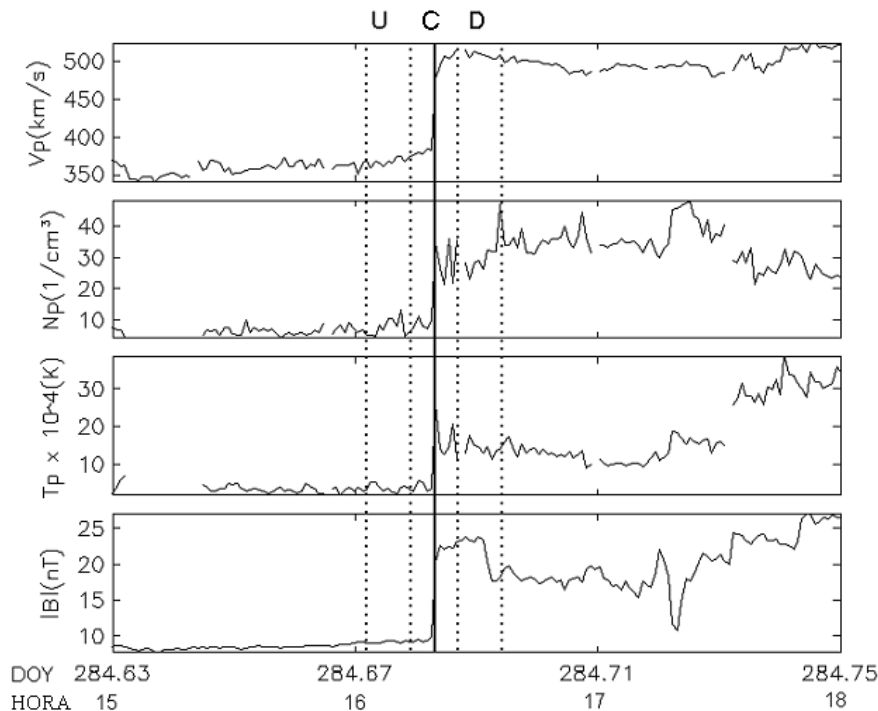


Figura 4.3 – Exemplo de um choque frontal rápido observado em 11 de outubro de 2001. Os painéis, de cima para baixo, correspondem ao módulo da velocidade, a densidade e a temperatura dos prótons e a intensidade do campo magnético interplanetário. A linha contínua indica o choque (C) e as linhas tracejadas delimitam as janelas temporais pré-choque (U) e pós-choque (D).



Cada tipo de choque sob o ponto de vista da teoria magnetohidrodinâmica (MHD) os choques devem satisfazer as equações Rankine – Hugoniot, as quais são relações físicas fundamentais para uma superfície plana de descontinuidade (o próprio choque) em que ocorre um salto nos valores de campos físicos (como os campos elétrico e magnético) do lado *upstream* para o *downstream*. Estas equações obedecem os princípios de conservação da massa, fluxo de momento total, fluxo de momento tangencial, energia e fluxo magnético (Echer, 2002; Burlaga, 1995).

Segundo Burlaga, 1995, estas equações são relativas a um sistema de referência com origem no Sol. Supondo que as velocidades *upstream* e *downstream* são radiais, então a velocidade do choque (V_c) pode ser calculada, relativo ao Sol, pela seguinte equação

$$V_c = \frac{N_2 V_2 - N_1 V_1}{N_2 - N_1} \quad (1)$$

em que N_1 , N_2 , V_1 e V_2 são as densidades e velocidades médias nos lados *upstream* e *downstream*, respectivamente.

Os parâmetros de choque do exemplo ilustrado na figura 4.10 são:

$$\Delta N = 21,58 \text{ cm}^{-3}$$

$$\Delta V = 138,40 \text{ Km/s}$$

$$\Delta |B| = 12,82 \text{ nT}$$

$$\Delta T = 10,47 \times 10^4 \text{ K}$$

$$V_c = 559,38 \text{ Km/s}$$

$$rN = 3,71$$

$$Rb = 2,40$$



4.3 – DETECTORES DE RAIOS CÓSMICOS

Analisaram-se dados de contagem de partículas com energia acima de 60 Mega elétrons-volts do detector G do instrumento MED (Médium Energy Detector) à bordo do satélite IMP-8. Também estudaram-se dados provenientes de 4 monitores de nêutrons com diferentes rigidezes de corte geomagnética, a saber, Thule – Greenland (onde a rigidez de corte é maior do que 0.5 Giga volts, sigla GV), Clímax – Colorado – EUA (> 3 GV), Beijing – China (> 10 GV) e Haleakala – Hawaii (> 13 GV). Outra fonte de dados de raios cósmicos foi o então protótipo do telescópio multidirecional de muons (TMM), o qual iniciou a operação em março de 2001. Esse instrumento tinha 4 m² de área de detecção e foi instalado no Observatório Espacial do Sul (SSO/CRS/INPE - MCT), (29.4° sul, 53.8° oeste, 480 m acima do nível do mar), em São Matinho da Serra, RS. Escolheu-se o detector de partículas na direção vertical, pois possui maior incidência de partículas, observando melhor do que os detectores de outras direções os efeitos globais causados por alguma estrutura interplanetária, além de ter maior área de detecção e menores incertezas nas medidas (Da Silva, M. R. et al., 2004).

A transmissão dos dados do satélite IMP-8 foi interrompido no dia 25 de outubro de 2001. Então, não há dados para os períodos de 1° de janeiro à 6 de março do TMM e a partir de 25 de outubro de 2001* do IMP-8

A figura 4.4 mostra um exemplo de decréscimo não-recorrente (decréscimo de Forbush – dF ocorrido no período compreendido entre 9 e 19 de outubro de 2001 (equivalentes aos dias do ano 282 e 292) registrados nos detectores de raios cósmicos antes mencionados. Note-se o súbito ataque, rápido decréscimo e fase de gradual recuperação. As variações percentuais ($\Delta\%$) neste evento são:

$$\Delta\% \text{ IMP-8} = 3$$

$$\Delta\% \text{ Thule} = 4.1$$

$$\Delta\% \text{ Climax} = 7.8$$

$$\Delta\% \text{ Beijing} = 4.8$$

$$\Delta\% \text{ Haleakala} = 6.33$$

$$\Delta\% \text{ Vmuon} = 2.5$$

* Como analisaram-se dados de todo o ano de 2001, não há dados de 25/10 a 31/12 para o satélite IMP-8.

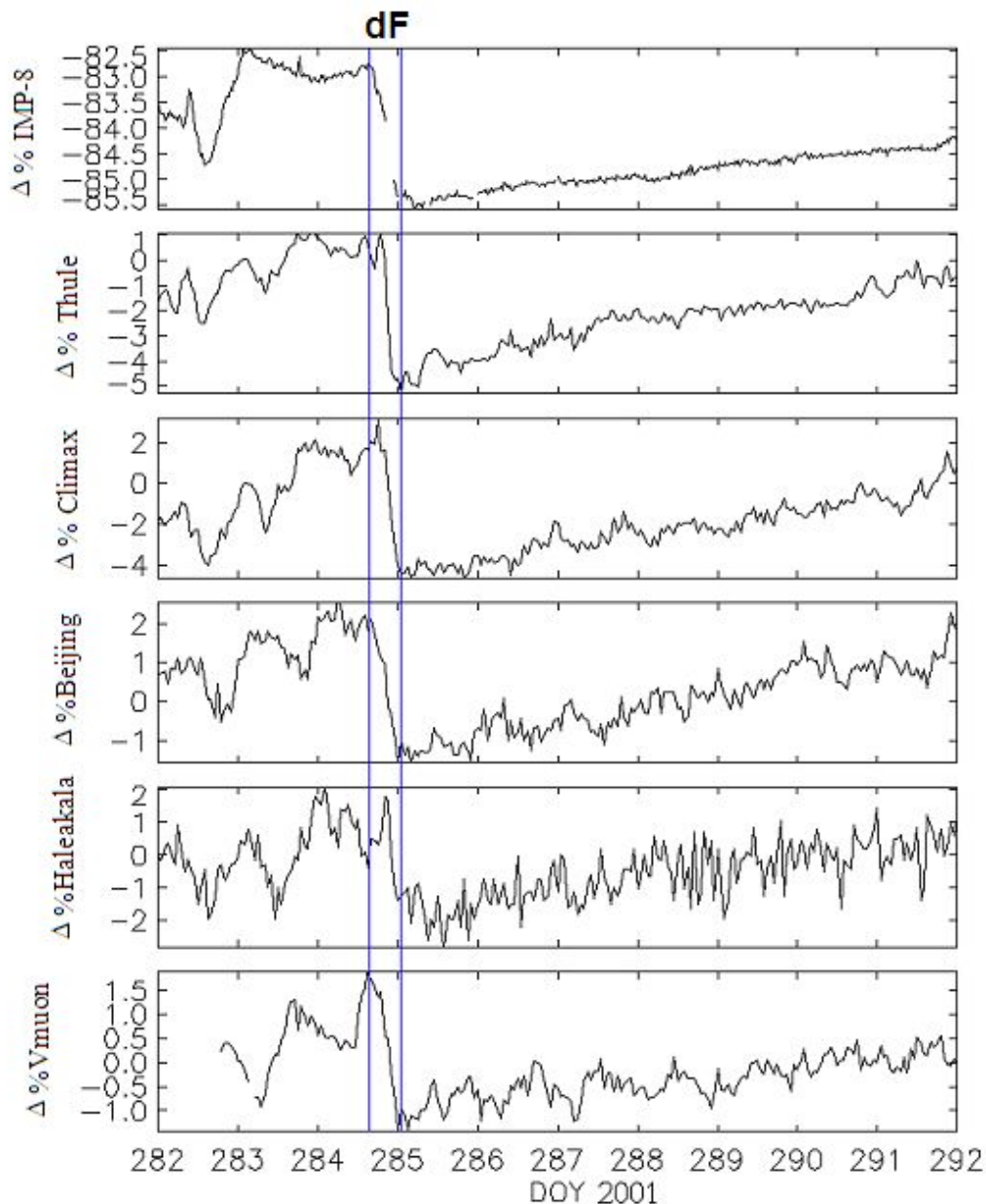


Figura 4.4 – Clássico decréscimo de Forbush (dF). Os painéis mostram as variações percentuais na contagem de raios cósmicos nos 6 detectores mencionados no texto ocorrido no período de 9 a 19 de outubro de 2001

Estudos realizados por Cane et al (1993) mostraram que a taxa integral de íons com alta energia ($> 60 \text{ MeV/u.m.a.}^*$) medidos pelo detector G do instrumento MED à bordo do IMP-8 podem prover informações sobre sutis variações na intensidade em decréscimos que não são evidentes em dados de monitores de nêutrons devido as variações diurnas.

* Unidade de massa atômica.

Por outro lado, o fato do satélite IMP-8 estar no espaço é responsável por seus detectores serem mais sensíveis a partículas liberadas pelo Sol (aceleradas, digamos, por flares ou ICMEs) do que estações de RC na superfície terrestre. Conseqüentemente, é freqüente esse satélite registrar enormes aumentos na contagem ao invés de decréscimos. Assim, de 52 eventos de choques frontais rápidos analisados em 2001, em apenas 14 foram observados decréscimos nos RC.

Um exemplo de grande acréscimo nos dados de contagem de partículas do satélite IMP-8 é ilustrado na figura 4.5. Este evento provavelmente está associado com o segundo maior *flare* já registrado que ocorreu no dia 2 de abril de 2001 (DOY 92). A classe de emissão dos raios -X nesse evento foi X20*.

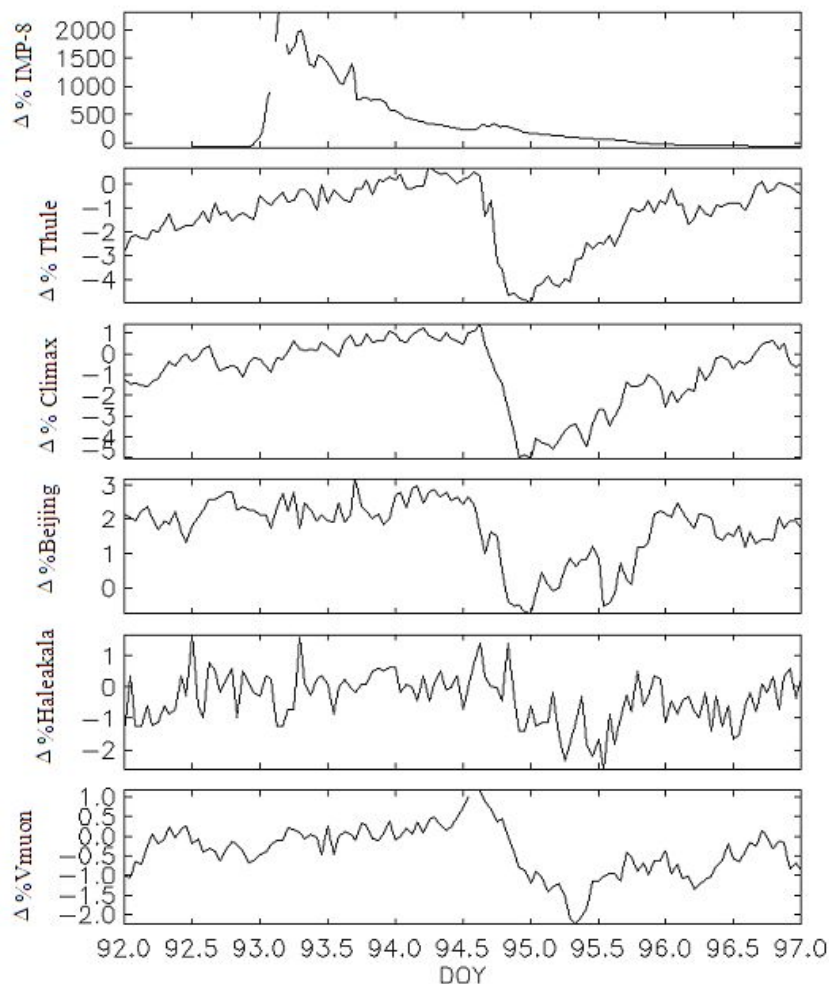


Figura 4.5 – No painel superior, exemplo de um aumento nos dados de contagem de RC oriundos do satélite IMP-8, enquanto, conforme visto nos painéis abaixo, ocorre decréscimos nos dados das outras 5 estações de superfície.

* FONTE: <http://spaceweather.com/solarflares/topflares.html>

CAPÍTULO 5 - RESULTADOS

Conforme relatado no capítulo 2, é comum choques lentos ocorrerem com menor frequência do que choques rápidos. Durante o ano de 2001, um total de 9 choques frontais lentos e 52 choques frontais rápidos foram identificados. Destes 52, para o IMP-8 em apenas 14 eventos pode-se verificar o decréscimo nos dados, para o detector de muons foram 31 e para os monitores de nêutrons 40 eventos.

Verificou-se que o fluxo de raios cósmicos é principalmente modulado pelos choques frontais rápidos. Conforme visto nas figuras 2.1 e 4.3, em associação com a passagem de um choque frontal rápido, a intensidade do campo magnético interplanetário decai rapidamente e a flutuação em seus valores tornam-se maiores. Conseqüentemente, raios cósmicos são impedidos de difundirem-se através da onda de choque. Assim, um decréscimo na intensidade de raios cósmicos é formado atrás da onda de choque (Wada, M. e Murakami, K., 1988).

Durante 2001 ocorreram 9 choques frontais lentos e em apenas 2 eventos foi notado algum decréscimo, enquanto que para os 7 eventos restantes, os decréscimos eram imperceptíveis. Isto é razoável, pois o $|B|$ diminui através do choque frontal lento. Logo, o mecanismo que impede a difusão dos RC através de choques frontais rápidos não ocorre com choques frontais lentos.

A tabela 1 mostra os coeficientes de correlação entre as variações nas contagem percentuais nos raios cósmicos (em 6 detectores com diferentes rigidezes de corte) a variações médias dos parâmetros de choques frontais rápidos (ΔN , ΔV , $\Delta |B|$, ΔT , V_C , rN e rB).

Tabela 1 – Coeficientes de correlação entre variações nas contagem percentuais nos raios cósmicos em diferentes detectores e variações médias dos parâmetros de choques frontais rápidos.

	rN	rB	$\Delta B $	ΔT_p	ΔN_p	ΔV_p	V_c
$\Delta \% IMP\ 8$	0.16	0.51	0.65	0.70	0.10	0.85	0.73
$\Delta \% Thule$	-0.03	0.43	0.60	0.62	-0.04	0.75	0.62
$\Delta \% Climax$	~0	0.50	0.55	0.56	-0.02	0.72	0.48
$\Delta \% Beijing$	0.08	0.55	0.60	0.55	-0.03	0.69	0.52
$\Delta \% Hale$	0.06	0.47	0.47	0.59	-0.06	0.64	0.42
$\Delta \% Vmuon$	-0.05	0.22	0.35	0.41	-0.16	0.48	0.34

Baseado nos coeficientes de correlação mostrados na tabela 1 nota-se que as variações na velocidade, temperatura e módulo do campo magnético estão associados com decréscimos de raios cósmicos. Devido ao gradiente de B, quanto maior a taxa de compressão rB mais intenso é o choque e maior será o espalhamento dos raios cósmicos. De acordo com Wada, M. e Murakami, K., 1988, o movimento dos RC é diretamente influenciado pelo campo magnético do vento solar, mas a velocidade é mais importante na modulação do fluxo de RC porque este campo magnético propaga-se “congelado” no vento solar.

Na verdade a correlação com a temperatura de prótons ocorre porque T aumenta simultaneamente com $|B|$ e V, logo há uma correlação não-causal entre ΔT_p e decréscimos de RC.

Os coeficientes de correlação parecem serem bem associados a rigidez de corte do local, para ΔV_p e V_c . Nestes 2 parâmetros há uma clara tendência para os seus coeficientes de correlação terem maiores valores quanto menor for a rigidez de corte geomagnética do local.

As variações percentuais observadas pelo detector G à bordo do instrumento MED do IMP-8 versus a variação na velocidades de prótons através de choques frontais rápidos é apresentada na figura 5.1. Este gráfico possui o maior coeficiente de correlação analisado.

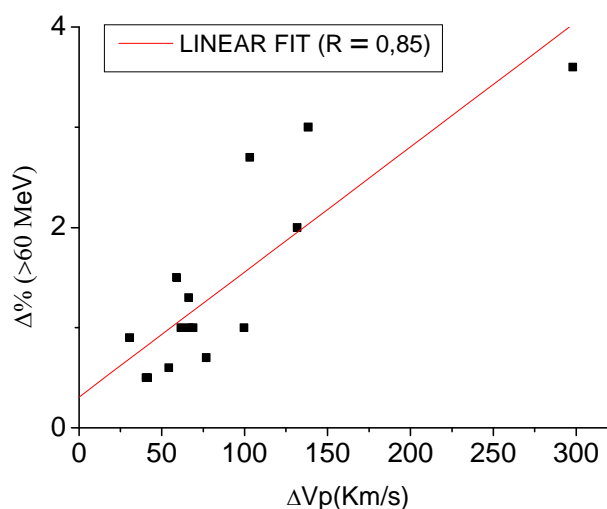


Figura 5.1 – Variações percentuais medidos pelo detector G do instrumento MED à bordo do satélite IMP-8 versus variações na velocidade de prótons através de choques frontais rápidos.

É possível observar na tabela 1 que os parâmetros de densidade (rN e ΔNp) não estão relacionados aos decréscimos de raios cósmicos. A figura 5.2 mostra um exemplo dessa falta de correlação com um gráfico dos decréscimos registrados pelo monitor de nêutrons de Clímax e taxa de compressão da densidade rN . Claramente percebe-se que os pontos deste gráfico são bastante espalhados, sem qualquer relação entre decréscimos de RC e rN . É intrigante que isso ocorra mesmo havendo alta correlação entre parâmetros de densidade e de campo magnético, os quais, por sua vez, têm alta correlação com os decréscimos. Portanto, poderia se esperar que os parâmetros de densidade possuíssem alguma correlação com decréscimos.

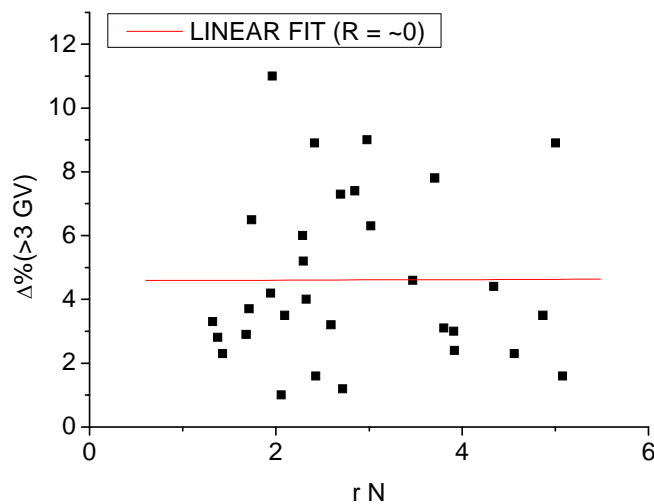


Figura 5.2 – Exemplo de decréscimo de raios cósmicos versus taxa de compressão de densidade rN . Esta figura não mostra qualquer associação entre estes parâmetros, contrastando com o que é apresentado na figura 5.1.

É sabido que o poder de penetração dos RC é altíssimo. Mas ainda assim deve haver alguma ligação entre a densidade do meio e a dispersão de raios cósmicos *. Porém, num ambiente tão rarefeito como o meio interplanetário, tanto faz haver 5 ou 200 partículas/cm³, pois essa densidade continua sendo muito baixa para provocar algum efeito no fluxo de RC.

Por outro lado, a velocidade média das partículas numa estrutura interplanetária é tal que a força magnética gerada por elas é suficiente para

* Afinal, se no caminho do fluxo de RC for colocado, digamos, uma parede de chumbo de espessura suficientemente grande, o fluxo será espalhado.



modificar a trajetória de alguns raios cósmicos galácticos de baixa energia. Sendo assim, confirma-se novamente que a velocidade das partículas no meio interplanetário é um parâmetro importante na modulação do fluxo de raios cósmicos.

Portanto, deve existir alguma correlação entre a densidade do meio e o fluxo de RC's, mas no caso do meio interplanetário a densidade é tão baixa q seu efeito na contagem dos detectores é insignificante.

Com o intuito de verificar as características gerais dos decréscimos na contagem de raios cósmicos devido à estruturas interplanetárias ocorridos em 2001, realizou-se a análise de época superposta para todos os eventos em que ocorreram decréscimos nos 6 detectores de raios cósmicos analisados neste trabalho. Escolheu-se um período de tempo de 4 dias antes do choques e 8 dias após o choque. Além dos valores médios, calcularam-se os desvios padrão referente aos dados de cada detector.

Mais detalhes do método utilizado para a análise de época superposta deste trabalho pode ser encontrado nas rotinas comentadas presentes nos anexos A.3 e A.4

A figura 5.3 apresenta a análise de época superposta, de cima para baixo, para a variação percentual nos decréscimos dos dados do detector G do instrumento MED à bordo do satélite IMP-8 (rigidez de corte maior que 60 MeV), monitores de nêutrons de Clímax, Beijing, e Haleakala e detector vertical do telescópio multidirecional de muons de São Martinho da Serra.

A linha azul representa a curva média para cada detector de todos os eventos de choques em que houve decréscimos de raios cósmicos, e as linhas verde e vermelha representam a média mais e menos desvio padrão para esses eventos de choque, respectivamente. Na região em torno do tempo zero (que representa os exatos momentos dos choques) é evidente o decréscimo em todos os painéis. Como um maior fluxo de partículas é medido pelo satélite IMP-8, pois rigidez de corte é menor, registrando assim uma maior contagem de RC em comparação aos outros 5 detectores, a curva para os dados do IMP-8 possui maior flutuação.

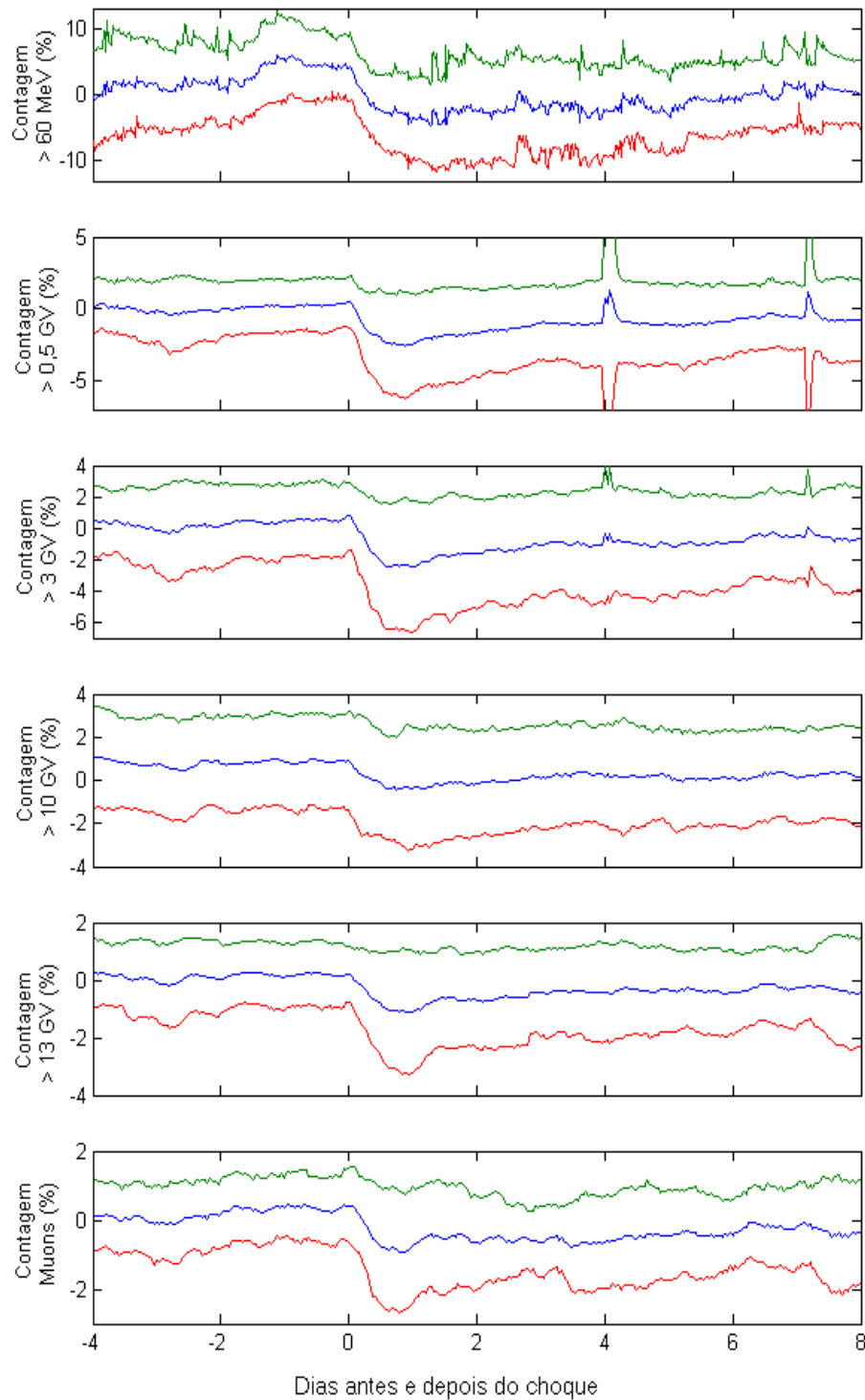


Figura 5.3 – Análise de época superposta para os dados oriundos dos 6 detectores de raios cósmicos analisados. O tempo 0 representa o exato momento dos choques interplanetários registrados pelo satélite ACE.



Os picos medidos nos painéis de energia maiores de 0.5 GeV e 3 GeV nos dias 4 e 7 ocorreram devidos aos GLE (*Ground Level Enhancement*) dos dias 15 e 18 de abril de 2001. Os dados do satélite IMP-8 também registraram esse decréscimo, mas na análise de época superposta filtrou-os dados com muita variação (ver nota de rodapé no anexo A.4).

Em detectores que observam partículas com energia mais altas, o GLE não é evidente.

Nota-se que quanto maior a energia das partículas detectadas, menor a variação percentual nos dados (basta perceber a gradual diminuição da escala do eixo vertical dos painéis).



CAPÍTULO 6 – CONCLUSÕES

No Relatório o Bolsista demonstra as atividades desenvolvidas no Projeto **“ESTUDO DO DECRÉSCIMO NA INTENSIDADE DE RAIOS CÓSMICOS CAUSADO POR DIFERENTES ESTRUTURAS INTERPLANETÁRIAS DO VENTO SOLAR”**, 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 – LCEPTM/CRS/INPE – MCT, em Santa Maria, RS.

As análises da correlação entre decréscimos de raios cósmicos em 6 estações (localizadas em locais com diferentes rigidezes de corte) e parâmetros de choques frontais rápidos para vários eventos ocorridos no ano de 2001 são apresentados. Verificou-se que a modulação no fluxo de raio cósmicos causado por choques frontais lentos é insignificante porque o módulo do campo magnético decai através deste tipo de choque. Observou-se a presença de uma clara relação entre $\Delta|B|$, ΔV_p , ΔT_p e decréscimos de RC. Os coeficientes de correlação estão bem associados a rigidez de corte do local para ΔV_p e V_c . Para esses parâmetros à uma clara tendência de seus coeficientes de correlação possuírem maiores valores quanto menor for a rigidez de corte. Por outro lado, os parâmetros de densidade não apresentam qualquer associação com decréscimos de raios cósmicos, possivelmente pelo fato da densidade no meio interplanetário ser muito baixa mesmo dentro da região compreendida por uma estrutura interplanetária.

Estes resultados são compatíveis com as conclusões obtidas no trabalho de Rathod, J. et al, 2008, dentre os quais se destacam:

- A velocidade do vento solar está claramente relacionada aos índices geomagnéticos, tais como a contagem de raios cósmicos medido pelo monitor de nêutron da estação de Beijing (CRNM);
- A densidade do vento solar não controla CRNM;
- O módulo do campo magnético interplanetário está relacionado aos índices geomagnéticos, inclusive aos CRNM.

Os autores desse trabalho, porém, não apresentam as causas de suas conclusões.



De modo geral, no presente Projeto de Pesquisa foi possível obter conhecimentos de diversos fenômenos envolvendo as relações Sol-Terra, tais como: atividades solar, tempestades geomagnéticas, raios cósmicos e estruturas magnéticas do meio interplanetário, principalmente no tocante a ondas de choques interplanetários.

O aluno obteve apreciável experiência com manipulação de dados por meio de algoritmos desenvolvidos durante o período de vigência do Projeto, com interpretação dos gráficos gerados, e teve a oportunidade de apresentar seus resultados em congressos e eventos científicos da área.



REFERÊNCIAS

Augusto, C. R. A. 2006. **Observação do excesso e deficit de muons no nível do mar em associação com eventos solares transientes**, Tese de Doutorado em Física, Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro, RJ.

Burlaga, L. F. 1995. **Interplanetary magnetohydrodynamics**. New York: Oxford University Press, 250 p.

Cane, H. V., Richardson, I. G. and T. T. von Roseninge, 1994, **Cosmic ray decreases and shock structure: A multispacecraft study**, Journal of Geophysical Research, 99, A11, 21.429-21.441.

Cane, H. V, 2000, **Coronal Mass Ejections and Forbush Decreases**, Space Science Reviews, 93, 55-77

Da Silva, M. R., Contreira, D. B., Monteiro, S., Trivedi, N. B., Munakata, K., Kuwabara, T., Schuch, N. J., 2004, **Cosmic ray muon observation at Southern Space Observatory – SSO (29.S, 53.W)**, Astrophysics Space Science. 290, 389–397, 2004.

Dal Lago, Alisson. **Estudo De Estruturas Geoféticas No Meio Interplanetário e de suas Causas Solares**. 213 p. INPE-10298-TDI/917. Tese de Doutorado em Geofísica Espacial – INPE, São José dos Campos, SP, 2003.

Echer, E., et al. 2003a. **Número de manchas solares, índice da atividade do Sol**. Rev. Bras. Ens. Fís., v. 25, n° 2.

Echer, E., W. D. Gonzalez, L. E. A. Vieira, A. Dal Lago, F. L. Guarnieri, A. L. C. Gonzalez and N. J. Schuch, 2003b. **Interplanetary Shock Parameters during Solar Activity Maximum (2000) and Minimum (1995-1996)**, Brazilian Journal of Physics, 33, 1, 115-122.



Echer, E. **Estudo de Características e Geofetividade de Estruturas Magnéticas Interplanetárias Simples e Compostas.** 245 p. INPE-12514-TDI/999. Tese de Doutorado em Geofísica Espacial – INPE, São José dos Campos, SP, 2005.

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.

Gonzalez, W. D.; Tsurutani, B. T.; Clúa de Gonzalez, A. L. C. **Interplanetary origin of geomagnetic storms.** Space Science Reviews, v. 88, n. 3, p. 529 – 562.

Hoyte, D. V. e Schatten, K. H. 1997. **The role of the Sun in Climate Change,** Cambridge University Press, Cambridge.

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

Lockwood, J. A., 1971, **Forbush decreases in the cosmic radiation,** Space Science Reviews, 12, 658-715.

Moschetti, M. 2006. **Galileu e as cartas sobre as manchas solares: a experiência telescópica contra a inalterabilidade celeste.** Cadernos de Ciências Humanas – Especiaria., v. 9, n. 16, p. 313 – 340.

Mursula, K., I. Usoskin, 2003, **Heliosphere Physics and Cosmic Rays,** Lectures Notes. American Geophysics Union, Washington, DC.

Odenwald, S. F. e Grenn, J. L. 2008. **Tempestade Solar no Horizonte Interplanetário.** Scientific American Brasil, edição de setembro, p. 36 - 43.



Okazaki, Y. **Three dimensional anisotropy and density gradient of galactic cosmic rays measured by global neutron detector network.** Tese de doutorado em Geofísica. Tohoku University, Japão, 2008.

Rathod, J., et al. 2008. **Relationship between Interplanetary (IP) Parameters and Geomagnetic Indices during IP Shock Events of 2005.** J. Astrophys. Astr., v. 29, p. 293 – 302.

Sheeley, N. R., R. A. Howard, M. J. Koomen, D. J. Michels, R. Schween, K. – H. Mulhauser and H. Rosenbauer, 1985, **Coronal mass ejections and interplanetary shocks**, Journal of Geophysical Research, 90, 163.

Van Helden, A. 1996. **Galileo and Scheiner on sunspots: a case study in the visual language of astronomy.** In: Proceedings of the American Philosophical Society, v. 140, p. 358-396.

Wada, M., and K. Murakami, 1988, **Cosmic rays in the interplanetary space.** In: *Cosmic Ray Astrophysics*, edited by M. Oda, J. Nishimura and K. Sakurai, pp. 299-334. TERRAPUB, Tokyo,



ANEXO A – ROTINAS

A.1 – CÁLCULO DOS PARAMETROS DE CHOQUE

Rotina, escrita em IDL, para calcular os parâmetros de choque (ΔN , ΔT , ΔV , $\Delta|B|$, V_s , r_N e r_B).

```
pro ace_parametros

;Parâmetros de plasma do meio interplanetário oriundos do satélite ACE
result=read_ascii('D:\Clima\dados\ACE\ace_2001_final.txt')
data1=result.(0)
Tempo=data1(1,*) ; dia fracionado
Np=data1(2,*) ; densidade -
Tp=data1(3,*) ; temperatura -
Vp=data1(4,*) ; Velocidade - > 4 parâmetros de choque
Bmag=data1(6,*) ; modulo do B -

openw, 1, 'D:\Clima\parametros.txt' ; criação de um arquivo para depositar os resultados de saída

read, Doy, prompt='DOY do choque= '
read, hora, prompt='Hora do choque= ' ; entrada das datas dos choques
read, minu, prompt='Minuto do choque= '

tc = Doy + hora/24 + minu/1440 ;exato tempo do choque
tc1 = tc - 7.41e-4
tc2 = tc + 7.41e-4 ; intervalos para, depois, ser achado a linha do choque

tr_time=Transpose(tempo)
tr_Np=Transpose(Np)
tr_Vp=Transpose(Vp)
tr_Bmag=Transpose(Bmag)
tr_T=Transpose(Tp)

linha = where (tr_time gt tc1 and tr_time lt tc2)
linhac = linha[0] ; valor da linha do choque (seleciona-se apenas o 1º elemento, caso
; "linha" retorne uma matriz com mais do que 1 elemento)

linhapi = linhac - 14 ;linha do pre choque inicial
linhapf = linhac - 5 ;linha do pre choque final
linhapoi = linhac + 5 ; linha do pos choque inicial
linhapof = linhac + 14 ;linha do pos choque final

np_pre=tr_np[linhapi:linhapf]
np_pos=tr_np[linhapoi:linhapof]
vp_pre=tr_vp[linhapi:linhapf] ; dados dos parâmetros de choque (temperatura, velocidade, ...)
vp_pos=tr_vp[linhapoi:linhapof] ; que estão dentro das janelas pré e pós-choque
bmag_pre=tr_bmag[linhapi:linhapf]
bmag_pos=tr_bmag[linhapoi:linhapof]
T_pre=tr_T[linhapi:linhapf]
T_pos=tr_T[linhapoi:linhapof]

np1 = mean(np_pre,/NaN)
np2 = mean(np_pos,/NaN)
vp1 = mean(vp_pre,/NaN) ; valores médios nas regiões pré e pós-choque
vp2 = mean(vp_pos,/NaN) ; dos parâmetros de choque (PC)
B1 = mean(bmag_pre,/NaN)
B2 = mean(bmag_pos,/NaN)
T1 = mean(T_pre,/NaN)
T2 = mean(T_pos,/NaN)

deltaN = Np2 - Np1
deltaV = Vp2 - Vp1 ;variação dos PC.
deltaB = B2 - B1
deltaT = T2 - T1
Rn = Np2/Np1
RB = B2/B1
Vs = ((np2*vp2)-(np1*vp1))/(Np2-Np1)

printf, 1, deltaN, deltaV, deltaB, deltaT, Rn, RB, Vs ; impressão no arquivo dos PC
close, 1
end
```



A.2 – CORREÇÃO DO EFEITO DE PRESSÃO

Rotina para corrigir os efeitos de pressão atmosférica na contagem do detector vertical do TDM e conversão dos dados em contagem percentual.

```
pro correcao
;Acesso aos dados da direção vertical do TMM_protótipo
result=read_ascii('D:\Clima\dados\Muons\2001\muon_2001_final.txt')
prot1=result.(0)

; Fatores de Escala
USscl = 1000 & LSscl = 1000 & WTscl = 400
Vscl = 100 & Nscl = 40 & Sscl = 40
Escl = 40 & Wscl = 40 & NEscl = 10
NWscl = 10 & SEscl = 10 & SWscl = 10

tmuon=prot1(0.*)
V=prot1(12.*)
Pr=prot1(21.*)
Rt=prot1(22.*)

; Constantes para a correção do efeito de pressão
u0 = 5.827605 & y1 = -3954.210 & y2 = -10724.26
c1 = 99.47206 & c2 = 4.355120 & c3 = -112.7058
d1 = 0.037349 & t1 = 27.59161 & t2 = 0.806170 & t3 = 19.29672 & t4 = 15.24889
t_geta = 3090000.0 & p_geta = 1510000.0
t_sf = 200.0 & p_sf = 80.0
psia_hpa = 68.9476 & pres_ave = 950.0

; Betas = coeficientes barometricos
BetaUS = -0.175 & BetaLS = -0.217 & BetaWT = -0.201
BetaV = -0.216 & BetaN = -0.231 & BetaS = -0.206
BetaE = -0.208 & BetaW = -0.238 & BetaNE = -0.271
BetaNW = -0.305 & BetaSE = -0.280 & BetaSW = -0.303

; Calculo da pressão(hPa)
x = 1 / (((RT + t_geta) * t_sf) / 3600000000)
u = x - u0
u2 = u * u
u3 = u2 * u
xtemp = y1 * u + y2 * u2
ta = 1 / (((PR + p_geta) * p_sf) / 3600000000)
c = c1 + c2 * u + c3 * u2
d = d1
t0 = t1 + t2 * u + t3 * u2 + t4 * u3
xpress = 1.0 - (t0 ^ 2) / (ta ^ 2)
xpres = c * xpress * (1.0 - d * xpress) * psia_hpa

; Correção do efeito da pressão e calculo das contagens relativas
Vcor = 100.0 * alog(V) - (BetaV * (xpres - pres_ave))
Vcorr = exp((Vcor) / Vscl); (contagens/hora)

Vmedia=mean(Vcorr./NaN)
Vper=((Vcorr-Vmedia)/Vmedia)*100 ; eis o vetorcoluna com a contagem percentual de muons
; corrigido para o efeito de pressão atmosférica.
```



A.3 – ANÁLISE DE ÉPOCA SUPERPOSTA – NEUTRONS E MUONS

Rotina que gera dados com a análise de época superposta para os dados provenientes de monitores de nêutrons e detector de muons.

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%  
;; ANÁLISE DE ÉPOCA SUPERPOSTA ; ;  
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%  
  
;Procedimento (quase) sucinto do algoritmo:  
;  
;- Num arquivo de dados, selecionar as linhas correspondentes à 'm' horas antes e '2m' horas depois do j-ésimo choque  
; (há o datas de choque, convertidos em dia fracionário);  
;- Essa 'matrizcoluna' de dados (com 3m=n elementos) corresponderá à j-ésima coluna do array 'final', ou seja,  
; ao final(j,*);  
;- Como os dados possuem resolução horária, o array 'final' será uma matriz de ordem c x n ;  
;- Então, para obter os dados superpostos basta calcular o valor médio de cada linha da matriz final, gerando-se  
; com essas médias o array 'super'.  
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%  
  
; Esta rotina obtém como saída os dados correspondentes a época superposta de dados em contagem percentual mais  
; e menos o desvio padrão referentes aos dados do monitor de nêutron de Climax, mas serve para os dados dos outros  
; 3 monitores e o protótipo do TMM analisados neste trabalho.  
  
pro super_climax  
result=read_ascii ('D:\Clima\dados\Neutrons 2001\CLIMAX_adap.txt')  
arquivo=result.(0)  
tempo=arquivo(0,*)  
dados=arquivo(1,*)  
super_media=mean(dados,./NaN)  
read,n,prompt='Número de linhas do arquivo: '  
m=n/3  
  
result2=read_ascii ('D:\Clima\dados\datas_neutrons.txt') ;arquivo com as datas dos eventos (convertidos em dia  
; fracionário) com decêscimos observados pelo monitor de neut. Climax no ano de 2001  
  
arqdata=result2.(0)  
data=arqdata(*,*)  
tamanho=size(data)  
tam=tamanho(3)  
ult=tam - 1  
  
final=findgen(tam,n) ;criação de uma matriz de floating-point-numbers com a dimensão da matriz "final"  
;que conterá os dados referentes à 24 h antes e 48 h após os eventos de choques  
trinta=1.0/48.0  
for j=0,ult do begin  
tc = data(j) ;exato momento do choque registrado no ACE  
tc1 = tc - trinta ; os dados dos neutrons possuem resolução de 1 hora, por isso 1/48 corresponde a 30min  
tc2 = tc + trinta ;tc1 e tc2 são intervalos de tempo para, no comando 'where', ser achado a linha do 'tempo'  
; mais próximo do tc  
linha = where (tempo gt tc1 and tempo lt tc2) ; linha mais próxima do choque  
linhac = linha[0] ; se, por acaso, o intervalo englobar duas linhas de tempo, selecionar apenas o 1º, ou seja,  
; o elemento linha[0][pois é necessário um valor escalar ]  
linhai = linhac - m ;linha correspondente a m horas antes da linha do choque  
linhaf= linhac + 2*m ;linha correspondente a m horas depois da linhac  
interv=dados[linhai:linhaf] ; matrizlinha contendo os elementos q vão desde linhai até linhaf no array dados  
intervalo=transpose(interv) ;transposta  
  
for i=0,n-1 do begin  
final(j,i)=intervalo(i) ;substituição de cada elemento da matriz 'final' pelos valores de interesse  
endfor  
endfor  
  
media=findgen(1,n) ;matrizcoluna cujo cada linha corresponde ao valor médio de cada linha da matriz final  
desvio=findgen(1,n) ;matrizcoluna cujo cada linha corresponde ao desvio padrão dos valores de cada linha da matriz final.  
for li=0,n-1 do begin  
desvio(li)=STDDEV(final(*,li),./NaN)  
media(li)=mean(final(*,li),./NaN)  
endfor  
  
desvioper=(desvio/media)*100  
super_per=((media - super_media)/super_media)*100 ; variação percentual dos dados de 'super' em relação a média anual  
zero=tempo(m-1)  
stempo=transpose(tempo[0:n-1] - zero)  
  
uniaoc=[stempo,super_per,super_per + desvioper, super_per - desvioper]  
openw,5,'D:\Clima\programs\super\super_climax.txt' ;impressão dos dados num arquivo para depois gerar  
printf,5,uniaoc ;o gráfico com a análise de época superposta d todos  
close,5 ;as 6 fontes de dados.  
end
```




A.4 - ANÁLISE DE ÉPOCA SUPERPOSTA – IMP-8

Rotina, em Matlab, que gera dados com a análise de época superposta para os dados provenientes do detector G do IMP – 8*.

```
result=load('E:\Lucas\Clima\Dados\Neutrons Monitor\Neutrons 2001\imp_8_2001.txt');
tempo=result(:,1);
dados=result(:,2);
n = input('Número de linhas do arquivo: ');
m = n/3;

data = load('E:\Lucas\Clima\programs\super\datas_imp8.txt');
tamanho=size(data);
tam=tamanho(1);

vaz=[];
t15=1.0/96 ;
for j=1:tam
    tc = data(j);
    tc1 = tc - t15;
    tc2 = tc + t15;
    linha = find (tempo > tc1 & tempo < tc2);
    linhac = linha(1);
    linhai = linhac - m;
    linhaf = linhac + 2*m;
    interv = dados(linhai : linhaf);

    for i=1:n;
        vaz(i,j)=interv(i);
    end
end

super = ones(n,2);
for lin=1:n
    uniao = [];
    for col=1:tam
        if (vaz(lin,col) > 150 & vaz(lin,col) < 250)
            uniao(col)=vaz(lin,col);
        else
            uniao(col)= NaN;
        end
        media=nanmean(uniao);
        desvio=nanstd(uniao);
        super(lin,1)=media;
        super(lin,2)=desvio;
    end
end

vmedio=super(:,1);
vdesvio=super(:,2);
s_desvio=(vdesvio./vmedio).*100;
super_media=nanmean(vmedio);
s_per=((vmedio - super_media)./super_media).*100;

int=round(m);
zero=tempo(int);
stempo=tempo(1:n) - zero;
```

* A principal diferença entre essa rotina e a rotina anterior, é que a rotina para dados do IMP-8 “filtra” os dados com valor entre 150 e 250 contagens/segundo, atribuindo aos dados fora desta faixa a designação de NaN (*not a number*).



ANEXO B – RESUMOS E PÔSTERES

RELATÓRIO PARCIAL DE ATIVIDADES PIBIC/CNPq-INPE – FEVEREIRO DE 2009

1. Título do Projeto:

ESTUDO DO DECRÉSCIMO NA INTENSIDADE DE RAIOS CÓSMICOS CAUSADO POR DIFERENTES ESTRUTURAS INTERPLANETÁRIAS DO VENTO SOLAR.

2. Identificação do aluno e orientadores:

Bolsista: Lucas Ramos Vieira

Orientador: Dr. Ezequiel Echer

Co-Orientador: Dr. Nelson Jorge Schuch

Protocolo: 111680/2008-5

3. Colocação do problema estudado: ao atingir a Terra, uma ejeção de massa coronal interplanetária (ICME), ou alguma estrutura interplanetária correspondente a ela, tais como uma onda de choque ou uma nuvem magnética, pode gerar uma tempestade geomagnética em nosso planeta. Tempestades magnéticas podem ainda ser causadas pela interação de feixes rápidos de buracos coronais com feixes lentos do vento solar ambiente. Essas tempestades podem causar sérios danos em equipamentos tecnológicos dentre os quais se citam arrastes em satélites e distúrbios em estações espaciais. Um método que se tem destacado na previsão de tempestades geomagnéticas é aquele que utiliza dados da intensidade de raios cósmicos, tais como múons e nêutrons, que atingem a Terra. Nesse sentido, este projeto objetiva estudar o decréscimo na intensidade de raios cósmicos, comumente chamado de decréscimo de Forbush, durante a passagem pela Terra de diferentes estruturas interplanetárias do vento solar. O estudo concentra-se principalmente em eventos ocorridos em 2001, pois esse ano encontra-se num período de máxima atividade solar.

4. Metodologia: a análise dos parâmetros de plasma do vento solar (temperatura, velocidade, componentes e módulo do campo magnético, etc) é feita com dados oriundos dos instrumentos MAG (Magnetometer) e SWEPAM (Solar Wind Electron



Proton Alpha Monitor), ambos a bordo do satélite “Advanced Composition Explorer” (ACE). Dados de raios cósmicos medidos no espaço são obtidos através do sensor de partículas energéticas do IMP-8, a partir de seu instrumento “Goddard Medium Energy” (GME). Para observações na superfície terrestre utilizam-se dados de estações de nêutrons como, por exemplo, Clímax, Beijing e Thule. Para verificar a ocorrência de tempestades geomagnéticas, confere-se o índice geomagnético Dst fornecido pela World Data Center for Geomagnetism, Kyoto. De domínio público, todos os dados descritos acima são facilmente encontrados na internet. As observações referentes à intensidade de múons são obtidas a partir do Telescópio Detector de Múons, instalado no Observatório Espacial do Sul (OES/CRS/INPE – MCT), em São Martinho da Serra, RS, latitude 29°, 26', 24"S, Longitude 53°, 48', 38"O e altitude 492m acima do nível do mar.

5. Resultados obtidos até janeiro de 2009: o aluno realizou revisão bibliográfica tanto em literatura nacional quanto internacional sobre o Clima Espacial. Adquiriu conhecimentos dos princípios fundamentais do funcionamento do Telescópio Detector de Múons (TDM). Gerou e comparou gráficos com os dados de parâmetros de plasma do satélite ACE e de monitores de nêutrons das estações de Thule, McMurdo, Newark e South Pole, verificando a ocorrência de Decréscimos de Forbush. Dando maior atenção aos eventos de ondas de choque interplanetário, o aluno analisou perfis de choques provenientes de ICME's rápidas ou lentas, referente ao período de 4 a 14 de abril de 2001.

No período compreendido entre agosto a janeiro, o aluno participou dos seguintes eventos:

- SBGEA 2008 - II Simpósio Brasileiro de Geofísica Espacial e Aeronomia, que ocorreu de 08 a 12 de setembro de 2008.
- 23ª Jornada Acadêmica Integrada - UFSM, 03 a 06 de novembro de 2008, Santa Maria, RS.
- Na primeira semana de dezembro de 2008 houve a visita do pesquisador Dr. Kazuoki Munakata, da qual o aluno participou acompanhando as atividades (substituição dos potenciômetros do TDM).
- Palestras do Dr. Alexandre Álvares Pimenta, Coordenador do Programa de Pós - Graduação em Geofísica Espacial do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e



do Dr. Jean Carlo dos Santos, aluno de Pós-Doutorado do Max-Planck Institut für Sonnensystemforschung, MPS, Lindau, Alemanha.

No mesmo período, o bolsista publicou os seguintes trabalhos científicos como autor e co-autor:

1 - **VIEIRA, L. R.**; ECHER, E. ; SCHUCH, N. J. ; DAL LAGO, A.; SILVA, Marlos Rockenbach da; BRAGA, Carlos Roberto; KEMMERICH, N.; SILVEIRA, M. V. D. Estudo do decréscimo na intensidade de raios cósmicos causado por estruturas interplanetárias do vento solar. In: II Simpósio Brasileiro de Geofísica Espacial e Aeronomia - SBGEA, 2008, Campina Grande, PB. Anais do II Simpósio Brasileiro de Geofísica Espacial e Aeronomia. Campina Grande, PB: Editora da Universidade Estadual da Paraíba, 2008.

2 - **VIEIRA, L. R.**; ECHER, E.; SCHUCH, N. J.; Estudo do Decréscimo na Intensidade de Raios Cósmicos Causado por Diferentes Estruturas Interplanetárias do Vento Solar; In: 23ª Jornada Acadêmica Integrada da Universidade Federal de Santa Maria, 2008, Santa Maria. Anais da 23ª Jornada Acadêmica Integrada.

3 - BRAGA, Carlos Roberto; DAL LAGO, A.; SCHUCH, N. J.; KEMMERICH, N.; SILVEIRA, M. V. D.; **VIEIRA, L. R.** ; SILVA, Marlos Rockenbach da . Modulações de raios cósmicos de alta energia observadas por detectores de muons e de nêutrons. In: II Simpósio Brasileiro de Geofísica Espacial e Aeronomia SBGEA, 2008, Campina Grande, PB. Anais do II Simpósio Brasileiro de Geofísica Espacial e Aeronomia. Campina Grande, PB: Editora da Universidade Estadual da Paraíba, 2008.

4 - KEMMERICH, N.; DAL LAGO, A.; SCHUCH, N. J.; BRAGA, Carlos Roberto; SILVEIRA, M. V. D.; **VIEIRA, L. R.**; Ampliação do protótipo do telescópio detector de muons raios cósmicos de alta energia. In: II Simpósio Brasileiro de Geofísica Espacial e Aeronomia SBGEA, 2008, Campina Grande, PB. Anais do II Simpósio Brasileiro de Geofísica Espacial e Aeronomia. Campina Grande, PB: Editora da Universidade Estadual da Paraíba, 2008.

5 - STEKEL, T. R. C.; ECHER, E. ; SCHUCH, N. J. ; KEMMERICH, N.; BRAGA, Carlos Roberto; SILVEIRA, M. V. D.; **VIEIRA, L. R.** Estudo de efeitos de explosões solares na ionosfera terrestre em baixas latitudes durante o ciclo solar 23. In: II Simpósio Brasileiro de Geofísica Espacial e Aeronomia SBGEA, 2008, Campina Grande, PB. Anais do II Simpósio Brasileiro de Geofísica Espacial e Aeronomia. Campina Grande, PB : Editora da Uinversidade Estadual da Paraíba, 2008.

6. Resultados a serem obtidos até julho de 2008: A partir de uma lista de eventos com todas as datas de ondas de choque de efeitos significativos que atingiram a Terra no ano de 2001, o bolsista pretende gerar e analisar gráficos deste período, visando obter uma



familiaridade básica com o estudo de estruturas interplanetárias associadas a raios cósmicos. Os dados utilizados serão provenientes dos instrumentos a bordo dos satélites ACE e IMP-8 e dos detectores de nêutrons e múons. Neste trabalho está inserido a aprendizagem do acesso remoto ao TDM e análise de dados do ano de 2001 oriundos do então protótipo do TDM. Na fase final do projeto o estudante efetuará a preparação de trabalhos e apresentações em eventos e congressos, incluindo o congresso do PIBIC do INPE (SICINPE) e irá redigir o Relatório Final das atividades de Iniciação Científica do Programa PIBIC/INPE – CNPq/MCT, junto ao Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais CRS/INPE – MCT.



**II Simpósio Brasileiro de Geofísica Espacial e Aeronomia – SBGEA-2008
De 08 a 11 de setembro de 2008 – Campina Grande – PB**

“Estudo do decréscimo na intensidade de raios cósmicos causado por estruturas interplanetárias do vento solar”

Vieira, L. R. [1]; Echer, E. [2]; Schuch, N. J. [1]; Dal Lago, A. [2]; Da Silva, M. R. [2]; Braga, C. R. [1]; Kemmerich, N. [1]; Silveira, M. V. D.[1];

[1] Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRS/CIE/INPE – MCT em parceria com o Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria – LACESM/CT – UFSM, Av Roraima, Campus UFSM, CP 5021, CEP 97110-970, Santa Maria, RS, Brasil

[2] Divisão de Geofísica Espacial - DGE/CEA/INPE - MCT, São José dos Campos, SP, Brasil.

RESUMO

Este trabalho tem o objetivo de estudar o decréscimo na intensidade de raios cósmicos secundários (*muons* e nêutrons) devido a diferentes estruturas interplanetárias do Vento Solar. Utilizaram-se dados de campo magnético interplanetário e parâmetros do Vento Solar, registrados pelos instrumentos a bordo do satélite *Advanced Composition Explorer* – ACE, e dados dos monitores de nêutrons mantidos pelo *Bartol Research Institute*, da *University Of Delaware*, EUA, e do telescópio detector de *muons*, localizado no Observatório Espacial do Sul – OES/CIE/INPE – MCT em São Martinho de Serra, Brasil. A partir das observações interplanetárias realizadas por Da Silva et al (2005), pretende-se investigar o decréscimo de raios cósmicos em um intervalo maior de energia, utilizando observações de satélites (como IMP- 8 e ACE) e monitores de nêutrons em diversas rigidezes de corte, complementando e atualizando as observações do telescópio detector de *muons* do Observatório Espacial do Sul - OES/CRS/CIE/INPE – MCT e do monitor de nêutrons.



Pôster do II Simpósio Brasileiro de Geofísica Espacial e Aeronômica – SBGEA-2008



INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE/MCT
 CENTRO REGIONAL SUL DE PESQUISAS ESPACIAIS – CRS/CIE/INPE – MCT
 OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL - OES/CRS/CIE/INPE – MCT
 UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA - UFSM
 CENTRO DE TECNOLOGIA
 LABORATÓRIO DE CIÊNCIAS ESPACIAS DE SANTA MARIA - LACESM/CT – UFSM



ESTUDO DO DECRÉSCIMO NA INTENSIDADE DE RAIOS CÔSMICOS CAUSADO POR ESTRUTURAS INTERPLANETÁRIAS DO VENTO SOLAR

Lucas R. Vieira (1); Ezequiel Echer (2); Nelson J. Schuch (1); Allison Da Lago (2); Marlon R. Da Silva (2); Nikolas Kammerich (1); Carlos R. Braga (1); Marcos V. D. Silveira (1)

[1] Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRS/CIE/INPE – MCT em parceria com o Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria – LACESM/CT – UFSM, CP 5021, CEP 97110-970, Santa Maria, RS, Brasil
 [2] Divisão de Geofísica Espacial – DGE/CEA/INPE – MCT, São José dos Campos, SP, Brasil
 E-mail: lucasramos@lacs-sm.ufsm.br

RESUMO

Este trabalho tem o objetivo de estudar o decréscimo na intensidade de raios cósmicos secundários (muons e nêutrons) devido a diferentes estruturas interplanetárias do Vento Solar. Utilizaram-se dados de campo magnético interplanetário e parâmetros do Vento Solar, registrados pelos instrumentos a bordo do satélite *Advanced Composition Explorer* – ACE, e dados dos monitores de nêutrons mantidos pelo *Bartol Research Institute*, da *University Of Delaware*, EUA, e do telescópio detector de muons (TDM) localizado no Observatório Espacial do Sul – OES/CIE/INPE – MCT em São Martinho da Serra, Brasil. A partir das observações interplanetárias realizadas por da Silva (2006), pretende-se investigar o decréscimo de raios cósmicos em um intervalo maior de energia, utilizando observações de satélites (como IMP-8 e ACE) e monitores de nêutrons em diversas rigidezes de corte, complementando e atualizando as observações do telescópio detector de muons do Observatório Espacial do Sul – OES/CRS/CIE/INPE – MCT e do monitor de nêutrons.

INTRODUÇÃO

O Vento Solar pode carregar diferentes estruturas magnéticas, as quais, em sua viagem pelo espaço interplanetário, podem atingir a Terra, causando as tempestades geomagnéticas. Os efeitos vão desde auroras boreais nos pólos até prejuízos irreparáveis em satélites e sistemas de telecomunicações.

Embora não se tenha ainda obtido a precisão desejada, um dos métodos mais eficazes na previsão de tempestades geomagnéticas (intensas), é o que utiliza raios cósmicos. Por um curto período, plasma ejetado do Sol e choques criados pelas Ejeções Coroniais de Massa (CMEs) têm pronunciado efeitos na densidade de raios cósmicos (Bjehg et al., 2000). Esta breve redução da intensidade dos raios cósmicos foi chamada de Decréscimo de Forbush.

Da Silva et al. (2006) classificaram as estruturas interplanetárias como: Ejeções Coroniais de Massa Interplanetária (ICME), Choques Interplanetários, Nuvens Magnéticas, Regiões de Interação Co – rotantes e Estruturas Complexas.

OBJETIVOS

Ainda em desenvolvimento, este trabalho atém-se em investigar dados de campo magnético interplanetário e parâmetros do Vento Solar, registrados pelos instrumentos a bordo do satélite *Advanced Composition Explorer* – ACE, e dados dos monitores de nêutrons mantidos pelo *Bartol Research Institute*, da *University Of Delaware*, EUA – figura 1, e do então protótipo do Telescópio Detector de Muons (TDM), localizado no Observatório Espacial do Sul – OES/CIE/INPE – MCT em São Martinho da Serra, Brasil – figura 2. A partir das observações interplanetárias realizadas por da Silva (2005), será analisado o decréscimo de raios cósmicos em um intervalo maior de energia, utilizando observações de satélites como o *Interplanetary Monitoring Platform* (IMP-3). A análise compreenderá os meses de janeiro a novembro de 2001, mês no qual o satélite IMP - 3 cessou o envio de dados.



Figura 1: Monitores de nêutrons mantidos pelo Bartol Research Institute, da Universidade Of Delaware.



Figura 2: Protótipo do Telescópio Detector de Muons do OES/CIE/INPE – MCT em São Martinho da Serra, RS.

INSTRUMENTAÇÃO

No ano de 2001 registraram-se tempestades geomagnéticas que alcançaram picos no índice Dst de até -387 nT no dia 31 de março. Baseando-se no trabalho de da Silva (2005) são utilizados neste trabalho os dados das seguintes fontes:

- O protótipo do TDM (atualmente expandido), localizado no Observatório Espacial do Sul, em São Martinho da Serra, Brasil. O protótipo consistia em um conjunto detector *citilador multidimensional* (2 x 2 x 2) que permitia registro simultâneo das intensidades (em porcentagem) de muons detectados em diferentes direções, como: 30° Vertical (V), 30° Norte (N), 30° Sul (S), 30° Leste (E), 30° Oeste (W), 45° Nordeste (NE), 45° Noroeste (NW) e 45° Sudoeste (SW). O protótipo encontrava-se em uma região de rigidez magnética entre 10 e 12 GeV e tinha resolução temporal de 1 hora,

- Os três monitores de nêutrons na estação de *Neurax* em *Delaware*, mantidos pelo *Bartol Research Institute*, fornecem dados públicos com resolução temporal de 1 hora, tal como a resolução dos dados de muons. Os monitores apresentam uma rigidez magnética entre 4 e 6 GeV.

- Instrumentos MAG (*Magnetometer*) e SWEFAM (*Solar Wind Electron Proton Alpha Monitor*), ambos a bordo do satélite ACE. Esse satélite encontra-se orbitando o ponto Lagrange L1. Os dados possuem resolução temporal de 64 segundos.

- Índice Dst fornecido por Kyoto, Japão.

RESULTADOS PRÉVIOS

Durante o período de 2001, da Silva (2005) analisou um total de 45 eventos, dos quais 18 eram eventos de regiões de interação co-rotante – CIRs, 12 estruturas complexas, 7 de nuvens magnéticas, 4 de ejeções coroniais de massa interplanetárias (CMEs) e 4 choques interplanetários, conforme o gráfico de figura 3.

A figura 4 mostra um gráfico com os valores percentuais médio dos decréscimos de nêutrons e muons para as diferentes estruturas estudadas e seus respectivos desvios padrões.

Nota-se que os maiores decréscimos individuais foram causados por nuvens magnéticas e, consequentemente, na média, as nuvens são as estruturas que causam o maior decréscimo nos raios cósmicos, tanto de nêutrons quanto de muons, seguidas pelas estruturas de ICMEs.

As estruturas que possuem o menor poder de modulação dos raios cósmicos são as regiões de interação co-rotantes, devido ao fato de a intensificação do campo magnético não ser muito intensa para este tipo de estrutura. Já as nuvens magnéticas e ICMEs causam uma grande intensificação do campo magnético no espaço onde propagam-se, fazendo com que os raios cósmicos sejam desviados pelo efeito de deriva das partículas, tendo uma contribuição da rigidez magnética das estruturas.

METODOLOGIA DO PRESENTE TRABALHO

Pretende-se comparar os resultados obtidos por da Silva (2005) com os dados do instrumento *Medium Energy Detector* (MED) junto ao *Goddard Medium Energy* (GME) do satélite IMP-3. A faixa de energia estende-se de 121 a 230 MeV. Acredita-se que em menores energias o decréscimo de Forbush não seja suficientemente claro. Apesar da coleta de dados do IMP-3 ter-se encerrado em novembro de 2001, será possível analisar informações significativas daquele ano.

A análise dos novos dados envolverá a produção de gráficos gerados a partir do programa *Interactive Data Language* (IDL). Com a elaboração e o estudo dos gráficos criados serão pesquisadas as ocorrências de decréscimos de Forbush.

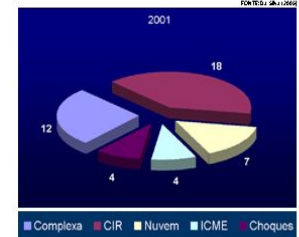


Figura 3: Número de eventos estudados, separados por estrutura interplanetária para o ano de 2001.

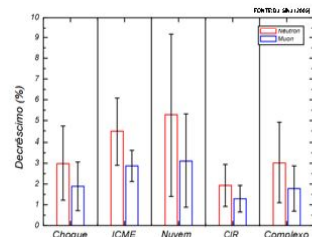


Figura 4: Valores médios e desvios padrões de decréscimo de nêutrons e muons para diferentes estruturas.

RESULTADOS ESPERADOS

No estudo do comportamento dos raios cósmicos secundários (muons e nêutrons) perante a diferentes estruturas do meio interplanetário, tem-se como expectativa confirmar que o fluxo deste tipo de partículas no espaço interplanetário sofre influência das estruturas interplanetárias de origem solar.

Espera-se conseguir classificar as estruturas interplanetárias analisadas para o período de 2001.

REFERÊNCIAS

- Paetsch, J.W.; Forbush, E.; Epping, P.; Puckett, E.G.; Svalbroten, E.; Gomez, R.; Adel, R.; A. Frimery, Juan Kraus Science 259, p.1 – 9, 2000.
- Da Silva, M. R.; Echer, E.; Gonzalez W.D.; Tullio, A.; Vain, L.E.A.; Gomy, F.L.; Da Lenc, A.; Gomy, R. *Interplanetary magnetic field and solar structures: Geophysical Research Letters*, vol. 6, 0013, 2004.
- Da Silva, M. R. *Variação da Intensidade dos Raios Cósmicos em Resposta a Diferentes Estruturas Interplanetárias de Massa Interplanetária* 2000. Trabalho (Mestrado em Geofísica Espacial) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradam ao Programa FINEP/PRONEX/MEC pela aprovação dos Projetos de Pesquisa e Apoiados a outros Projetos Científicos (PPS-UBA) pelo recebimento em a University of Delaware e FINEP/PRONEX pelo financiamento da expansão do TDM do Observatório Espacial do Sul. Agradamos ao World Data Center for Geomagnetism pelo envio de dados do índice Dst a equipe da missão espacial ACE pelo envio de campo magnético interplanetário e de plasma e ao Bartol Research Institute pelo envio de monitor de nêutrons.





Correlations between Cosmic Ray Decreases and Forward Shock Parameters in 2001

Lucas Ramos Vieira^{*1}, Ezequiel Echer², Nelson Jorge Schuch¹, Marlos Rockenbach da Silva², Nikolas Kemmerich¹, Tardelli Ronan Coelho Stekel¹.

1 - Southern Regional Space Research Center - CRS/INPE - MCT, in collaboration with the Santa Maria Space Science Laboratory - LACESM/CT- UFSM, Santa Maria, RS, Brazil.

2 - National Institute For Space Research – DGE/CEA/INPE-MCT, São José dos Campos, SP, Brazil.

Copyright 2009, SBGF - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation during the 11th International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Salvador, Brazil, August 24-28, 2009.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 11th International Congress of the Brazilian Geophysical Society and do not necessarily represent any position of the SBGF, its officers or members. Electronic reproduction or storage of any part of this paper for commercial purposes without the written consent of the Brazilian Geophysical Society is prohibited.

Abstract

Data from 6 cosmic ray detectors ground based with different rigidity cutoffs, and spacecraft measurements have been examined in order to determine the coefficient correlation between percentage changes in cosmic ray decreases and average variations of fast forward shock parameters. For analysis we chose the year 2001. In this period 52 fast and 9 slow forward shocks were identified in the interplanetary medium near the Earth. It was observed that slow forward shocks do not cause perceptible decrease in cosmic ray. We noted that the correlation coefficient involving velocity parameters is nearer of the unit for stations with minor rigidity cutoff. Any correlation was found among density parameters and reduction in cosmic ray intensity through the forward shocks.

Introduction

The correlation of reduction in cosmic ray (CR) intensity and interplanetary magnetic field (IMF) was clearly demonstrated by Barouch and Burlaga, 1975. CR decreases and shock structure have been studied in several works, e.g. Cane, 1994, Da Silva, 2005 and Singh, 2007. Besides IMF, in this work we investigate the correlation between CR decreases and others plasma parameters. We start with comments related to the interplanetary shocks and CR decreases.

Interplanetary Shocks

Fast solar wind structures erupted from the Sun, such as the remnants of Coronal Mass Ejections (CMEs) and Corotating Interaction Regions (CIRs), often propagate with a speed exceeding the magnetosonic speed, and thus, drive interplanetary shocks (adapted from Sheeley et al, 1983, 1985 and Echer, 2005). It is usual that spacecrafts near Earth's orbit measure only the shocks effects because of their great spatial extension which are larger than its correspondent solar wind structures. They are seen in the interplanetary data as an abrupt increase in plasma and magnetic field parameters (Echer, 2005). A shock moving away from the Sun relative to the solar wind is called a "forward shock". A "reverse shock" moves toward the Sun relatively to the solar wind. However, because solar wind is moving away from the Sun, both types of shocks are moving away from the Sun itself and

any satellite can measure its parameters (Burlaga, 1995). A shock is fast when its relative speed to the solar wind is higher than the fast magnetosonic wave speed; a shock is slow when its relative speed is higher than the slow magnetosonic wave speed (Echer, 2003).

The typical forward shocks profiles of temperature (T_p), density (N_p), magnetic field strength ($|B|$) and solar wind proton speed (V_p) are presented in Figure 1. Fast forward shocks show positive jumps in all the variables, T_p , N_p , $|B|$ and V_p . Slow forward shocks show positive jumps in V_p , T_p and N_p , but negative in $|B|$, because slow magnetosonic waves have plasma and magnetic field variations anticorrelated (Sagdeev, 1991). The profiles for the reverse shocks can be seen in Echer, 2003.

Cosmic Ray Decreases

Short-term decreases in the secondary cosmic ray count rate, which last typically for about one week, were first observed by Forbush (1937) using ionization chambers. It was at the early 1950s, using neutron monitors (Simpson, 1954) which showed that the origin of these decreases was in the interplanetary medium.

The Earth being reached by some solar wind structure from the Sun, e.g. CME, is illustrated in Figure 2. The arrows indicate the deviation caused in the galactic cosmic ray (GCR) trajectory by its interactions with the solar wind structure. Thus, during the passage of this structure through the Earth, usually is measured a reduction in muon and neutron ground-based detectors count rate. There are two basic types. Non-recurrent decreases are caused by transient interplanetary events which are related to CMEs from the Sun. They have a sudden onset, reach maximum depression within about a day and have a more gradual recovery. Recurrent decreases (Lockwood, 1971) have a more gradual onset, are more symmetric in profile, and are well associated with corotating high speed solar wind streams.

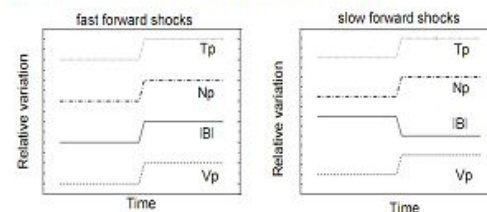


Figure 1 – Forward shocks profiles of T_p , N_p , $|B|$ and V_p (from Echer, 2003).

On the other hand, because IMP 8 is in the space, it is more sensitive to solar particles (accelerated by solar flares and interplanetary CMEs) than ground based detectors. Consequently, often it recorded large increases in count rate instead of reductions. Thus, in 2001 only 15 decreases caused by interplanetary shock were observed.

An example of an enhancement in IMP 8 count rates, illustrated in Figure 6, probably is associated with the second solar flare ever recorded that occurred on April 2 2001 (DOY 92). The X-ray class emission was X20 (from: <http://spaceweather.com/solarflares/topflares.html>).

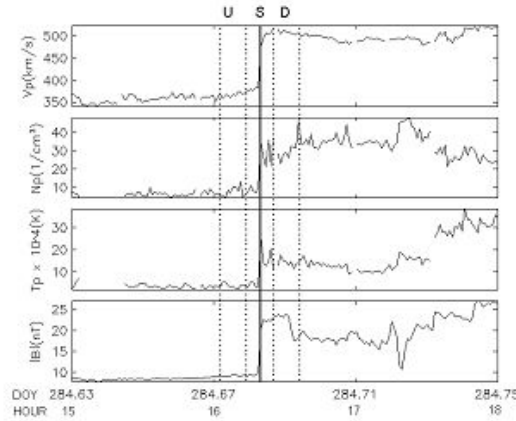


Figure 4 – Example of a fast forward shock observed on October 11th, 2001. Panels are speed, density and temperature proton and magnetic field strength. The continuous line indicates the shock (S) and the dashed lines indicate the upstream (U) and downstream (D) time windows.

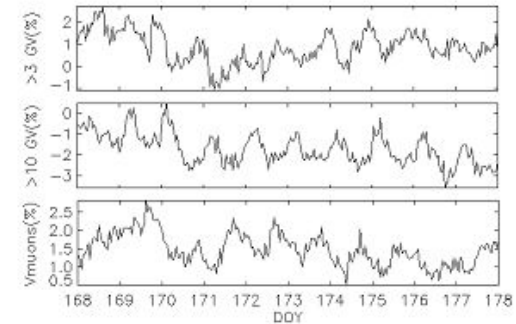


Figure 5 – Example of effect on CR count rate caused just by Earth's rotation. This may to complicate the recognition of a decrease caused by some solar wind structure.

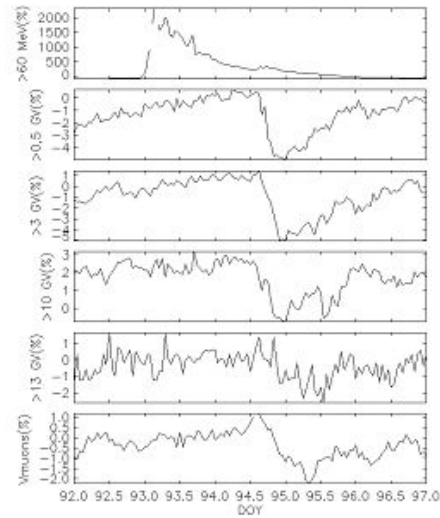


Figure 6 – Example of an increase in the IMP 8 count rate (top panel), while occur a decrease in the others cosmic ray detectors.

Results

The correlation coefficients among percentage variations in CR decreases and average variations of fast forward shock parameters are showed in Table 1. $\Delta |B|$, ΔT , ΔN and ΔV are the difference between the average values of downstream and upstream regions. rN and rB represent the compression ratio between density and magnetic field strength in the downstream and upstream regions. V_s is the shock speed. According to Burlaga, 1995, supposing that the upstream and downstream are radials, so the shock speed can be calculated, relative to the Sun, through equation

$$V_s = \frac{N_2 V_2 - N_1 V_1}{N_2 - N_1}$$

Where the subscripts 1 and 2 indicate the average values in the upstream and downstream sides, respectively.

We verified that cosmic ray flux is mainly modulated by fast forward shocks. As seen in Figures 1 and 4, in association with the passage of a fast forward shock, the intensity of the interplanetary magnetic field rapidly increases and its fluctuation also becomes larger. As a result, cosmic rays are prevented from diffusing across the shock waves. Thus, a cosmic ray intensity decrease is formed behind a shock because cosmic rays are unable to diffuse into this space by the action of this shock wave sweeping out them (Wada, M. and Murakami, K., 1988).

Table 1 – Correlation coefficients between percentage variations in different comic ray detectors and average variations of fast forward shock parameters.

	rN	rB	$\Delta B $	ΔT	ΔN	ΔV	Vs
Δ % IMP 8		0.51	0.65	0.70	0.10	0.85	0.73
Δ % Thule	-0.03	0.43	0.60	0.62	-0.04	0.75	0.62
Δ % Climax	-0	0.50	0.55	0.56	-0.02	0.72	0.48
Δ % Beijing	0.08	0.55	0.60	0.55	-0.03	0.69	0.52
Δ % Hale	0.06	0.47	0.47	0.59	-0.06	0.64	0.42
Δ % Vmuon	-0.05	0.22	0.35	0.41	-0.16	0.48	0.34

There were 9 slow forward shocks in 2001 and in just 2 events we noted some decreases, whereas in the others 7 events the decreases were imperceptible. This is reasonable because the magnetic field diminish through the slow forward shocks (see figures 1 and 4). Therefore, the mechanism that impedes the cosmic rays diffusion across the fast forward shock does not occurs with slow forward shock.

One can see in Table 1 that the variations in magnetic field strength, proton velocity and temperature are associated with cosmic ray decreases. Due to the B gradient, the higher compression ratio rB the stronger is the shock and the higher scattered are the cosmic rays. According to Wada, M. and Murakami, K., 1988, the motion of cosmic rays is directly influenced by the magnetic field in the solar wind, but the velocity of the solar wind is most important in the cosmic ray modulation, because this magnetic field is transported by, "frozen-in", the solar wind.

Actually, the correlation with proton temperature occurs because T increases simultaneously with |B| and V, therefore, there is a non causal correlation among ΔT and CR decreases.

The correlation coefficients seem to be related to rigidity cutoff for ΔV and Vs. For these two shock parameters there is a clear tendency for its correlation coefficient to have higher values the lower is the rigidity cutoff.

The percentage variations from GSFC experiment on IMP 8 versus changes in proton velocity through forward shocks are presented in Figure 6. This relation has the higher correlation coefficient analyzed in this work.

Also it is possible to observe in Table 1 that the density parameters (rN and ΔN) are not related to cosmic ray decrease. Figure 8 displays an example of this with a graph of CR decreases in Climax neutron monitor and density compression ratio. One can see that this plot is largely scattered without any clear trend for a Δ % - rN relationship. A probably explanation for this different behavior may be related with the heliosphere particles transport equation suggests by Parker in 1965. This equation describes the modulation mechanisms of the cosmic rays intensity when entering the heliosphere (see Mursula and Usoskin, 2003). In the transport equation we noted that all terms are not directly related to the density, consequently, we have the observed weak correlation between density parameters and cosmic ray decreases.

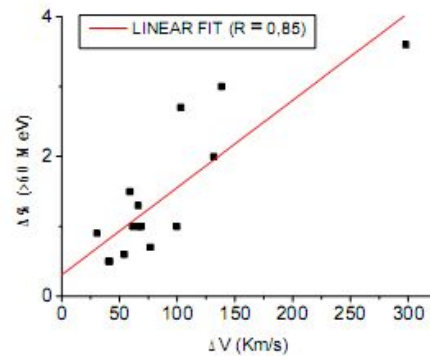


Figure 7 - Percentage variations from GSFC experiment on IMP 8 versus changes in proton velocity through forward shocks. This figure shows that the higher CR decrease is observed in regions of lower rigidity cutoff.

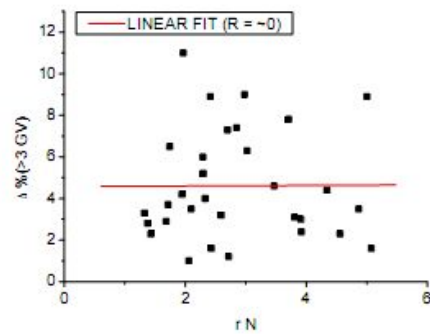


Figure 8 – Example of CR decreases versus density ratio. This figure does not show any association between those parameters, contrasting with what is shown in Figure 7.



Conclusions

The analyses of the correlation between cosmic ray decreases in 6 stations and fast forward shock parameters for several events occurred in 2001 are presented. It was verified that the modulation in cosmic ray flux caused by slow forward shocks is insignificant because the magnetic field diminish through the slow forward shocks. It was observed the presence of a relationship among $\Delta|B|$, ΔV , ΔT and cosmic ray decreases. The correlation coefficients seem to be related to rigidity cutoff for ΔV and V_s . For these two shock parameters there is a clear tendency for its correlation coefficient to have higher values the lower is the rigidity cutoff. On the other hand, for density parameters there are any association with cosmic ray decreases. A possible justification for this can be related with the transport equation of the cosmic rays modulation in the heliosphere, since this equation is independent of the density. Thus, it is reasonable to observe that there are any correlation between density parameters and cosmic ray decrease intensity.

Acknowledgments

The authors thank to ACE mission for the interplanetary data used. We also thanks to IMP 8 mission, University of Chicago ("National Science Foundation Grant ATM-9912341") and the Bartol Research Institute (University of Delaware) for cosmic ray data, and to the Brazilian Program PIBIC/INPE-CNPq/MCT.

References

- Augusto, C. R. A., 2006, Observação do excesso e deficit de muons no nível do mar em associação com eventos solares transients, Tese de Doutorado em Física, Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro, RJ.
- Barouch, E., and L. F. Burlaga, 1975, Causes of Forbush decreases and other cosmic ray variations, *Journal of Geophysical Research*, 80, 449
- Burlaga, L. F., 1995, *Interplanetary Magnetohydrodynamics*, Oxford University Press, New York.
- Cane, H. V., Richardson, I. G. and T. T. von Rosenvinge, 1993, Cosmic ray decreases and particle acceleration in 1978-1982 and the associated solar wind structure, *Journal of Geophysical Research*, 98, 13.295.
- Cane, H. V., Richardson, I. G. and T. T. von Rosenvinge, 1994, Cosmic ray decreases and shock structure: A multispacecraft study, *Journal of Geophysical Research*, 99, A11, 21.429-21.441.
- Cane, H. V., 2000, Coronal Mass Ejections and Forbush Decreases, *Space Science Reviews*, 93, 55-77.
- Da Silva, M. R., Contreira, D. B., Monteiro, S., Trivedi, N. B., Munakata, K., Kuwabara, T., Schuch, N. J., 2004, Cosmic ray muon observation at Southern Space Observatory – SSO (29.S, 53.W), *Astrophysics Space Science*, 290, 389-397, 2004.
- Da Silva, M. R., 2005, Variação da intensidade dos raios cósmicos em resposta a diferentes estruturas magnéticas do meio interplanetário, Dissertação de Mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos, Sp, Brasil.
- Echer, E., W. D. Gonzalez, L. E. A. Vieira, A. Dal Lago, F. L. Guarnieri, A. L. C. Gonzalez and N. J. Schuch, 2003, Interplanetary Shock Parameters during Solar Activity Maximum (2000) and Minimum (1995-1996), *Brazilian Journal of Physics*, 33, 1, 115-122.
- Echer, E., W. D. Gonzalez, F. L. Guarnieri, A. Dal Lago, and L. E. A. Vieira, 2005, Introduction to space weather, *Advances in Space Research*, 35, 855-865.
- Forbush, S. E., 1937, On the effects in the cosmic-ray intensity observed during the recent magnetic storm, *Physics Reviews*, 51, 1108-1109.
- Lockwood, J. A., 1971, Forbush decreases in the cosmic radiation, *Space Science Reviews*, 12, 658-715.
- Mursula, K., I. Usoskin, 2003, *Heliosphere Physics and Cosmic Rays*, Lectures Notes. American Geophysics Union, Washington, DC.
- Parker, E., 1965, The passage of energetic particles through interplanetary space. *Planetary and Space Science*, 13.
- Sheeley, N. R., R. A. Howard, M. J. Koomen, D. J. Michels, R. Schween, K. -H. Mulhauser and H. Rosenbauer, 1983, Associations between coronal mass ejections and interplanetary shocks, in *Solar Wind Five*, NASA Conf. Publ., CP-2280, 693.
- Sheeley, N. R., R. A. Howard, M. J. Koomen, D. J. Michels, R. Schween, K. -H. Mulhauser and H. Rosenbauer, 1985, Coronal mass ejections and interplanetary shocks, *Journal of Geophysical Research*, 90, 163.
- Schwenn, R., 1986, Relationship of coronal transients to interplanetary shocks – 3D aspects, *Space Science Reviews*, 44, 139-168.
- Simpson, J. A., 1954, Cosmic radiation intensity time variations and their origin, *Physics Reviews*, 94, 426-440.
- Singh, Y. P. and Badruddin, 2007, Effects of interplanetary magnetic clouds, interaction regions, and high-speed streams on the transient modulation of galactic cosmic rays, *Journal of Geophysical Research*, A02101, doi: 10.1029/2006JA011780.
- Wada, M., and K. Murakami, 1988, Cosmic rays in the interplanetary space. In: *Cosmic Ray Astrophysics*, edited by M. Oda, J. Nishimura and K. Sakurai, pp. 299-334. TERRAPUB, Tokyo,



23ª Jornada Acadêmica da UFSM – 2008.



INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE/MCT
CENTRO REGIONAL SUL DE PESQUISAS ESPACIAIS – CRS/INPE – MCT
OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL – OES/CRS/INPE – MCT

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA – UFSM
CENTRO DE TECNOLOGIA – CT/UFSM
LABORATÓRIO DE CIÊNCIAS ESPACIAIS DE SANTA MARIA – LACESM/CT/UFSM



Estudo do Decréscimo na Intensidade de Raios Cômicos Causado por Diferentes Estruturas Interplanetárias do Vento Solar

Lucas Ramos Vieira¹; Ezequiel Echer²; Nelson J. Schuch¹

[1] Laboratório de Clima Espacial e Previsão de Tempestades Magnéticas do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – LCEPTM/CRS/INPE – MCT em parceria com o Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria, Convênio: INPE – UFSM, Santa Maria, RS, Brasil;

[2] Divisão de Geofísica Espacial da Coordenação de Ciências Espaciais – DGE/CEA/INPE – MCT, São José dos Campos, SP, Brasil.

E-mail: lucasramos@acesm.ufsm.br

Introdução

O estudo do Clima Espacial preocupa-se em entender na teoria e prática o hostil ambiente do Geoespaço, criando procedimentos que tornem seguro a atividade tecnológica humana e sua presença no espaço [1].

Embora não se tenha ainda obtido a precisão desejada, um dos métodos mais eficazes na previsão de tempestades geomagnéticas é o que utiliza raios cósmicos secundários, tais como muons e nêutrons [2].

Por um curto período, plasma ejetado do Sol e choques criados pelas Ejeções Coronais de Massa (CMEs) propagando-se no meio interplanetário alteram a isotropia da densidade de raios cósmicos [3]. Esta breve redução da densidade dos raios cósmicos foi chamada de Decréscimo de Forbush (FD). Um modelo convencional é ilustrado na figura 1.

Segundo Cane (2000) [4], há dois tipos básicos de FD's: os recorrentes e os não-recorrentes. Os recorrentes ocorrem tanto em períodos de mínimo e máximo solar estando associados com regiões de interação co-rotantes (CIR). Já os FD's não recorrentes caracterizam-se por um súbito decréscimo na contagem dos raios cósmicos (geralmente em máximos solares), que podem ocorrer em duas etapas com posterior gradual recuperação como mostrado na figura 2.

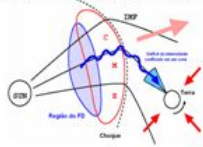


Fig. 1 - Propagação de uma CME e o FD [1].

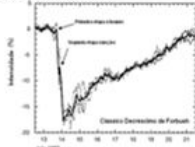


Fig. 2 - Porcentagem do decréscimo para três monitores de nêutrons (Deep River, Mt. Wellington, Kegeles) [4].

Se o choque interplanetário e sua CME passarem por um observador (monitor de nêutron), tem-se como resultado das observações um diagrama semelhante àquele do caminho A, da figura 3 onde as posições T1 e T2 representam o início e fim da ejeção, reconhecido como o FD clássico. No diagrama resultante das observações relativas ao caminho B o observador é atingido apenas pelo choque.

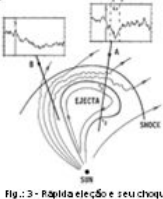


Fig. 3 - Rápida ejeção e seu choque. Os diferentes perfis de raios cósmicos [1].

Objetivos

- Dar seqüência aos estudos da tempestades magnéticas catalogadas por Da Silva (2005) [5] para os eventos ocorridos em 2001;
- Ampliar a faixa de energia analisada dos raios cósmicos. Variando de alguns MeV até dezenas de GeV;
- Investigar parâmetros do Vento Solar fornecidos pelos satélites ACE (Advanced Composition Explorer) e IMP-8 (Interplanetary Monitoring Platform) e por detectores de nêutrons e muons;
- Identificar e estudar eventos de choques interplanetários.

Instrumentação

Fontes dos dados analisados:
• Instrumentos MAG (Magnetometer) e SWEPAM (Solar Wind Electron Proton Alpha Monitor), ambos a bordo do satélite ACE. Esse satélite encontra-se orbitando o ponto Lagrangeano L1. Os dados possuem resolução temporal de 64 segundos;
• Monitores de nêutrons das estações Thule (Groelândia, 77.9° S, 166.6° E), McMurdo (Antártica, 77.9° N, 166.6° W), Newark (Delaware, 39.7°N, 75.7° W) e South Pole (Antártica, 90° S), conforme figura 4.

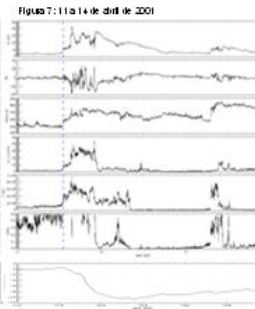
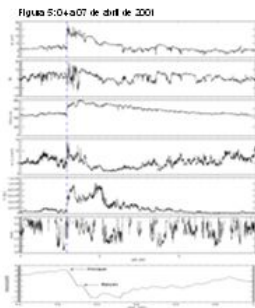


Fig. 4 - Monitores de Nêutrons. FONTE: CEPID. <http://cepid.nyu.edu/cepid/index.jsp>

Resultados

As figuras 5, 6 e 7 mostram em gráficos os resultados observacionais dos parâmetros do vento solar do satélite ACE, tais como o módulo e a componente z do campo magnético (B, Bz), velocidade (V), Temperatura (T), densidade de prótons (N) e o parâmetro beta que indica a razão entre as pressões cinética, $p_c = NkT$, e magnética, $p_m = B^2/2\mu_0$, cujos K e μ_0 são a constante de Boltzmann e a permeabilidade magnética no vácuo.

Nas linhas verticais pontilhadas percebem-se os efeitos do choque ao passar pelo satélite gerando quase que uma descontinuidade nos gráficos. No último painel de cada figura os gráficos apresentam a contagem média percentual de nêutrons observados nas estações de Thule, McMurdo, Newark e South Pole. Os FD's são evidentes.



Conclusões

Nos dias 04 e 08 de abril, a estrutura que atingiu a Terra possivelmente apresentava o choque e a ejeção (perfil formado pelo caminho A, na fig. 3). No dia 11 é mais provável que tenha ocorrido apenas o choque interplanetário (perfil do caminho B) devido a extensa fase de recuperação do FD. O choque pode ter sido gerado por uma rápida CME, o que causou um decréscimo de aproximadamente 12% na contagem média de nêutrons observados.

Posteriormente, pretende-se utilizar dados de muons e do satélite IMP-8 para um estudo de classificação mais extensivo das estruturas.

- Referências**
- [1] Echer, E. et al. Introduction to space weather. *Advances In Space Research*, v. 35, p. 865 – 866, 2005.
 - [2] Da Silva, B. R. Variação da Intensidade dos Raios Cósmicos em Resposta a Diferentes Estruturas Magnéticas do Meio Interplanetário, 2005. Dissertação (Mestrado em Geofísica Espacial) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP.
 - [3] Bleier, J. W.; Borshenko, E.; Evenson, P.; Richter, E. O.; Kalenich, R. *Cosmic Rays and Earth - A Summary*. *Space Science Reviews*, v. 93, p. 1 – 9, 2000.
 - [4] Cane, R. V. Coronal Mass Ejections and Forbush Decreases. *Space Science Reviews* 93: 65-77, 2000.
 - [5] Ruffolo, D.; Bleier, J. W.; Evenson, P.; Pyle, R. Precursor of Geomagnetic Storm and Space Weather Prediction. *Proceedings of the 26th International Cosmic Ray Conference*, August 17-25, 1999, Salt Lake City, Utah, USA. Under the auspices of the International Union of Pure and Applied Physics (IUPAP), Volume 6. Edited by D. Heida, M. Salamov, and S. Orlov, p.440.
- Agradecimentos**
- > Ao Programa PIB/INPE – CNPq/MCT pela aprovação do Projeto de Pesquisa;
 - > Ao pessoal técnico das missões espaciais dos satélites ACE por disponibilizarem os dados utilizados neste trabalho;
 - > A University of Delaware, Bartol Research Institute, no laboratório de nêutron monitor;
 - > A Comissão Organizadora da 23ª Jornada Acadêmica Integrada da UFSM pela oportunidade da apresentação do trabalho.





ANEXO C - CERTIFICADOS





CERTIFICADO

Certificamos que

LUCAS RAMOS VIEIRA

participou da 23ª Jornada Acadêmica Integrada da Universidade Federal de Santa Maria, de 03 a 06 de novembro de 2008, como APRESENTADOR do trabalho

ESTUDO DO DECRÉSCIMO NA INTENSIDADE DE RAIOS CÔSMICOS CAUSADO POR DIFERENTES ESTRUTURAS INTERPLANETÁRIAS DO VENTO SOLAR

23ª JORNADA ACADÊMICA INTEGRADA

RESGATANDO O PASSADO E PROJETANDO O FUTURO

03 04 05 06

03 NOVEMBRO 2008

João Alfredo Carvalho Lopes
DIRETOR
GABINETE DE PROJETOS/CCNE

APOIO

BANCO DO BRASIL

REALIZAÇÃO

Universidade Federal de Santa Maria
1960



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS





Ministério da
Ciência e Tecnologia

CERTIFICADO DE CONCLUSÃO

*Certificamos que **LUCAS RAMOS VIEIRA** concluiu, com aproveitamento, o “**XI CURSO DE INTRODUÇÃO À ASTRONOMIA E ASTROFÍSICA**”, organizado e ministrado pelo INPE, no período de 14 a 18 de julho de 2008.*

São José dos Campos, 18 de julho de 2008.


Valéria Cristina dos Santos Ribeiro
Chefe do Serviço de Gestão de Competências


Vera Lucia Justo Perez
Coordenadora de Recursos Humanos
Interina



CONTEÚDO PROGRAMÁTICO:

Astronomia no dia-a-dia: - Nascimento da Astronomia, - Percepção e Contagem do tempo, - Dias e Noites, - Estações do ano, - Fases da Lua, - Eclipses, - Marés dos oceanos.

Astrofísica Observacional: - Espectro eletromagnético, - Efeito da atmosfera terrestre na observação dos astros, - Telescópios e detectores.

Sistema Solar: - Introdução Histórica, - Sol, planetas e corpos menores, - Dinâmica, - Formação, - Outros Sistemas Planetários.

O Sol: - Estrutura do Sol, - Atividade Solar, - Explosões Solares.

Estrelas: - Cor e brilho das estrelas, - Interiores estelares, - Geração de energia nuclear, - Nascimento, vida e morte das estrelas.

Estágios Finais de Estrelas: - Anãs brancas, - Estrelas de nêutrons, - Buracos negros.

Formação de Estrelas: - Regiões de formação de estrelas, - Como nascem as estrelas, - Interação com o meio circundante.

Galáxias/Cosmologia: - Introdução histórica, - Galáxias: a nossa vizinhança cósmica, - A escala de distância cosmológica, - O Universo em que vivemos, - Suporte observacional do Big Bang, - Futuro do Universo.

Pesquisa e Pós-Graduação em Astrofísica no INPE: - Meio Interplanetário e física solar, - Estrelas, - Pulsares e Buracos Negros, - Galáxias, - Raios Cósmicos, - Cosmologia, - Instrumentação utilizada.

Atividades Extras:

- Observação do céu noturno com telescópio.
- Oficinas temáticas: - Orientação Geográfica e Relógio de Sol, - Medidas de Radiação Luminosa, - O Sistema Solar em Escala, - Campos Magnéticos do Sol e Manchas Solares, - As Cores das Estrelas, - Medindo a Expansão do Universo.

INSTRUTORES: ANA MARIA ZODI, CARLOS ALEXANDRE WUENSCHER DE SOUZA, FRANCISCO JOSÉ JABLONSKI, JOSÉ CARLOS NEVES DE ARAÚJO, JOSÉ ROBERTO CECATTO, PAULO CÉSAR RODRIGUES PEREIRA.

CARGA HORÁRIA:


- 40 horas -

MENÇÃO:

APROVADO

REGISTRO

INPE:

Número: 13489	Folha: 42
Livro: 06	
 Danusa Aparecida Batista Caramello Assistente em Ciência & Tecnologia Serviço de Gestão de Competências	