



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

ANÁLISE DAS ORIGENS SOLARES E INTERPLANETÁRIAS DE TEMPESTADES GEOMAGNÉTICAS INTENSAS

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

Cristian Willian Saueressig da Silva (UFSM, Bolsista PIBIC/ INPE - CNPq/MCT)
E-mail: cristian@lacesm.ufsm.br

Dr. Walter Demetrio Gonzalez-Alarcon (DGE /CEA/INPE - MCT, Orientador)
E-mail: gonzalez@dge.inpe.br

Dr. Alisson Dal Lago (DGE/CEA/INPE - MCT, Co-Orientador)
E-mail: dallago@dge.inpe.br

Dr. Nelson Jorge Schuch (CRSPE/INPE - MCT, Co-Orientador)
E-mail: njschuch@lacesm.ufsm.br

Santa Maria, Julho de 2006

DADOS DE IDENTIFICAÇÃO:

Título:

**ANALISE DAS ORIGENS SOLARES E INTERPLANETÁRIAS DE
TEMPESTADES GEOMAGNÉTICAS**

Processo CNPq N^o: 115530/2005-3

Bolsista:

Cristian Willian Saueressig da Silva

Acadêmico do Curso de Física Licenciatura Plena

Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria – LACESM/CT - UFSM

Universidade Federal de Santa Maria – UFSM

Orientador:

Dr. Walter Demetrio Gonzalez-Alarcon

Divisão de Geofísica Espacial

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE/MCT

Co-Orientadores:

Dr. Alisson Dal Lago – DGE/INPE-MCT

Divisão de Geofísica Espacial

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE/MCT

Dr. Nelson Jorge Schuch

Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRSPE/INPE - MCT

Local de execução do projeto:

- Laboratório de Clima Espacial e Previsão de Tempestades Geomagnéticas do CRSPE/INPE - MCT
- Observatório Espacial do Sul, OES/CRSPE/INPE – MCT, São Martinho da Serra, RS;
- Projeto desenvolvido no âmbito da Parceria: INPE/MCT – UFSM, via Laboratório de Ciência Espacial de Santa Maria – LACESM/CT - UFSM

Estudantes Colaboradores:

- Doutorando Marlos Rockenbach da Silva – DGE/INPE-MCT
- Acadêmico Jairo Francisco Savian – LACESM/CT/UFSM
- Acadêmico Carlos Roberto Braga – LACESM/CT/UFSM
- Acadêmico Samuel Martins da Silva – LACESM/CT/UFSM
- Acadêmico Luiz Cezar Nunes dos Santos – LACESM/CT/UFSM

Pesquisadores da cooperação Brasil-Japão-EUA em Clima Espacial diretamente envolvidos no projeto:

- Dr. Kazuoki Munakata - Physics Department, Faculty of Science, Shinshu University - Japão
- Dr. Takao Kuwabara - Bartol Research Institute, University of Delaware – EUA
- Dr. John W. Bieber - Bartol Research Institute, University of Delaware - EUA

“Transportai um punhado de terra todos os dias e fareis uma montanha.”

(autor desconhecido)

“Tentar e falhar é, pelo menos, aprender. Não chegar a tentar é sofrer a inestimável perda do que poderia ter sido.”

(Geraldo Eustáquio)

Agradecimentos

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer a Deus por ter me dado a vida.

A meus pais, Ari e Neila, por ter sido meus primeiros mestres: os professores do certo e do errado, do aprender a caminhar, do falar, por me apoiarem e confiarem em mim.

Agradeço ao meu irmão Fabio e aos demais familiares e amigos, que sempre estão torcendo por mim.

Agradeço ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq pelo suporte financeiro.

Agradeço a Universidade Federal de Santa Maria, UFSM, pelo suporte técnico.

Agradeço ao Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais - CRSPE/INPE-MCT, ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE e ao Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE, pela infra-estrutura disponibilizada para a realização deste trabalho.

Agradeço aos meus colegas de Laboratório de Clima Espacial: Carlos Roberto Braga, Samuel Martins da Silva, Luiz Cezar Nunes dos Santos, Vânia Fátima Andrioli (no tempo em que era membro deste laboratório), pela amizade e apoio técnico, e em especial a Jairo Francisco Savian, que me apresentou e mostrou o CRSPE/INPE-MCT, explicou o funcionamento deste Laboratório, deu as primeiras instruções para desenvolvimento do Projeto a qual desenvolvi, por ser um verdadeiro amigo.

Agradeço aos demais alunos que atuam na Parceria: INPE/MCT – UFSM através do Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria – LACESM/CT – UFSM e do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRSPE/INPE-MCT pela amizade.

Agradeço ao meu Orientador, Dr. Walter Demétrio Gonzalez-Alarcon, pela oportunidade de trabalhar neste Projeto de Iniciação Científica.

Agradeço ao Dr. Alisson Dal Lago, pelo apoio técnico, pela atenção, pelas sugestões e orientação no desenvolvimento deste Projeto de Iniciação Científica e por sua amizade.

Agradeço ao Dr. Nelson Jorge Shuch, pelas oportunidades criadas a mim, pela amizade, pela orientação e pelo respeito com que me tratou.

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo inicial fazer uma revisão da bibliografia especializada acerca da fenomenologia relativa às ejeções de massa coronal (CMEs, do inglês “*Coronal Mass Ejections*”), como por exemplo teses e dissertações produzidas pela linha de pesquisa em Magnetosfera-Heliosfera da Divisão de Geofísica Espacial - DGE/CEA/INPE - MCT. Eventos de CMEs solares com as estruturas correspondentes nas proximidades da Terra, foram analisados utilizando observações do satélite ACE (*Advanced Composition Explorer*) da NASA, que fornece observações de plasma e campo magnético no meio interplanetário. Sob essa ótica ampla das relações Sol-Terra, foram analisados os efeitos dessas estruturas solar-interplanetárias na atividade geomagnética utilizando índices geomagnéticos, e os efeitos nos raios cósmicos de alta energia (muons) observados em São Martinho da Serra pelo Telescópio Protótipo Multi-direcional de Muons (8 detectores dispostos em duas camadas 2 x 2), em operação no Observatório Espacial do Sul - OES/CRSPE/INPE – MCT desde 2001, ampliado em dezembro de 2005 (56 detectores dispostos em duas camadas 4 x 7). Para a análise dos eventos e efeitos nos muons, foi necessário um aprendizado do ambiente de programação IDL, no qual foram desenvolvidas rotinas para visualização gráfica dos dados. Com este trabalho de Pesquisa desenvolvido foi possível: aprendizado de conceitos físicos relacionados às relações Sol-Terra, em especial em relação às ejeções de massa coronal observadas no Sol, sua Física e suas técnicas de observação e análise; aprimoramento dos conhecimentos acerca da Física da Magnetosfera e do Meio Interplanetário, de raios cósmicos; confecção de gráficos para visualização dos parâmetros interplanetários, geomagnéticos e de raios cósmicos, relacionados a distúrbios geomagnéticos.

ABSTRACT

The first objective of this work was to perform a literature review on the references that had specific approaches to the phenomenology related to Coronal Mass Ejections (CMEs), as for example thesis and dissertations produced by the Magnetosphere-Heliosphere research line from the Division of Space Geophysics - DGE/CEA/INPE - MCT. Events of solar CMEs with the correspondent structures in the proximities of the Earth were analyzed using observations from the ACE satellite (Advanced Composition Explorer) from NASA, which provides observations of plasma and magnetic field in the interplanetary environment. Under this wide view of Sun-Earth relations, an analysis was made on the effects of these solar-interplanetary structures in the geomagnetic activity using geomagnetic indices, as well as the effects on the cosmic rays of high energy (muons) observed in São Martinho da Serra by the Muons Multidirectional Prototype Telescope (8 detectors placed in two layers 2 x 2), in operation in the Space Observatory from the South - OES/CRSPE/INPE - MCT since 2001, updated in December 2005 (56 detectors placed in two layers 4 x 7). For the analysis of the events and effects on the muons, it was necessary to study the IDL programming language, developing routines to the graphic visualization of the data. With the development of this study, it became possible to: learn about physical concepts on the Sun-Earth relations, especially in relation to the coronal mass ejections observed in the Sun, its physics and the techniques for observation and analysis; improve the previous knowledge about Physics involving the Magnetosphere, the Interplanetary Environment and cosmic rays; the creation of graphics to visualize interplanetary, geomagnetic and cosmic rays parameters, related to geomagnetic disturbances.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO	11
CAPÍTULO 2 ATIVIDADE SOLAR, SUA INFLUÊNCIA NO MEIO INTERPLANETARIO E SEUS EFEITOS GEOMAGNÉTIOS.....	13
2.1 Introdução.....	13
2.1.1 O Sol.....	13
2.1.2 O Vento Solar.....	16
2.1.3 O Campo Magnético Interplanetário.....	16
2.2 Ciclo Solar de 11 anos.....	17
2.3 Ejeção de Massa Coronal	19
2.4.1 Assinatura das Ejeções de Massa Coronal no Vento Solar.....	20
2.4.2 Relação entre EMC rápidas e Ondas de Choque no Vento Solar	21
2.4.3 Nuvens Magnéticas	21
2.5 Atividade Solar e os Efeitos Geomagnéticos	22
2.5.1 Tempestades Geomagnéticas	23
2.5.2 Origem Interplanetária das Tempestades Geomagnéticas	23
2.5.3 Tempestades causadas por Nuvens Magnéticas.....	25
2.5.4 Tempestades causadas por Choques	26
CAPÍTULO 3 RAIOS CÓSMICOS	27
3.1 Introdução.....	27
3.1.1 Raios Cósmicos Primários	28
3.1.2 Raios Cósmicos Secundários	29
PREVISÃO DO CLIMA ESPACIAL UTILIZANDO RAIOS CÓSMICOS.....	31
3.2 Introdução.....	31
3.2.1 Anisotropia Precursora do Cone de Perdas	31
CAPÍTULO 4 INSTRUMENTAÇÃO	33
4.1 Satélite ACE.....	33
4.2 Magnetômetros	34
4.3 Telescópio Cintilador de Muons (TCM).....	36
CAPÍTULO 5 METODOLOGIA	39
5.1 Gráficos dos dados do satélite ACE (parâmetros interplanetários).....	40
5.2 Gráfico do índice Dst	44
5.3 Gráfico das Contagens (%) Direcionais de Muons	46
CAPÍTULO 6 CONCLUSÕES	52
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	53
ANEXOS.....	56
ANEXO 1	57
ANEXO 2	72

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2.1 – Estrutura do interior solar e atmosfera. FONTE: Adapado de Kivelson e Russel (1995, p.225).	15
FIGURA 2.2– Estrutura do interior solar e atmosfera. FONTE: http://www.nascom.gov/	15
FIGURA 2.3 – A magnetosfera protege a superfície da Terra das partículas carregadas do vento solar.....	16
FONTE: http://www.nascom.gov/	16
FIGURA 2.4 – Apresentação esquemática do campo Magnético Interplanetário. FONTE: http://nedwww.ipac.caltech.edu/level5/March03/Vallee2/Vallee3_2.html	17
FIGURA 2.5 – Gráfico do Ciclo Solar dado em anos, mostra o Ciclo Solar de 11 anos. FONTE: Modificado de http://www.sec.noaa.gov/SolarCycle/ e http://helios.gsfc.nasa.gov/ace/gallery.html	18
FIGURA 2.6 – Ciclo da atividade solar de 1750 à 2000. FONTE: Modificado de http://www.oulu.fi/~spaceweb/textbook/cycle.html	19
FIGURA 2.7 – Sequência de imagens mostrando a ocorrência de uma CME observada pelo Coronógrafo LASCO C3 a bordo do satélite SOHO. FONTE: http://sohowww.nascom.nasa.gov	19
FIGURA 2.8 – Geometria de uma Nuvem Magnética. FONTE: Adaptado de Burlaga et al. (1990, p.376).....	22
FIGURA 2.9 – Acoplamento entre Sol, Meio Interplanetario e Magnetosfera Terrestre. FONTE: Adaptado de Tsurutani e Gonzalez 1997, p. 82.....	24
FIGURA 2.10 - Composição entre a observação de uma Nuvem Magnética observada em 18-20 de outubro de 1995 nas proximidades da Terra e uma ilustração do cenário solar-interplanetário relacionado. FONTE: Dal Lago et al., 2001, apresentação no VI COLAGE.	26
FIGURA 3.1 – Restos da supernova G21.5-0.9 na constelação de Scutum, possível origem dos raios cósmicos. FONTE: http://www.lip.pt/experiments/trc/oqsao/oqsao1.html	28
FIGURA 3.2 – Representação esquemática do desenvolvimento da radiação cósmica secundária na Atmosfera Terrestre como resultado da interação de uma partícula primária incidente com os núcleos dos átomos da Atmosfera superior. FONTE: http://www.bartol.udel.edu	30
FIGURA 4.1 – ACE (Advanced Composition Explorer) FONTE: http://helios.gsfc.nasa.gov/ace_spacecraft.html	34

FIGURA 4.2 – Posição das estações de medida do campo magnético na superfície terrestre utilizadas no calculo do índice Dst. FONTE – http://swdcwww.kugi.kyoto-u.ac.jp/dst2/onDstindex.html	35
FIGURA 4.3 – Protótipo do telescópio cintilador de muons instalado no prédio principal do Observatório Espacial do Sul - OES/CRPSE/INPE – MCT em São Martinho da Serra.....	37
FIGURA 4.4 – Comparação fotografica de vários angulos do Telescopio Cintilador de Muons expandido no Observatório Espacial do Sul do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – OES/CRSPE/INPE – MCT, em São Martinho da Serra, RS..	38
FIGURA 5.1 – Ambiente de programação IDL.....	39
FIGURA 5.2 – Visualização dos dados do meio interplanetário do satélite ACE.....	40
FIGURA 4.3 – Parâmetros do meio interplanetário: intensidade do campo magnético (B), as componentes Z, Y e X (Bz), (By) e (Bx) respectivamente, a velocidade das partículas (V), a densidade de prótons (N), e a temperatura de prótons (T).	43
FIGURA 5.4 – Visualização dos dados do índice Dst.	44
FIGURA 5.5 – Gráfico do índice Dst.	46
FIGURA 5.6 – Visualização dos dados das contagens (%) direcionais de muons.	47
FIGURA 5.7 – Gráfico das contagens (%) direcionais de muons: N (Norte), S (Sul), E (Leste), W (Oeste), NE (Nordeste), NW (Noroeste), SE (Sudeste), SW (Sudoeste) e V (Vertical).....	50
FIGURA 5.8 – Parâmetros do meio interplanetário: intensidade do campo magnético (B), as componentes Z, Y e X (Bz), (By) e (Bx) respectivamente, a velocidade das partículas (V), a densidade de prótons (N), e a temperatura de prótons (T), Dst.....	51

LISTA DE TABELAS

TABELA 2.1 - Características do Sol.

FONTE: <http://astro.if.ufrgs.br/esol/esol.htm>..... 14

TABELA 2.2 – Classificação da intensidade das Tempestades Geomagnéticas..... 23

TABELA 4.1 – Coordenadas das estações de medidas do campo magnético utilizadas
no calculo do índice Dst..... 35

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

A variabilidade solar está intimamente relacionada a distúrbios no geoespaço, afetando telecomunicações, causando danos em sistemas tecnológicos tanto espaciais, quanto terrestres, que envolvem grandes quantidades de recursos financeiros. Por outro lado, o cenário das relações Sol-Terra é fascinante do ponto de vista científico, e tem atraído a atenção da comunidade científica há vários séculos. Vivemos um momento histórico singular, no qual esforços internacionais combinados têm proporcionado um conjunto bastante amplo de observações *in situ* e sensoriamento remoto do geoespaço, do meio interplanetário e do Sol, possibilitando uma visão global de seus processos físicos. É, portanto, de fundamental importância investir no estudo desta área do conhecimento, recentemente chamada “Clima Espacial” (Dal Lago, 2003).

Episódios de extraordinárias flutuações do Campo Magnético Terrestre foram denominados “Tempestades Geomagnéticas” ou “Tempestades Magnéticas” na metade do século XIX (Gonzalez et al., 1994). Sua assinatura característica é um decréscimo na componente H, horizontal, do Campo Magnético Terrestre, durando cerca de algumas dezenas de hora (Kamide et al., 1998). As ejeções de massa coronal solares (CMEs, do inglês “*Coronal Mass Ejections*”), são as principais causadoras das Tempestades Magnéticas Intensas na Terra (Gosling et al., 1990, 1991) Essas ejeções podem possuir fortes componentes de campo magnético anti-paralelo ao campo geomagnético, proporcionando maior eficiência na transferência de sua energia para dentro da magnetosfera terrestre (Gonzalez et al., 1999), causando as Tempestades e Subtempestades Geomagnéticas. Observações de plasma e campo magnético feitas pelo satélite ACE (*Advanced Composition Explorer*), nas proximidades da Terra, permitem a identificação da estrutura interplanetária das ejeções de massa coronal, bem como de fenômenos relacionados. Utilizando instrumentação de superfície (Rede Internacional de Detectores de Muons) também é possível estudar as CMEs solares, quando da sua aproximação a Terra, devido ao efeito de blindagem dos raios cósmicos galáticos. Munakata et. al (2000) mostraram que é possível observar a aproximação de uma CME solar a Terra com até 8 horas de antecedência.

No Capítulo 2 deste trabalho é apresentado uma revisão bibliográfica dos conceitos físicos Solares, sua influência no Meio Interplanetário e seus efeitos geomagnéticos. O Capítulo 3 faz uma apresentação sobre raios cósmicos, suas principais características, sua fonte, sua importância em relação ao estudo do Clima Espacial. A Instrumentação utilizada para o desenvolvimento deste trabalho é apresentada no Capítulo 4. O Capítulo 5 tem por objetivo apresentar a Metodologia usada com o software IDL para visualizar graficamente parâmetros interplanetários, geomagnéticos e de raios cósmicos, relacionados a distúrbios geomagnéticos. Por fim, o Capítulo 6 apresenta as conclusões chegadas ao término deste trabalho de Pesquisa.

CAPÍTULO 2

ATIVIDADE SOLAR, SUA INFLUÊNCIA NO MEIO INTERPLANETARIO E SEUS EFEITOS GEOMAGNÉTICOS

2.1 Introdução

O meio interplanetário é definido como sendo a região que se estende do Sol até o Meio Interestelar. Nessa região ocorrem inúmeros fenômenos físicos, os quais têm como origem o sol e sua atividade, conseqüências diretas dos processos físicos internos que nele ocorrem. Tais processos, que envolvem instabilidades de plasma e campos magnéticos, são ainda pouco entendidos e estão relacionados às causas das emissões transientes solares, cuja ocorrência varia com o chamado Ciclo de Atividade Solar de 11 anos. As estruturas interplanetárias estão intimamente relacionadas a fenômenos geomagnéticos, como as Tempestades Geomagnéticas.

2.1.1 O Sol

O Sol, nossa fonte de luz e de vida, é a estrela mais próxima de nós e a que melhor conhecemos. Basicamente, é uma enorme esfera de gás incandescente, em cujo núcleo acontece a geração de energia através de reações termo-nucleares. Há milhares de anos o homem já identificava as principais características do Sol, como as manchas Solares Escuras e a rotação do disco solar. A Tabela 2.1 mostra algumas das características do Sol.

TABELA 2.1 - Características do Sol.

Massa	$1,989 \times 10^{30}$ Kg
Raio Equatorial	696,000km
Raio Médio	109,20 Raios Terrestres
Densidade Média	1,41 g/cm ³
Densidade Central	1,62 g/cm ³
Período de Rotação Equatorial	609 horas (~ 25 dias)
Velocidade de Escape	618,02km/s
Distância Média à Terra	149,6 milhões de km
Luminosidade	$3,83 \times 10^{33}$ ergs/s
Temperatura Média da Superfície	~5500°C
Composição Química Principal	Hidrogênio, Hélio, Oxigênio, Carbono.

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

O Sol é constituído pelo seu interior e pela sua atmosfera. O interior solar possui um núcleo radioativo e um envelope convectivo que pode chegar até a superfície, ele é formado pelas seguintes regiões: **Núcleo**, se estende até 0,25 raios solares onde a energia é gerada através de reação de fusão nuclear, apresentando uma temperatura, T, da ordem de $1,5 \times 10^7$ K e densidade $\rho \sim 1,6 \times 10^5$ m⁻³; **Zona Radioativa**, se estendendo no intervalo de 0,25 a 0,75 raios solares, onde a energia gerada no núcleo é dissipada através do processo de difusão radiativa, tendo uma temperatura da ordem de 8×10^6 K; **Zona de Convecção**, estendendo-se no intervalo de 0,75 a 1 raio Solar, com temperatura no intervalo de 5×10^5 K a 6600 K e onde a energia é dissipada sob a forma de convecção. A atmosfera solar, em função de suas características e processos físicos, é convencionalmente constituída de três grandes regiões: **Fotosfera**, é a camada visível a olho do Sol a olho nu, tem espessura em torno de $0,5 \times 10^6$ m, e temperatura no intervalo de 6600 K; **Cromosfera**, com espessura em torno de $2,5 \times 10^6$ m, temperatura no intervalo de 4300 a 10^6 K e densidade 10^{-11} m⁻³; **Coroa**, é a parte mais externa da Atmosfera solar e se estende por milhões de quilômetros a partir do sol, apresenta uma temperatura na ordem de 10^6 K. A Coroa é a região da Atmosfera Solar de maior importância para os fenômenos físicos do Meio Interplanetário. Através da “evaporação” de seu material, constitui o Vento Solar,

que arrasta ao Campo Magnético Solar através do Meio Interplanetário. Ejeções transientes lançam a altas velocidades, da ordem de 2000km/s, grandes constituintes de material constituinte da Coroa. Ejeções são fortemente relacionadas a fenômenos geomagnéticos, tais como Tempestade Geomagnética, e à variabilidade do “Clima Espacial”.

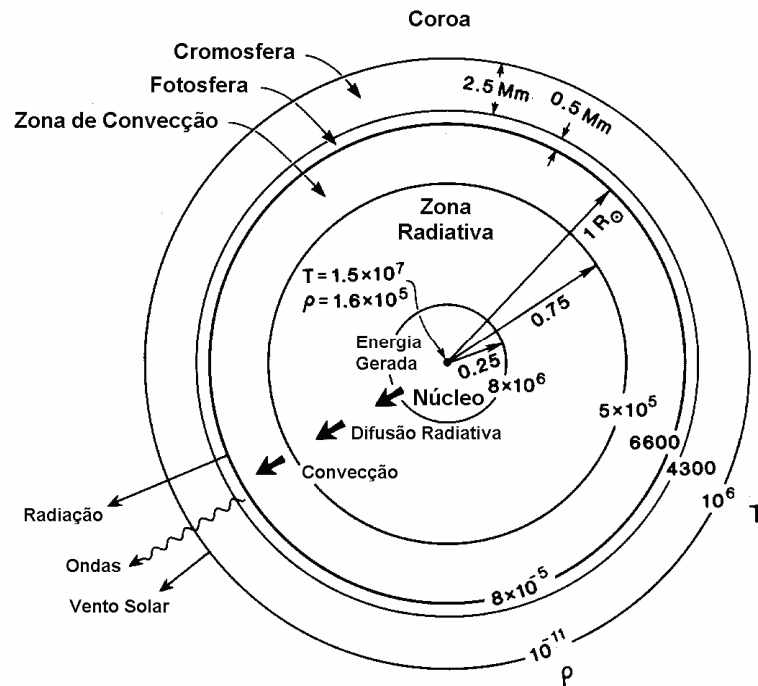


FIGURA 2.1 – Estrutura do interior solar e atmosfera.

FONTE: Adaptado de Kivelson e Russel (1995, p.225).

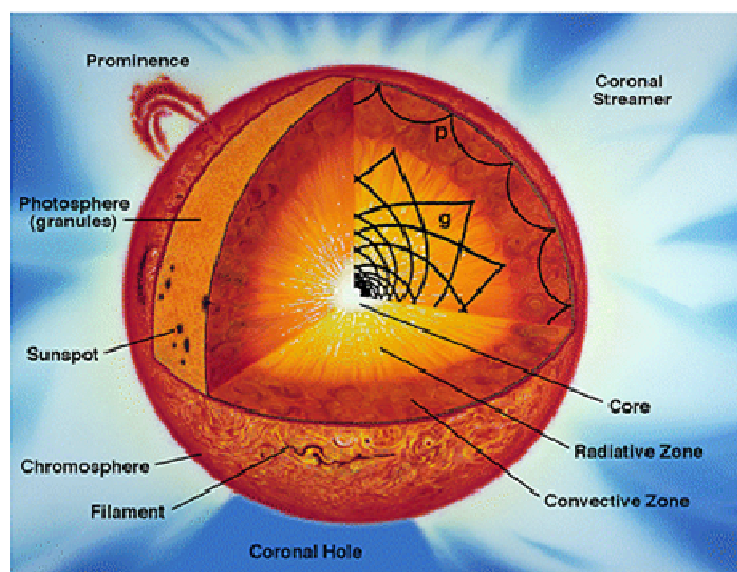


FIGURA 2.2– Estrutura do interior solar e atmosfera.

FONTE: <http://www.nascom.gov/>

2.1.2 O Vento Solar

O vento solar é, basicamente, um gás de prótons e elétrons que flui passando pela Terra com uma velocidade média de 400-500 km/s e uma densidade média de prótons e elétrons de 5cm^{-3} (Brandt, 1970).

E. N. Parker em 1958 formulou um modelo dinâmico com um fluxo de partículas saindo da base da coroa. Este modelo, conhecido por Modelo de Parker, propôs que o gradiente de pressão dos constituintes da Coroa Solar continuamente acelera o fluxo de partículas para fora do Sol. Este fluxo, chamado “Vento Solar”, atinge velocidades supersônicas e chega a Terra velocidade de algumas centenas de quilômetros por segundo (Parks, 1951).

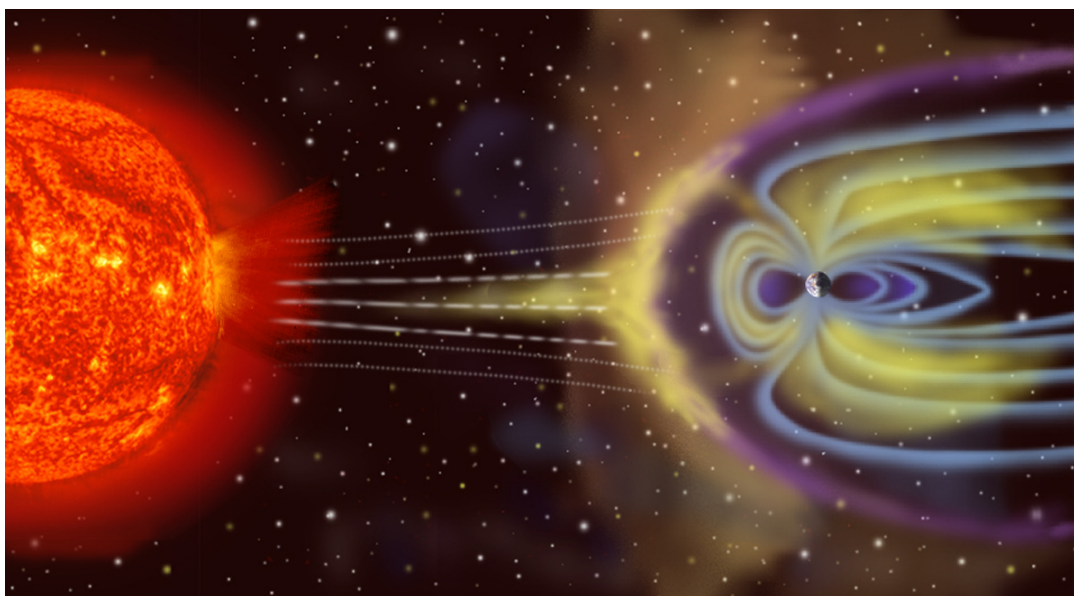


FIGURA 2.3 – A magnetosfera protege a superfície da Terra das partículas carregadas do vento solar.

FONTE: <http://sec.gsfc.nasa.gov/popscise.jpg>

2.1.3 O Campo Magnético Interplanetário

O Sol possui um campo magnético, cuja intensidade é $10^{-4}T$ na superfície da fotosfera. Este campo é aproximadamente dipolar (Pneuman e Kopp, 1970), porém devido ao Vento Solar ser realmente condutor ele é transportado “congelado” para grandes distâncias, constituindo o chamado Campo Magnético Interplanetário – CMI, com intensidade de aproximadamente 5nT nas circunvizinhanças da Terra.

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

A região onde o CMI domina os processos é conhecida como Heliosfera.

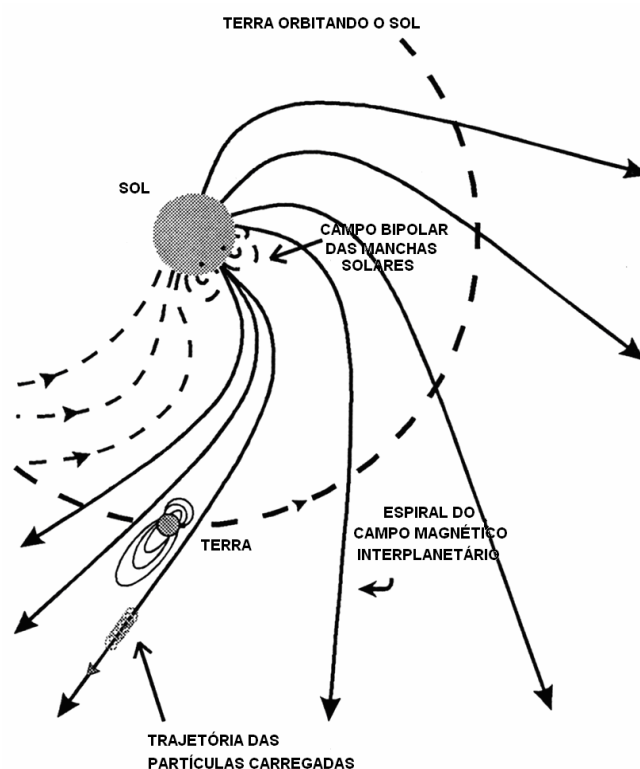


FIGURA 2.4 – Apresentação esquemática do campo Magnético Interplanetário.

FONTE:

http://nedwww.ipac.caltech.edu/level5/March03/Vallee2/Vallee3_2.html

2.2 Ciclo Solar de 11 anos

A atividade solar varia com um período de 11 anos, e como consequência, as estruturas do Meio Interplanetário e o Campo Magnético Interplanetário também variam com este mesmo período. O Ciclo solar de 11 anos é medido tradicionalmente pelo número de manchas solares.

No ciclo solar podem ser identificadas quatro fases: fase de mínimo solar, fase ascendente, fase de máximo solar, e fase descendente.

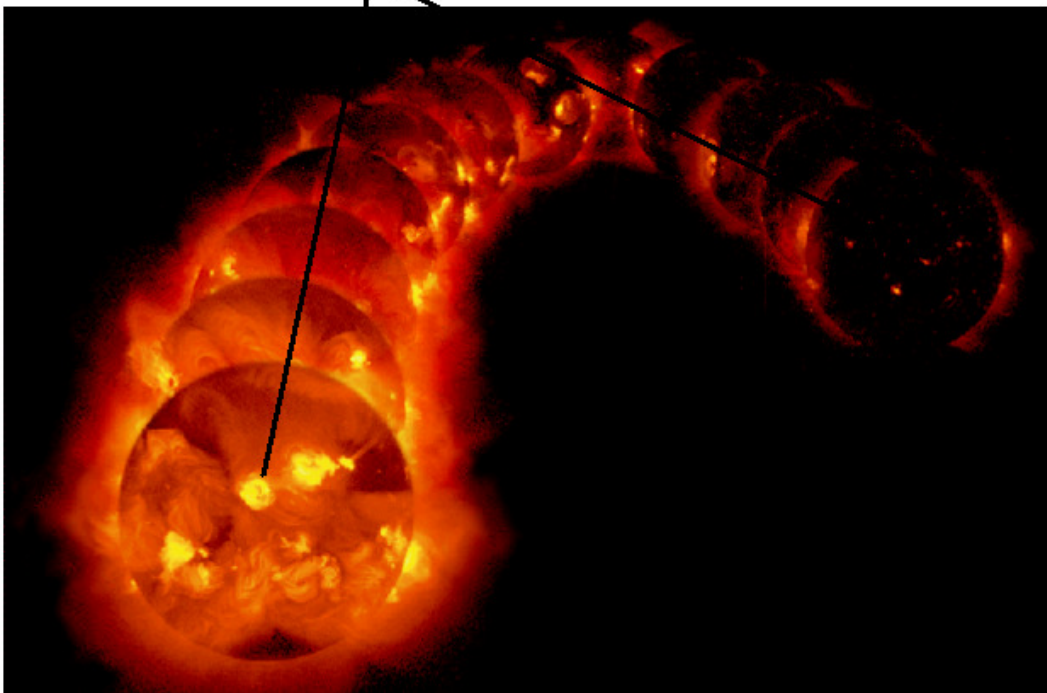
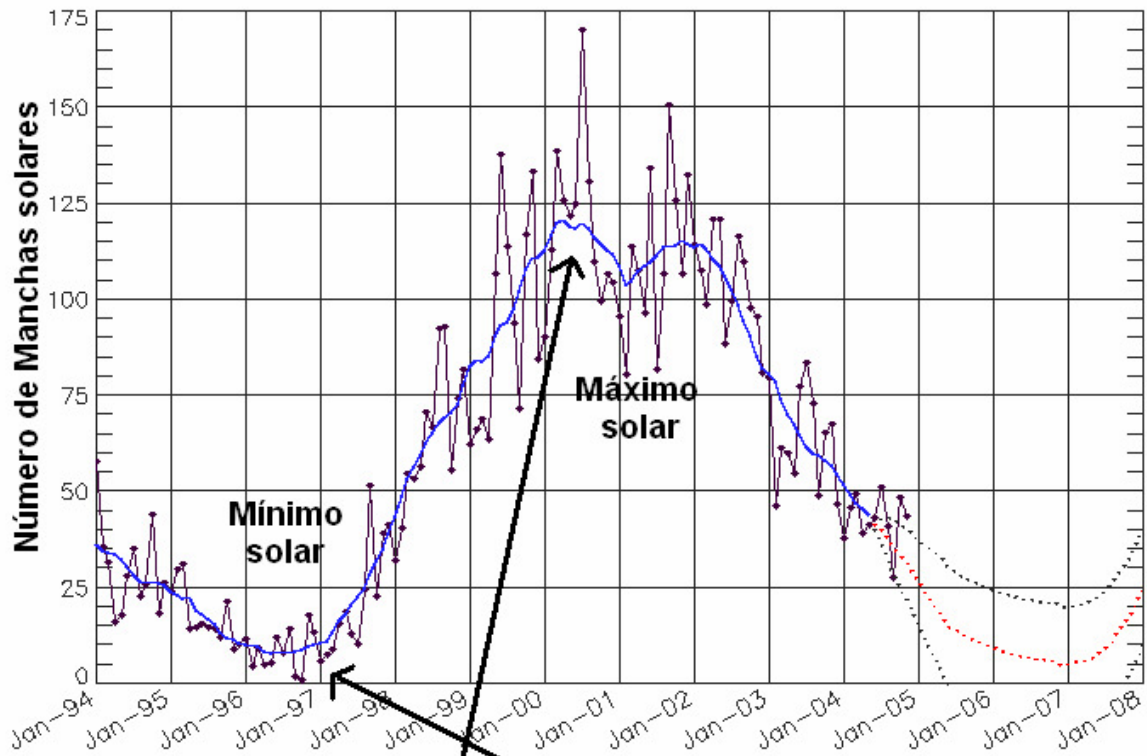


FIGURA 2.5 – Gráfico do Ciclo Solar dado em anos, mostra o Ciclo Solar de 11 anos.

FONTE: Modificado de <http://www.sec.noaa.gov/SolarCycle/> e <http://helios.gsfc.nasa.gov/ace/gallery.html>

Podemos ver na Figura 2.6 um diagrama demonstrativo do Ciclo solar de 11 anos desde 1750 até 2000.

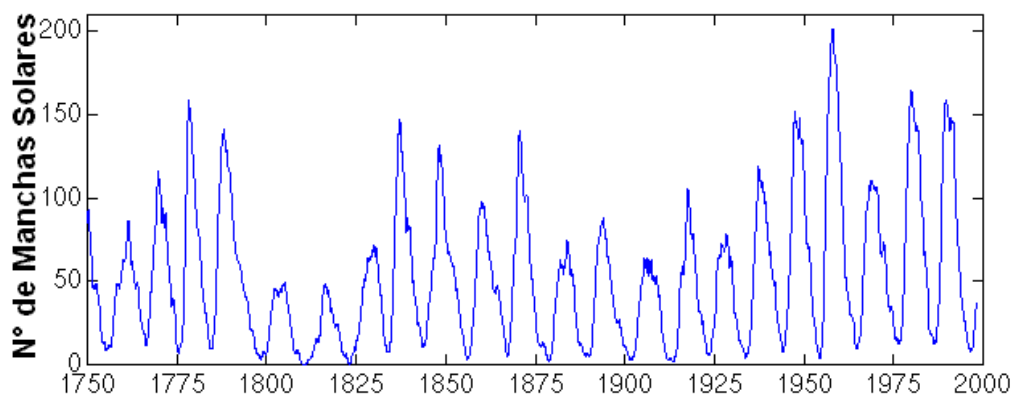


FIGURA 2.6 – Ciclo da atividade solar de 1750 à 2000.

FONTE:

Modificado

de

<http://www oulu.fi/~spaceweb/textbook/cycle.html>

2.3 Ejeção de Massa Coronal

São designadas como grandes quantidades de matéria - 10^{15} a 10^{16} g, entremeadas nas linhas de campo magnético. São expulsas do Sol durante um período de várias horas, formando uma enorme erupção que se expande para o espaço a velocidades de varias centenas e poucos milhares de km/s.

Seqüências de imagens de Coronógrafos revelam a estrutura de densidade da Coroa Solar e suas variações temporais, bem como suas expulsões transientes de plasma, que são a essência das Ejeções de Massa Coronal (Hundhausen,1997), ver Figura 2.7.

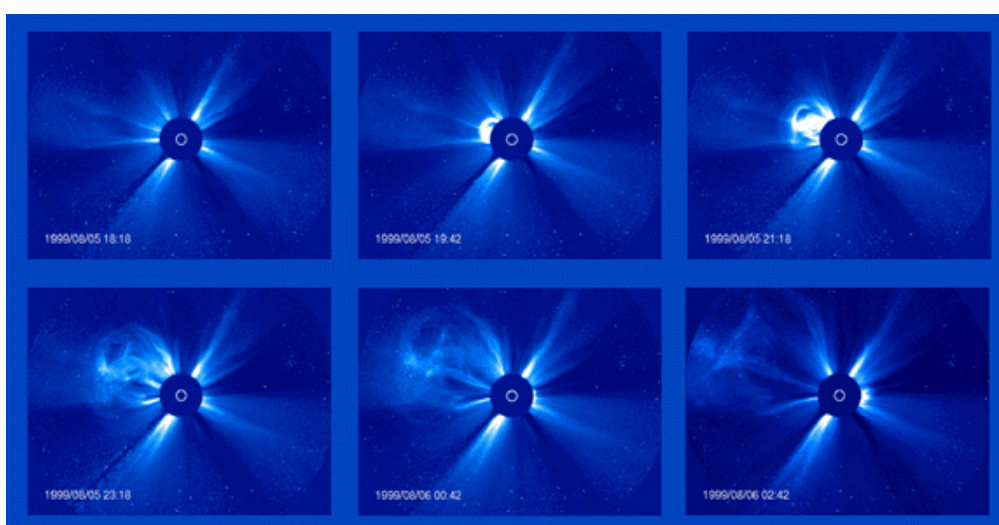


FIGURA 2.7 – Seqüência de imagens mostrando a ocorrência de uma CME observada pelo Coronógrafo LASCO C3 a bordo do satélite SOHO.

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

O Coronógrafo mede a radiação fotosférica espalhado por de elétrons no Plasma coronal ionizado, mostrando a estrutura da densidade da Coroa. A possível causa destes fenômenos é ainda desconhecida, porém, é possível que as origens solares das EMC estejam associados aos Buracos Coronais, segundo Hentish e Bravo – 1986. Os buracos coronais são regiões escuras, apresentando configurações de campo magnético aberta, de onde se originam Feixes de Altas Velocidades.

Tipicamente as EMC têm uma frequência relacionada com o Ciclo Solar, podendo ser observado cerca de um evento por semana, no mínimo do ciclo enquanto podem ocorrer 2 a 3 eventos por dias nos períodos do Máximo da Atividade Solar .

2.4 Relação entre Ejeção Coronal de Massa e estrutura do Meio Interplanetário

2.4.1 Assinatura das Ejeções de Massa Coronal no Vento Solar

A identificação no Vento Solar do Meio Interplanetário do material ejetado em um EMC, é ainda um desafio a ser vencido. Não há uma característica única exibida por todas as nuvens de Plasma resultantes de EMC Solares. Segundo Neugebauer e Goldstein (1997), varias características podem aparecer juntas ou isoladas, são elas:

- a- Temperatura cinética de íons ou elétrons baixa para uma dada velocidade do Vento Solar. Esta característica baseia-se na expansão da estrutura;
- b- Anisotropia não usual da distribuição de prótons com temperatura paralela superior a temperatura perpendicular ao Campo Magnético Interplanetário, causado pela conservação do momento magnético dos íons à medida que o Plasma se expande;
- c- Abundancia de Helio não usual.
- d- Abundancia de outras espécies iônicas;
- e- Feixes bidirecionais de elétrons supratérmicos e íons energéticos. Caracteriza uma configuração de Campo Magnético Interplanetário, é possível que seja o campo magnético interno de uma injeção, fechado e com extremidades presas no Sol;
- f- suave e intenso Campo Magnético, interfere nos valores de parâmetro β de Plasma, que quando combinado com baixas temperaturas levam o parâmetro β a baixos valores. Este parâmetro é geralmente menor que 0,1;

g- Presença de rotação do Campo Magnético, algumas destas configurações são chamadas de Nuvens Magnéticas quando possuem: aumento de seu campo magnético por um fator maior que 2; suave rotação por um amplo intervalo de ângulo; e baixa temperatura iônica;

h- decréscimo do fluxo de Raios Cósmitos;

Cerca de 1/3 das estruturas identificadas no meio Interplanetário são Nuvens Magnéticas (Gosling, 1990).

2.4.2 Relação entre EMC rápidas e Ondas de Choque no Vento Solar

As EMC rápidas geralmente estão associados a ondas de choque no Vento Solar. Acredita-se que todas as ondas de choque transientes no Vento solar em 1 UA sejam causados por EMC (Gosling, 1999). Os Feixes de Alta Velocidade originados em Buracos Coronais podem ser os formadores das ondas transientes (Hewish e Bravo, 1986).

2.4.3 Nuvens Magnéticas

Segundo Klein e Burlag (1982), uma Nuvem Magnética é definida sendo uma estrutura com extensão radial de aproximadamente 0,25 UA - em 1 UA -, Campo Magnético mais intenso do que o Vento Solar normal, tipicamente $B > 10nT$. Suave rotação da direção do campo magnético em um grande ângulo, próximo a 180° , baixa temperatura e baixo valor do parâmetro beta, $B \sim 0,1$. As Nuvens magnéticas são ideais para estudos das interações Sol-Terra, devido a sua simplicidade e extensos intervalos de campo magnético na direção sul e norte ou vice-versa (Burlaga et al., 1997).

Medidas dos parâmetros de Plasma – velocidade do Vento Solar, temperatura e densidade de prótons- e Campo Magnético – componentes B, B_x , B_y , B_z – possibilitam identificação de Nuvens Magnéticas. Tais medidas são feitas diariamente por vários satélites presentes no Meio Interplanetário.

As Nuvens Magnéticas são originadas nas Ejeções Coronais de Massa Solares - EMCS- A relação entre uma EMCS, observada pelo satélite SOHO em 6 de janeiro de 1997, e a chegada de uma Nuvem Magnética na Terra, quatro dias depois, observada pelo satélite

WIND, foi descrita por Fox et al. (1998). A região da cavidade interna da EMCS foi identificada como possível origem desta Nuvem Magnética por Gopalswamy et al. (1998).

Uma Nuvem Magnética observada por vários satélites possibilitou o estabelecimento de sua geometria, ilustrada no diagrama da Figura 2.8, adaptado de Burlaga et al. (1990). Na figura estão indicados os satélites que observaram o evento ocorrido em 5 de Janeiro de 1978: IMP-8, Hélios A e Voyager 2. Na Figura, os “x” representam a fronteira dianteira da Nuvem Magnética vista por cada um dos satélites, e os círculos, a fronteira traseira. As setas indicam a direção do campo magnético observado por cada um dos satélites. Esta situação é bastante rara, pois normalmente não é possível observar Nuvens Magnéticas com mais de um satélite simultaneamente.

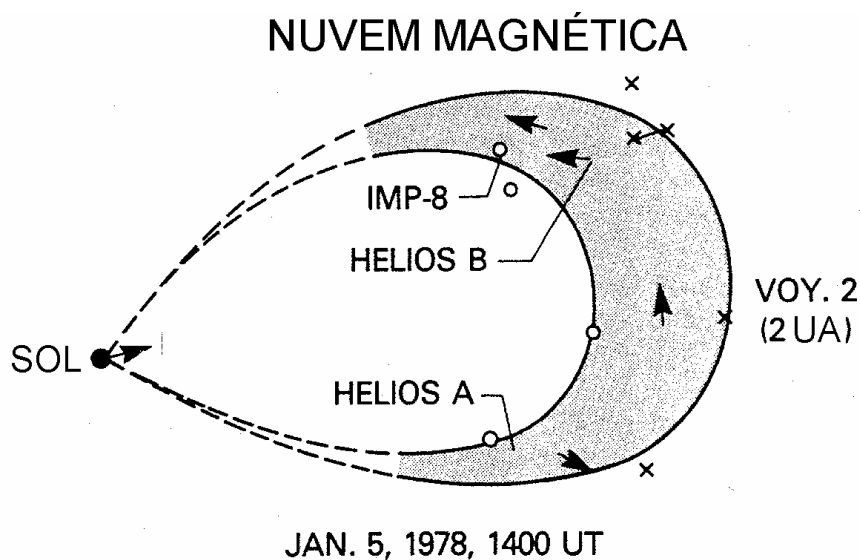


FIGURA 2.8 – Geometria de uma Nuvem Magnética.

FONTE: Adaptado de Burlaga et al. (1990, p.376).

2.5 Atividade Solar e os Efeitos Geomagnéticos

A Atividade Solar é responsável por diversas perturbações do Campo Geomagnético, que podem ser recorrentes ou transientes. As recorrentes normalmente estão relacionadas à rotação do Sol e tem períodos de aproximadamente 27 dias. As transientes estão fortemente relacionadas às ejeções solares como as Ejeções de Massa Coronal. Dentre estas perturbações podemos destacar as Tempestades Geomagnéticas.

2.5.1 Tempestades Geomagnéticas

Episódios de extraordinárias flutuações do Campo Magnético Terrestre foram denominados “Tempestades Geomagnéticas” ou “Tempestades Magnéticas” na metade do século XIX (Gonzalez et al., 1994). Sua assinatura característica é um decréscimo na componente H, horizontal, do Campo Magnético Terrestre, durando cerca de algumas dezenas de hora (Kamide et al., 1998). Atribui-se este decréscimo a um aumento da população de partículas aprisionadas na Magnetosfera. Derivas devidas ao gradiente do Campo Magnético e a sua curvatura produzem a chamada “Corrente de Anel”, que é o movimento destas partículas: íons de leste para oeste; elétrons de oeste para leste. Para medir a intensidade desta corrente, utilizam-se valores horários da variação global da componente H em baixas latitudes, constituindo o índice Dst (Gonzalez et al., 1994).

Uma Tempestade Geomagnética pode ser caracterizada tipicamente por três fases: início súbito, caracterizado por um aumento do campo magnético; fase principal, que é o intervalo de alto decréscimo do índice Dst; e fase de recuperação, onde o campo magnético tende a restaurar sua intensidade normal.

Podemos classificar uma Tempestade Geomagnética de acordo com sua intensidade. A tabela abaixo, mostra esta classificação.

TABELA 2.2 – Classificação da intensidade das Tempestades Geomagnéticas.

INTENSIDADE DA TEMPESTADE	DEFINIÇÃO
Intensas	$Dst < -100nT$
Moderadas	$-100nT \leq Dst \leq -50nT$
Fracas	$-50nT \leq Dst \leq -30nT$
Atividade Normal	$Dst \geq -30nT$

2.5.2 Origem Interplanetária das Tempestades Geomagnéticas

Acredita-se que o mecanismo físico responsável pela transferência de energia do Vento Solar para a Magnetosfera seja a reconexão entre o Campo Magnético Interplanetário e o Campo Magnético Terrestre (Tsurutani e Gonzalez, 1997). Para que aconteça este fenômeno é necessário que a componente do CMI, esteja na direção antiparalela a do Campo Magnético Terrestre. O critério necessário para que ocorra uma Tempestade

Geomagnética intensa, é o de haver um Campo Elétrico Interplanetário, $\vec{E} = \vec{V} \times \vec{B}_S$, na direção do anoitecer, maior que 5mV/m, por um tempo maior que 3 horas. Esse critério foi empiricamente definido por Gonzalez e Tsurutani (1987) com dados de Plasma e campo obtido do satélite ISSE-3, e implica em um campo magnético B_S maior que 12,5 nT para uma velocidade do Vento Solar de aproximadamente 400km/s.

As origens interplanetárias de campo magnéticos B_S , responsáveis pelas dez tempestades intensas estudadas por Gonzalez e Tsurutani (1987), onde 5 foram causados por Ejeções Solares identificadas no Meio Interplanetário, foram apresentadas por Tsurutani et al., (1988). Kamide et al. (1998^a) estudaram mais de 1200 Tempestades Magnéticas e identificaram que em mais de 50% das intensas a fase principal se desenvolveu em duas etapas. Nesse caso, após uma pré-injeção de partículas na Corrente de Anel, através de um pré-evento B_S , que provoca um decréscimo ainda maior do índice Dst.

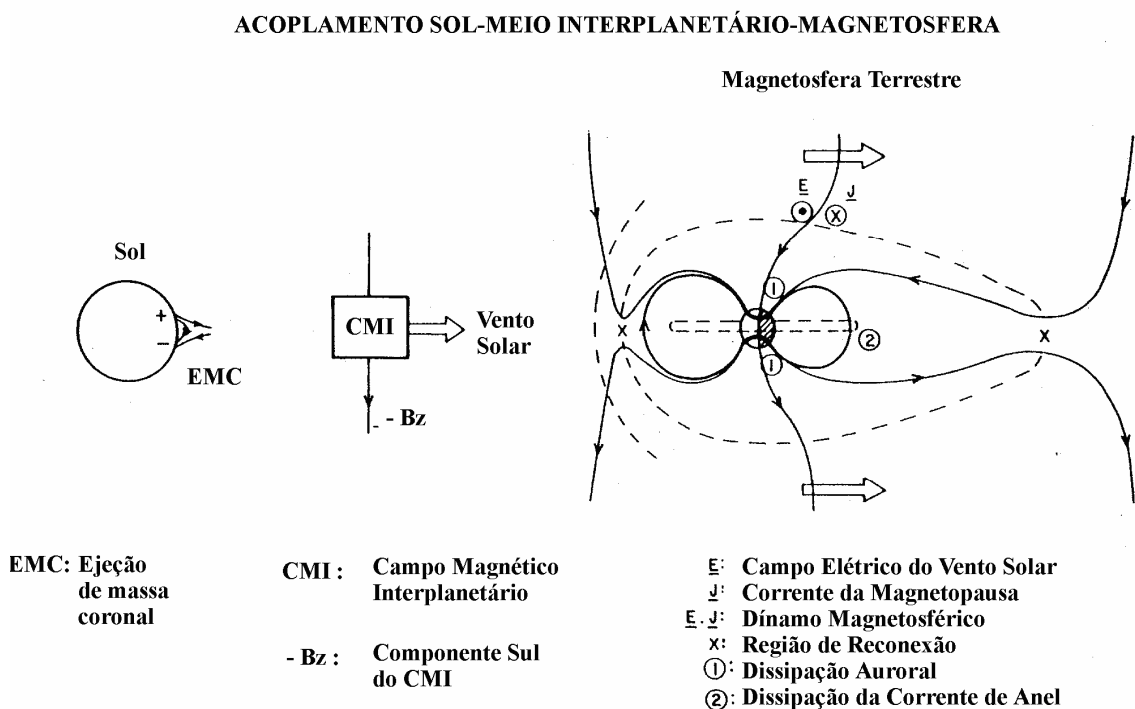


FIGURA 2.9 – Acoplamento entre Sol, Meio Interplanetário e Magnetosfera Terrestre.
 FONTE: Adaptado de Tsurutani e Gonzalez 1997, p. 82.

2.5.3 Tempestades causadas por Nuvens Magnéticas

Grande parte das Tempestade Geomagnéticas intensas – $Dst \leq -100nT$ – não recorrentes são causados por Nuvens Magnéticas (Gonzalez et al., 1999). A razão principal pela qual Nuvens Magnéticas estão entre as principais causas de Tempestades Magnéticas é o fato de freqüentemente apresentarem Campo Magnético B_z negativo e intenso - $|B| > 10nT$ – por intervalos de tempo superiores a 3 horas, cumprindo os critérios de Gonzalez e Tsurutani (1987) para a ocorrência de tempestades intensas.

Devido ao aumento de densidade e velocidade, a pressão exercida na Magnetosfera Terrestre, ρv^2 , causa uma repentina compressão na Magnetosfera e um salto positivo na componente horizontal, H . Este salto é representado por um aumento do índice Dst e é observado na chegada do choque. Nesta fase ocorre o impulso repentino – Sudden Impulse -. Desde que SI é seguido pela fase principal da tempestade - Sudden Storm Commencement – O início da tempestade ocorre quase coincidentemente com o giro do CMI para a direção sul nos limites da Nuvem Magnética (Gonzalez et al., 1989). O desenvolvimento da fase principal da tempestade é rápido.

Uma comparação entre uma observação de uma Nuvem Magnética em 18-20 de outubro de 1995 e uma ilustração da estrutura solar-interplanetária envolvida é apresentada na Figura 2.10. A seta superior está representando uma onda de choque que é causada por uma Nuvem Magnética oriunda de uma CME, a configuração do campo magnético observado na Terra é de um tubo de fluxo. A seta seguinte mostra a região de compressão, formada logo após o choque, indicada pela flutuação do campo magnético. A terceira seta indica a Nuvem Magnética, representada por um Campo Magnético mais intenso que as demais regiões e a quarta seta representa a rotação da componente B_z de sul para norte. A Tempestade Geomagnética está representada pela quinta seta, mostrando a queda no índice Dst devida a intensificação da corrente de anel ilustrada ao lado.

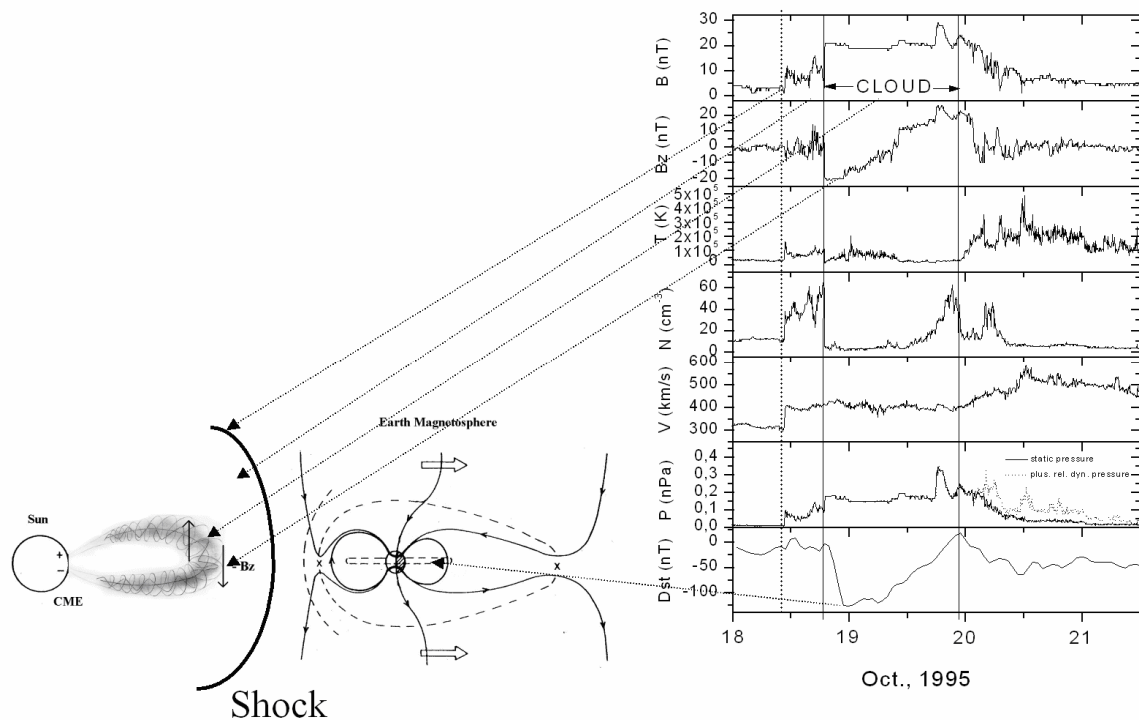


FIGURA 2.10 - Composição entre a observação de uma Nuvem Magnética observada em 18-20 de outubro de 1995 nas proximidades da Terra e uma ilustração do cenário solar-interplanetário relacionado.

FONTE: Dal Lago et al., 2001, apresentação no VI COLAGE.

2.5.4 Tempestades causadas por Choques

Existem vários mecanismos que conduzem para componentes de campo na direção sul da bainha (Tsurutani et al., 1988^a; Zwan and Wolf, 1976). Dois destes mecanismos conduzem para a intensificação de campos magnéticos, independentes da orientação. Estes são compressão por choques e empilhamento. No mecanismo primário, o choque comprime tanto o campo magnético quanto o plasma. Segundo Tsurutani et al. (1992), no mecanismo posterior o encurvamento do campo magnético ao redor da ejeção solar conduz para uma compressão do Plasma.

CAPÍTULO 3

RAIOS CÓSMICOS

3.1 Introdução

Por muitos anos os raios cósmicos têm sido a principal fonte de partículas energéticas para o estudo da física sub-atômica. Hoje os raios cósmicos são estudados como um fenômeno natural que pode nos dizer muito sobre o meio ambiente espacial terrestre e sobre processos astrofísicos distantes.

Os raios cósmicos são partículas energéticas formadas principalmente por íons nucleares cuja energia cinética estende-se desde a energia térmica à mais de 10^{20} eV. Eles constantemente bombardeiam a Terra de maneira isotrópica, atingindo o topo da atmosfera terrestre com um fluxo de mais de 10^{18} partículas por segundo, possuindo uma energia maior que 1 MeV [Jokipii, 1998].

A maior parte dos raios cósmicos observados é originada fora do sistema solar e são chamados de raios cósmicos galácticos. A principal teoria da origem dos raios cósmicos diz que essas partículas são aceleradas primeiramente pela onda de choque quase esférica resultante da explosão de uma supernova [Jokipii, 1998]. A Figura 2.11 mostra uma nébula brilhante rodeada de uma nuvem difusa de poeiras. No centro pensa-se existir um *pulsar*, isto é, uma estrela de nêutrons em rotação. O campo magnético desta estrela confina os núcleos e as partículas carregadas como os elétrons e acelera-os a velocidades próximas a da luz. A fotografia foi obtida pelo observatório de raios-X Chandra.

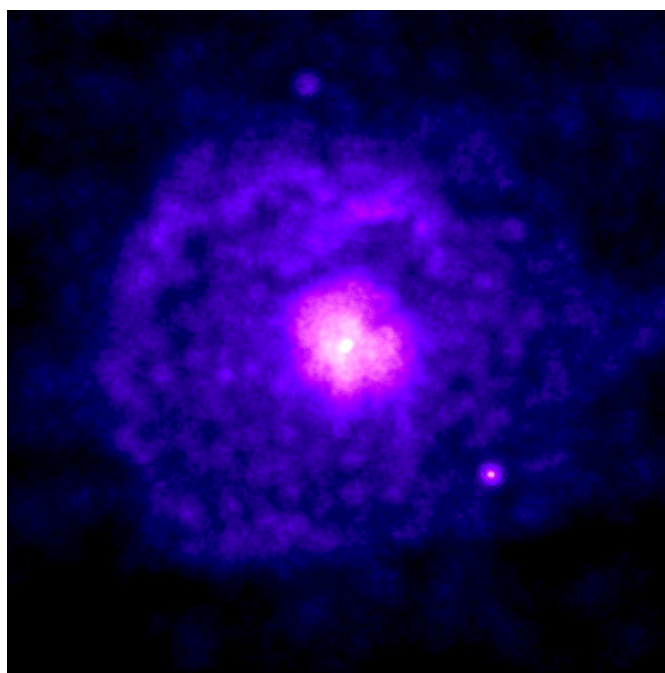


FIGURA 3.1 – Restos da supernova G21.5-0.9 na constelação de Scutum, possível origem dos raios cósmicos.

FONTE: <http://www.lip.pt/experiments/trc/oqsao/oqsaol.html>

Os raios cósmicos podem ser divididos em dois grupos: raios cósmicos primários e secundários.

3.1.1 Raios Cósmicos Primários

São chamadas de raios cósmicos primários as partículas que ainda não interagiram com os constituintes da atmosfera terrestre. Os raios cósmicos primários podem ser divididos em três tipos, de acordo com sua origem: **raios cósmicos galácticos, raios cósmicos solares e raios cósmicos anômalos.**

Raios Cósmicos Galácticos

Originam-se fora do sistema solar, provavelmente no centro da Via Láctea. Sua propagação é guiada pelos campos magnéticos da Galáxia. O componente primário representa a composição do material original e um componente secundário é produzido pela fragmentação de núcleos mais pesados.

Raios Cósmicos Solares

Originam-se no Sol, sua intensidade aumenta quando da ocorrência de explosões solares e outras manifestações da atividade solar.

Raios Cósmicos Anômalos:

Originam-se no espaço interestelar além da heliopausa. Diferem dos Raios Cósmicos Galácticos por apresentarem em sua composição porcentagem superior de hélio (partículas Alfa).

3.1.2 Raios Cósmicos Secundários

O que se observa na superfície da Terra não é decerto a radiação cósmica original. Quando partículas de raios cósmicos primários atingem o topo da atmosfera terrestre, reações nucleares fazem com que um conjunto de várias partículas secundárias sejam formadas. Como estas partículas primárias possuem energias relativísticas, a maioria das partículas secundárias propagam-se aproximadamente na mesma direção em que a partícula primária se deslocava antes da colisão e o número de partículas secundárias aumenta com o aumento da energia da partícula primária.

A interação de raios cósmicos que atingem o alto da atmosfera terrestre produz grandes quantidades de partículas elementares conhecidas como pions ou mésons-pi. Esses pions são partículas instáveis e desintegram-se em frações de segundo após terem sido produzidas, criando partículas secundárias chamadas muons e seus neutrinos, conhecidos, por isso mesmo, como neutrinos do muon. Os muons, por sua vez, também são partículas instáveis que desintegram-se formando um terceiro conjunto de partículas elementares: os elétrons, os neutrinos do elétron e mais um neutrino do muon. Os neutrinos produzidos nessa seqüência de decaimentos são chamados neutrinos atmosféricos. Observando-se a seqüência de decaimentos descrita acima, espera-se que para cada dois neutrinos do muon, somente um neutrino do elétron seja observado.

Quando raios cósmicos de alta energia chegam na alta Atmosfera Terrestre, criam certas partículas elementares instáveis, cujos rastros, registrados em emulsões fotográficas, são muito curtos, mais curvilíneos que o rastro de um próton e menos que o de um elétron. Em outras palavras, estas partículas teriam uma massa intermediária entre a massa do próton e do elétron. Logo se detectaram outros rastros semelhantes, e as partículas descobertas receberam o nome de “mésons”. Do decaimento radioativo destes mésons, origina-se outra partícula, que também possui uma massa intermediária, e se move a velocidades da ordem dos 99% da velocidade da luz. Esta partícula recebeu o nome de “muon”, apresentando duas variedades: positiva e negativa. O muon negativo, que possui 206,77 vezes a massa do elétron, é idêntico a esta partícula em todos os aspectos, exceto pela massa.

As partículas eletricamente carregadas, como é o caso dos Muons, perdem frações de sua energia devido à interação com as partículas constituintes da matéria, principalmente elétrons. Como os Muons possuem uma energia muito alta (pois viajam com uma velocidade $v = 0.99c$), eles interagem muito pouco com a matéria, apenas por ionização. Por causa disto, eles podem deslocar-se por grandes distâncias e comumente alcançam a superfície da Terra.

Esquemáticamente, algumas das partículas secundárias de um “chuveiro” de raios cósmicos gerado a partir da interação das partículas primárias de raios cósmicos com os constituintes atmosféricos, são mostrados na Figura 3.2.

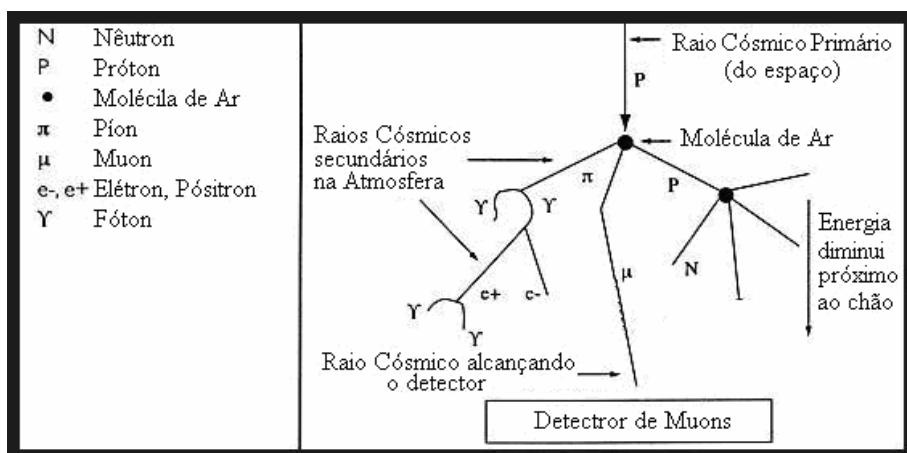


FIGURA 3.2 – Representação esquemática do desenvolvimento da radiação cósmica secundária na Atmosfera Terrestre como resultado da interação de uma partícula primária incidente com os núcleos dos átomos da Atmosfera superior.

FONTE: <http://www.bartol.udel.edu>

PREVISÃO DO CLIMA ESPACIAL UTILIZANDO RAIOS CÓSMICOS

3.2 Introdução

Devido ao grande volume que pode ser usado em detectores de solo, monitores de nêutrons (Simpson et al. 1953) e detectores de muons (Fujimoto et al. 1976; 1984) ainda são ideais para medir raios cósmicos $> 1\text{GeV}$. Estes instrumentos são excelentes para a detecção de minúsculas variações temporais do fluxo de raios cósmicos e para medir as pequenas anisotropias direcionais típicas dos raios cósmicos. Seus intervalos de energia são altamente complementares aos limites superiores das energias dos detectores de fluxos de raios cósmicos espaciais.

Há várias razões pelas quais partículas com estas energias são interessantes da perspectiva do Clima Espacial. Primeiro, elas viajam a velocidades próximas à da luz. Partículas de raios cósmicos que interagem com uma Onda de Choque ou uma Ejeção Coronal de Massa (CME) e escapam para a parte frontal dessas estruturas, viajarão mais rapidamente que o choque, trazendo o alerta da chegada da estrutura com antecedência. Segundo, as partículas têm um grande livre caminho médio. Isto é importante porque assinaturas precursoras da chegada de um distúrbio seriam apagadas devido ao espalhamento em escalas maiores que o livre caminho médio. Terceiro, as partículas têm raio de Larmor muito grande em comparação com a Magnetosfera da Terra, mas são menores ou da mesma ordem do tamanho do distúrbio. Por exemplo, a energia típica de um monitor de nêutrons é 10 GeV correspondendo a um raio de Larmor de 0,02 Unidades Astronômicas em um campo magnético de 10 nT. A energia típica de um monitor de muons é 50 GeV, correspondendo a um raio de Larmor de 0,1 UA. Isto é importante porque significa que anisotropias cinéticas (tais como a anisotropia $\mathbf{BX}\mathbf{Vn}$) correspondem a estruturas de larga escala no Vento Solar perturbado.

3.2.1 Anisotropia Precursora do Cone de Perdas

Anisotropias precursoras têm sido geralmente interpretadas como sendo efeitos cinéticos relacionados à interação dos raios cósmicos ambientes com uma Onda de Choque se aproximando (Nagashima et al. 1994; Morishita et al. 1997; Bieber & Evenson 1998;

Ruffolo et al. 1999; Belov et al. 2001). Decréscimos precursores podem ser resultados de um efeitos de “cone de perdas”, no qual a estação esta magneticamente conectada à região de decréscimo de raios cósmicos à frente da Onda de Choque. Aumentos precursores podem ser resultados de partículas que receberam uma pequena injeção de energia por reflexão na Onda de Choque que está se aproximando (Dorman et al. 1995). Aqui nós iremos nos ater ao cone de perdas precursor, por apresentar uma base teórica forte (Ruffolo et al. 1999) e também por ser o precursor mais confiável.

O potencial de contribuição dos detetores de neutrons para a previsão do Clima Espacial também é indicado por resultados estatísticos de Kudela et al. (1995; 1997), que encontrou correlações de 40% entre flutuações nos raios cósmicos registradas por monitores de neutrons e o valor do índice Dst medido ~10 horas mais tarde. A origem deste efeito poderia ser a anisotropia precursora, porque a anisotropia se manifesta através de um aumento da variabilidade nos dados de uma estação isolada.

CAPÍTULO 4

INSTRUMENTAÇÃO

O presente Capítulo têm como objetivo apresentar a Instrumentação utilizada para o desenvolvimento deste trabalho. Vamos falar sobre os equipamentos do qual nos forneceram os dados para a visualização gráfica dos parâmetros interplanetários, geomagnéticos e de raios cósmicos. Iremos apresentar de uma forma resumida tais equipamentos: Satélite ACE (Advanced Composition Explorer) da NASA (National Aeronautics and Space Administration), que fornece observações de plasma e Campo Magnético do Meio Interplanetário, disponíveis no sistema CDA - *Coordinate Data Analysis* - do programa ISTP - *International Solar-Terrestrial Physics*; Magnetômetros, em específico os que medem a intensidade do Campo Magnético na superfície da Terra e fornecem entre outros índices o Dst (*Disturbance Storm-Time*); Telescópio Cintilador de Muons (TCM) em operação no Observatório Espacial do Sul - OES/CRSPE/INPE – MCT em São Martinho da Serra, desde 2001, ampliado em dezembro de 2005, para analisar as anisotropias precursoras das Tempestades Geomagnéticas utilizando raios cósmicos.

4.1 Satélite ACE

O satélite ACE, lançado em 25 de Agosto de 1997 pela NASA, orbita o ponto Lagrangeano L1, o qual é definido como um ponto de equilíbrio gravitacional no caminho Sol-Terra e está localizado a aproximadamente 1,5 milhões de quilômetros da Terra e aproximadamente 148,5 milhões de quilômetros do Sol. Com um semi-eixo de aproximadamente 200.000 km, a órbita elíptica coloca o ACE a uma visão primária do Sol e regiões galácticas. Alguns dos instrumentos a bordo do satélite são: Espectrômetro de Raios Cósmicos, Espectrômetro Solar, Espectrômetro Ultra de Baixas Energias, Analisador de Partículas Energéticas Solares (Íons carregados), Espectrômetro de Vento Solar (Massa e composição iônica), Monitor de Prótons, Elétrons e partículas Alfa, Magnetômetro. O satélite ACE fornece os dados das variações observadas nos parâmetros do meio interplanetário.

A seguir podemos ver na Figura 4.1 o satélite ACE.

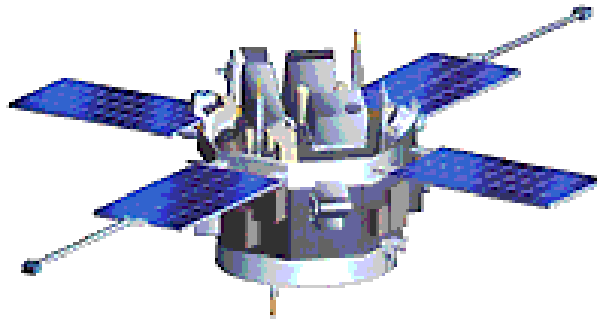


FIGURA 4.1 – Satélite ACE (Advanced Composition Explorer).

FONTE: http://helios.gsfc.nasa.gov/ace_spacecraft.html

4.2 Magnetômetros

Os magnetogramas, registros temporais gráficos da intensidade do campo magnético na superfície da Terra, mostram uma diminuição global na componente horizontal do campo magnético em latitudes média e baixa, caracterizando as Tempestades Geomagnéticas. Essas observações experimentais feitas na superfície da Terra são feitas através de magnetômetros.

O índice utilizado neste trabalho para identificar as variações da componente horizontal do campo magnético terrestre é o Dst. O índice Dst é obtido, de hora em hora, a partir da média dos dados de estações próximas ao equador. A Figura 4.2 mostra a posição destas estações.

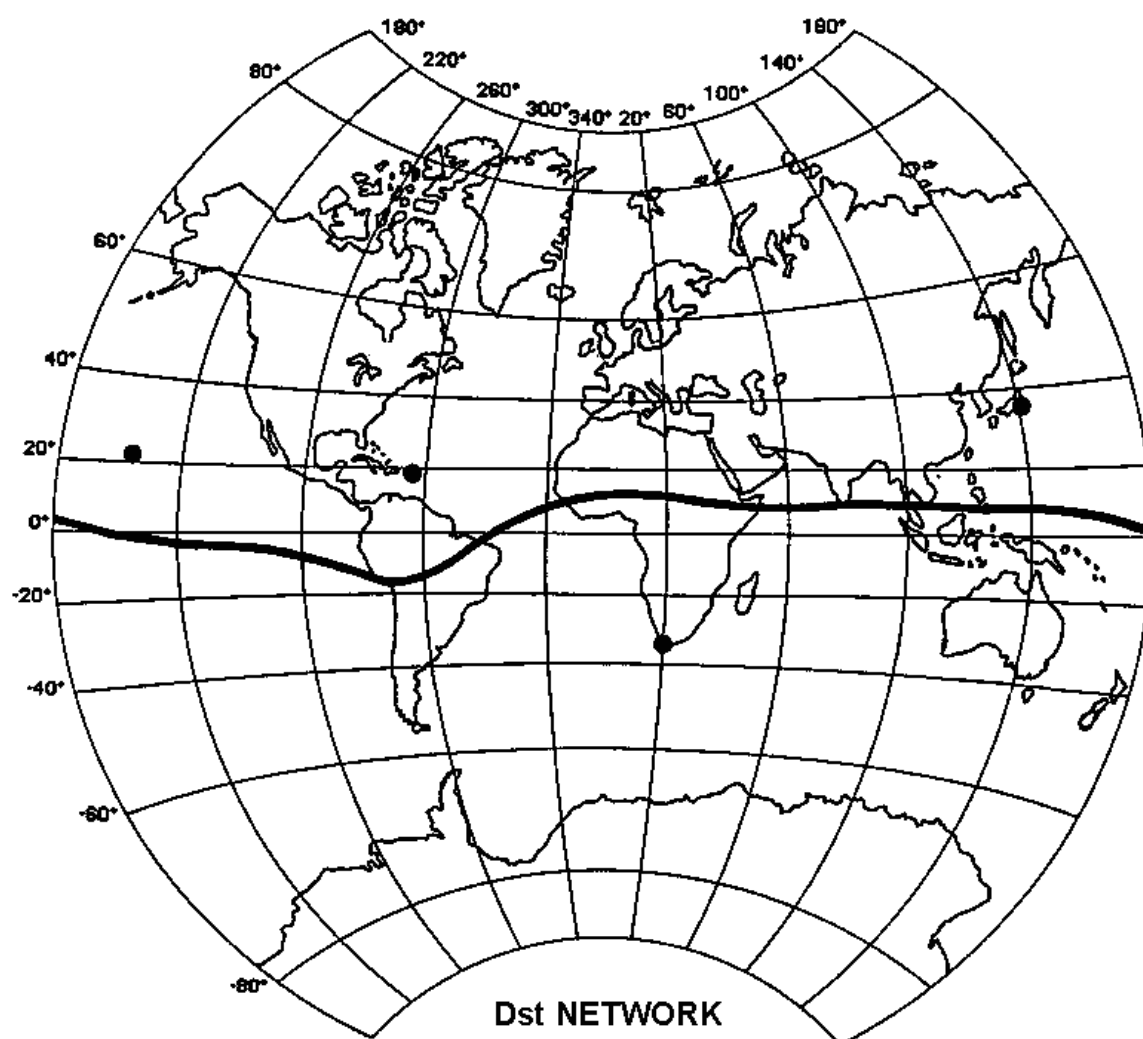


FIGURA 4.2 – Posição das estações de medida do campo magnético na superfície terrestre utilizadas no cálculo do índice Dst.

FONTE – <http://swdcwww.kugi.kyoto-u.ac.jp/dst2/onDstindex.html>

As coordenadas dos observatórios magnéticos são mostrados na Tabela 4.1.

TABELA 4.1 – Coordenadas das estações de medidas do campo magnético utilizadas no cálculo do índice Dst.

estação	COORDEN. GEOMAGN.		COORDEN. GEOGRAF	
	Latitude (E)	Longitude	Latitude (E)	Longitude
Hermanus	S 33,3°	80,3°	S 34°25'	19°13'
Kakioka	N 26,0°	206,0°	N 36°14'	140°11'
Honolulu	N 21,0°	266,4°	N 21°18'	201°54'
San Juan	N 29,9°	3,2°	N 18°23'	293°53'

Em latitudes baixas as perturbações da componente horizontal do campo geomagnético, H , são dominadas pela intensidade da corrente de anel magnetosférica, que é um sistema de correntes que circula a Terra no plano equatorial e é gerada pela deriva longitudinal de partículas energéticas (de 10 a 200 keV) carregadas, aprisionadas no campo magnético terrestre a uma distância entre 2 e 7 raios terrestres. Durante uma Tempestade Magnética, o fluxo de partículas da corrente de anel é dramaticamente aumentado. Este aumento tem sido atribuída a dois diferentes processos: (1) a injeção de plasma para dentro da magnetosfera interna durante a fase de expansão de uma subtempestade magnetosférica e (2) aumento do transporte convectivo de partículas vindas da lâmina de plasma do lado noturno para dentro da magnetosfera interna, como um resultado de uma intensificação do campo elétrico de convecção amanhecer-entardecer da Terra durante longos períodos de intenso Campo Magnético Interplanetário na direção Sul (reconexão magnética).

O índice Dst é uma média, de hora em hora, da medida direta das perturbações causadas por esses processos. Tomando a superposição dos dados de todas as estações, a diferença entre os maiores e menores valores corresponde ao índice DS, que mede a assimetria da corrente de anel. As variações negativas muito grandes indicam um aumento da intensidade da corrente de anel, pois a corrente gera um campo magnético oposto ao campo geomagnético, diminuindo seu valor original. Essas perturbações duram em torno de uma hora, e caracterizam a fase principal de uma Tempestade Geomagnética. A faixa de observação do índice Dst é de 100 nT até -600 nT. Condições não perturbadas são representadas por um índice Dst de 0, mas isto não é o que realmente ocorre, pois a corrente de anel não desaparece, ela existe sempre, mas com uma intensidade muito menor que durante uma Tempestade Magnética.

4.3 Telescópio Cintilador de Muons (TCM)

O protótipo do telescópio cintilador de muons foi instalado em março de 2001, no prédio principal do Observatório Espacial do Sul – OES/RSU/INPE-MCT (Latitude 29°, 26', 24''S, Longitude 53°, 48', 38'' O, altitude ~500 m acima do nível do mar), no Município de São Martinho da Serra, RS.

O TCM, mostrado na Figura 4.3, consiste de duas camadas de quatro detectores. Estas camadas estão separadas por 1,73m de altura, intermediárias por uma camada de chumbo

com 5cm de espessura. Os detectores estão arranjados na forma de um quadrado (2m x 2m) em cada camada, onde um lado é alinhado à direção Norte-Sul geográfica. Cada detector é identificado por um número com inicial U ou L para as camadas de cima e de baixo (U1, U2, U3, U4, L1, L2, L3, L4), respectivamente.

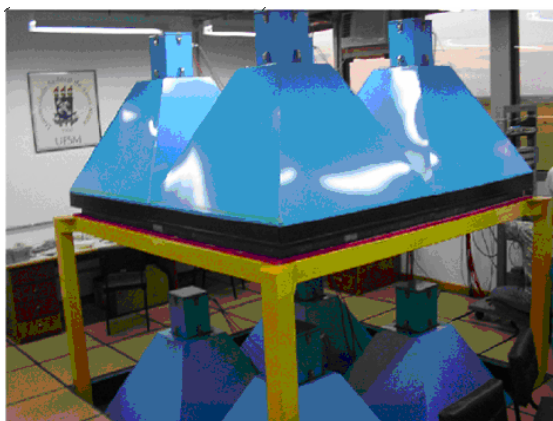


FIGURA 4.3 – Protótipo do Telescópio Cintilador de Muons instalado no prédio principal do Observatório Espacial do Sul - OES/CRPSE/INPE - MCT em São Martinho da Serra, RS.

Os dados do TCM são transferidos de seus circuitos contadores para um computador pessoal e gravados em forma de texto a cada hora, acompanhados da informação da hora universal (UT), da pressão atmosférica local e da temperatura da sala.

O TCM foi ampliado através de uma colaboração tri-lateral entre Brasil, Japão e Estados Unidos, para um detector maior, em dezembro de 2005. O telescópio expandido consiste de duas camadas de vinte e oito detectores, separadas por 1.73m de altura, intermediárias por uma camada de chumbo com 5cm de espessura. Os detectores estão arranjados em 7m x 4m em cada camada. As numerações dos detectores estão nas faixas: 3 a 9, 12 a 16, 19 a 25 e 28 a 34 acompanhados da letra U, na camada superior e acompanhados pela letra L, na camada inferior. A Figura 4.4 abaixo mostra o TCM expandido.



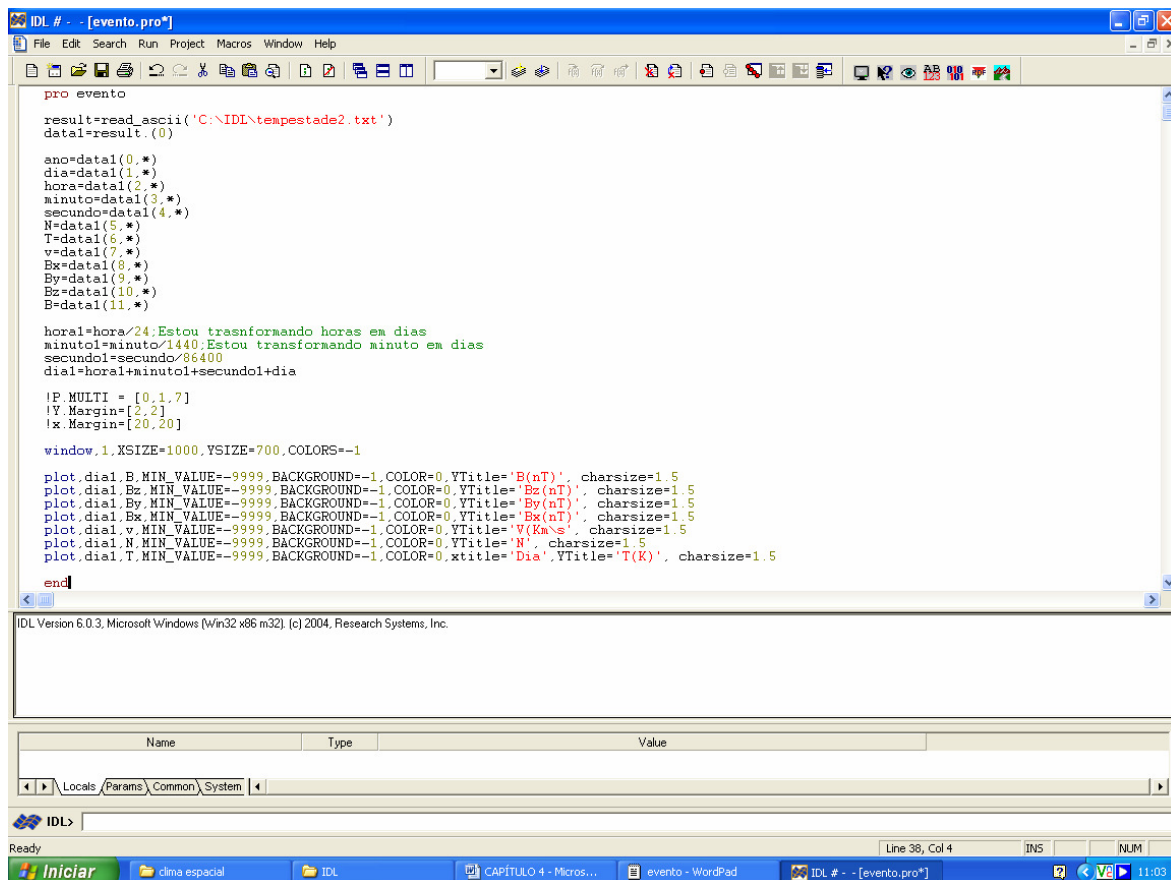
FIGURA 4.4 – Comparação fotografica de vários ângulos do Telescopio Cintilador de Muons expandido no Observatório Espacial do Sul do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – OES/CRSPE/INPE – MCT, em São Martinho da Serra, RS.

CAPÍTULO 5

METODOLOGIA

O presente Capítulo têm como objetivo apresentar a Metodologia usada com o software IDL para visualizar graficamente os dados do satélite ACE (Advanced Composition Explorer) da NASA, que fornece observações de plasma e campo magnético do meio interplanetário, disponíveis no sistema CDA - *Coordinate data análise* - do programa ISTP - *International Solar-Terrestrial physics*. Índice Dst (Disturbance Storm-Time), disponíveis no sitio da Universidade de Kyoto, Japão, que mede a intensidade da corrente de anel magnetosférica (Mendes Jr. 1992). Das contagens (%) direcionais de muons, com dados do Telescópio Cintilador de Muons (TCM) – OES/CRSPE/INPE-MTC.

A seguir podemos ver na Figura 5.1 uma janela do ambiente de programação IDL.



```
IDL # - - [evento.pro]
File Edit Search Run Project Macros Window Help
pro evento
result=read_ascii('C:\IDL\tempestade2.txt')
datal=result.(0)

ano=datal(0.*)
dia=datal(1.*)
hora=datal(2.*)
minuto=datal(3.*)
segundo=datal(4.*)
N=datal(5.*)
T=datal(6.*)
v=datal(7.*)
Bx=datal(8.*)
By=datal(9.*)
Bz=datal(10.*)
B=datal(11.*)

horal=hora/24;Estou transformando horas em dias
minutol=minuto/1440;Estou transformando minuto em dias
segundol=segundo/86400
dial=horal+minutol+segundol+dia

!P.MULTI = [0,1,7]
!Y.Margin=[2,2]
!X.Margin=[20,20]

window_1, XSIZE=1000, YSIZE=700, COLORS=-1

plot,dial,B,MIN_VALUE=-9999,BACKGROUND=-1,COLOR=0,YTitle='B(nT)',charsize=1.5
plot,dial,Bz,MIN_VALUE=-9999,BACKGROUND=-1,COLOR=0,YTitle='Bz(nT)',charsize=1.5
plot,dial,By,MIN_VALUE=-9999,BACKGROUND=-1,COLOR=0,YTitle='By(nT)',charsize=1.5
plot,dial,Bx,MIN_VALUE=-9999,BACKGROUND=-1,COLOR=0,YTitle='Bx(nT)',charsize=1.5
plot,dial,v,MIN_VALUE=-9999,BACKGROUND=-1,COLOR=0,YTitle='V(Km/s)',charsize=1.5
plot,dial,N,MIN_VALUE=-9999,BACKGROUND=-1,COLOR=0,YTitle='N',charsize=1.5
plot,dial,T,MIN_VALUE=-9999,BACKGROUND=-1,COLOR=0,xtitle='Dia',YTitle='T(K)',charsize=1.5

end

IDL Version 6.0.3, Microsoft Windows (Win32 x86 m32). (c) 2004, Research Systems, Inc.

Name Type Value
Locals Params Common System
IDL>
Ready Line 38, Col 4 INS NUM
Iniciar clima espacial IDL CAPÍTULO 4 - Micros... evento - WordPad IDL # - - [evento.pro*] 11:03
```

FIGURA 5.1 – Ambiente de programação IDL.

5.1 Gráficos dos dados do satélite ACE (parâmetros interplanetários)

Os dados dos parâmetros interplanetários do satélite ACE: intensidade do campo magnético (B), as componentes Z, Y e X (Bz), (By) e (Bx) respectivamente, a velocidade das partículas (V), a densidade de prótons (N), e a temperatura de prótons (T), foram obtidos na página da web <http://www.dge.inpe.br/maghel/>. Esses dados foram gravados no formato txt. e podem ser visualizados na Figura 4.2.

year	day	hr	min	sec	Np	Tp	Vp	B_gsm_x	B_gsm_y	B_gsm_z	Bmag
2002	101	0	0	19.008	-9999.900	-9.9999e+03	321.94	-8.101	3.074	7.033	11.162
2002	101	0	1	23.030	-9999.900	-9.9999e+03	318.03	-8.348	2.575	7.166	11.303
2002	101	0	2	27.053	-9999.900	-9.9999e+03	316.56	-8.342	2.624	7.132	11.289
2002	101	0	3	30.989	-9999.900	-9.9999e+03	316.43	-8.448	2.696	7.431	11.575
2002	101	0	4	35.011	-9999.900	-9.9999e+03	314.79	-8.013	3.345	7.454	11.447
2002	101	0	5	39.034	-9999.900	-9.9999e+03	317.00	-8.134	3.687	7.447	11.631
2002	101	0	6	43.056	-9999.900	-9.9999e+03	314.24	-8.161	3.428	7.438	11.565
2002	101	0	7	46.992	-9999.900	-9.9999e+03	316.18	-7.910	3.814	7.643	11.649
2002	101	0	8	51.014	-9999.900	-9.9999e+03	313.95	-8.037	3.773	7.513	11.635
2002	101	0	9	55.037	-9999.900	-9.9999e+03	314.57	-8.211	4.300	7.172	11.724
2002	101	0	10	58.973	-9999.900	-9.9999e+03	314.34	-8.354	4.504	6.705	11.624
2002	101	0	12	2.995	-9999.900	-9.9999e+03	314.35	-8.344	4.792	6.326	11.522
2002	101	0	13	7.018	-9999.900	-9.9999e+03	316.42	-8.378	4.998	5.980	11.455
2002	101	0	14	11.040	-9999.900	-9.9999e+03	314.44	-8.552	5.016	6.257	11.749
2002	101	0	15	14.976	-9999.900	-9.9999e+03	315.83	-8.154	4.303	7.492	11.967
2002	101	0	16	18.998	-9999.900	-9.9999e+03	310.75	-8.564	5.266	6.182	11.905
2002	101	0	17	23.021	-9999.900	-9.9999e+03	323.08	-6.403	1.902	9.991	12.106
2002	101	0	18	27.043	-9999.900	-9.9999e+03	330.38	-4.622	0.541	10.816	11.830
2002	101	0	19	30.979	-9999.900	-9.9999e+03	324.60	-3.416	-1.495	11.200	11.823
2002	101	0	20	35.002	-9999.900	-9.9999e+03	319.57	-3.725	-1.621	11.110	11.831
2002	101	0	21	39.024	-9999.900	-9.9999e+03	315.30	-3.580	-0.992	11.468	12.064
2002	101	0	22	43.046	-9999.900	-9.9999e+03	-9999.90	-2.334	-1.869	11.693	12.079
2002	101	0	23	46.982	-9999.900	-9.9999e+03	309.64	-2.139	-2.499	11.619	12.079
2002	101	0	24	51.005	-9999.900	-9.9999e+03	307.04	-1.689	-3.029	11.136	11.675
2002	101	0	25	55.027	-9999.900	-9.9999e+03	298.61	-1.242	-2.705	9.949	10.773
2002	101	0	26	59.050	-9999.900	-9.9999e+03	301.98	-3.404	2.357	3.794	6.554
2002	101	0	28	2.986	-9999.900	-9.9999e+03	337.03	-4.219	-1.324	3.544	6.813
2002	101	0	29	7.008	-9999.900	-9.9999e+03	327.29	-7.968	6.706	3.539	11.067
2002	101	0	30	11.030	-9999.900	-9.9999e+03	332.01	-8.077	8.347	1.379	11.720
2002	101	0	31	15.053	-9999.900	-9.9999e+03	354.88	-6.916	7.381	-0.693	10.155
2002	101	0	32	18.989	-9999.900	-9.9999e+03	352.02	-5.922	5.991	-2.373	8.872
2002	101	0	33	23.011	-9999.900	-9.9999e+03	351.30	-8.025	6.765	-0.499	10.541
2002	101	0	34	27.034	-9999.900	-9.9999e+03	351.97	-8.751	6.407	-0.567	11.002
2002	101	0	35	31.056	-9999.900	-9.9999e+03	360.61	-9.256	7.155	0.526	11.723
2002	101	0	36	34.992	-9999.900	-9.9999e+03	359.61	-8.955	6.889	1.733	11.462
2002	101	0	37	39.014	-9999.900	-9.9999e+03	343.19	-10.303	5.482	1.942	11.884
2002	101	0	38	43.037	-9999.900	-9.9999e+03	-9999.90	-10.459	4.623	3.927	12.169
2002	101	0	39	46.973	-9999.900	-9.9999e+03	354.51	-9.924	4.526	5.298	12.148
2002	101	0	40	50.995	-9999.900	-9.9999e+03	360.84	-9.769	4.004	6.163	12.229
2002	101	0	41	55.018	-9999.900	-9.9999e+03	358.94	-10.001	3.434	5.945	12.145
2002	101	0	42	59.040	-9999.900	-9.9999e+03	359.34	-10.037	3.768	5.592	12.113
2002	101	0	44	2.976	-9999.900	-9.9999e+03	361.17	-9.951	3.539	4.926	11.679
2002	101	0	45	6.998	-9999.900	-9.9999e+03	370.28	-9.263	3.633	5.241	11.261
2002	101	0	46	11.021	-9999.900	-9.9999e+03	372.29	-9.201	4.372	4.697	11.238

FIGURA 5.2 – Visualização dos dados do meio interplanetário do satélite ACE.

Abaixo está a rotina utilizada para plotar os gráficos do Meio Interplanetário, que se encontra de forma semelhante a original do ambiente de programação, com um leve comentário logo após cada ponto e vírgula (;), assim como também se faz comentários no programa.


```
plot, dia1, Bx, MIN_VALUE = -9999, BACKGROUND = -1, COLOR = 0, Ytitle =
'Bx(nT)', charsize = 2, X RANGE = [121,152], /XSTYLE, XTICKN = [' ', ' ', ' ', ' ', ' ', ' ', ' '],
XTICKS = 6, YRANGE = [-29,40], /YSTYLE
plot, dia1, V, MIN_VALUE = -9999, BACKGROUND = -1, COLOR = 0, Ytitle =
'V(km/s)', charsize = 2, X RANGE = [121,152], /XSTYLE, XTICKN = [' ', ' ', ' ', ' ', ' ', ' ', ' '],
XTICKS = 6, YRANGE = [200,1020], /YSTYLE
plot, dia1, N, MIN_VALUE = -9999, BACKGROUND = -1, COLOR = 0, Ytitle =
'N(1/cm3)', charsize = 2, X RANGE = [121,152], /XSTYLE, XTICKN = [' ', ' ', ' ', ' ', ' ', ' ', ' '],
XTICKS = 6, YRANGE = [-5,90], /YSTYLE
plot, dia1, T, MIN_VALUE = -9999, BACKGROUND = -1, COLOR = 0, YTitle='T(K)',
charsize = 2, X RANGE = [121,152], /XSTYLE, xtitle = 'maio, 2002', XTICKN = ['1', ' ', ' ',
' ', ' ', '6', ' ', ' ', ' ', ' ', '11', ' ', ' ', ' ', ' ', '16', ' ', ' ', ' ', ' ', '21', ' ', ' ', ' ', ' ',
'26', ' ', ' ', ' ', ' ', '31', ' '],
XTICKS = 31, YRANGE = [-100000,1490000], /YSTYLE
```

end ;[deve ser sempre utilizado no final da rotina do programa para encerrar o mesmo].

A seguir na Figura 5.3 são apresentados na forma de gráficos dos parâmetros físicos do Meio Interplanetário.

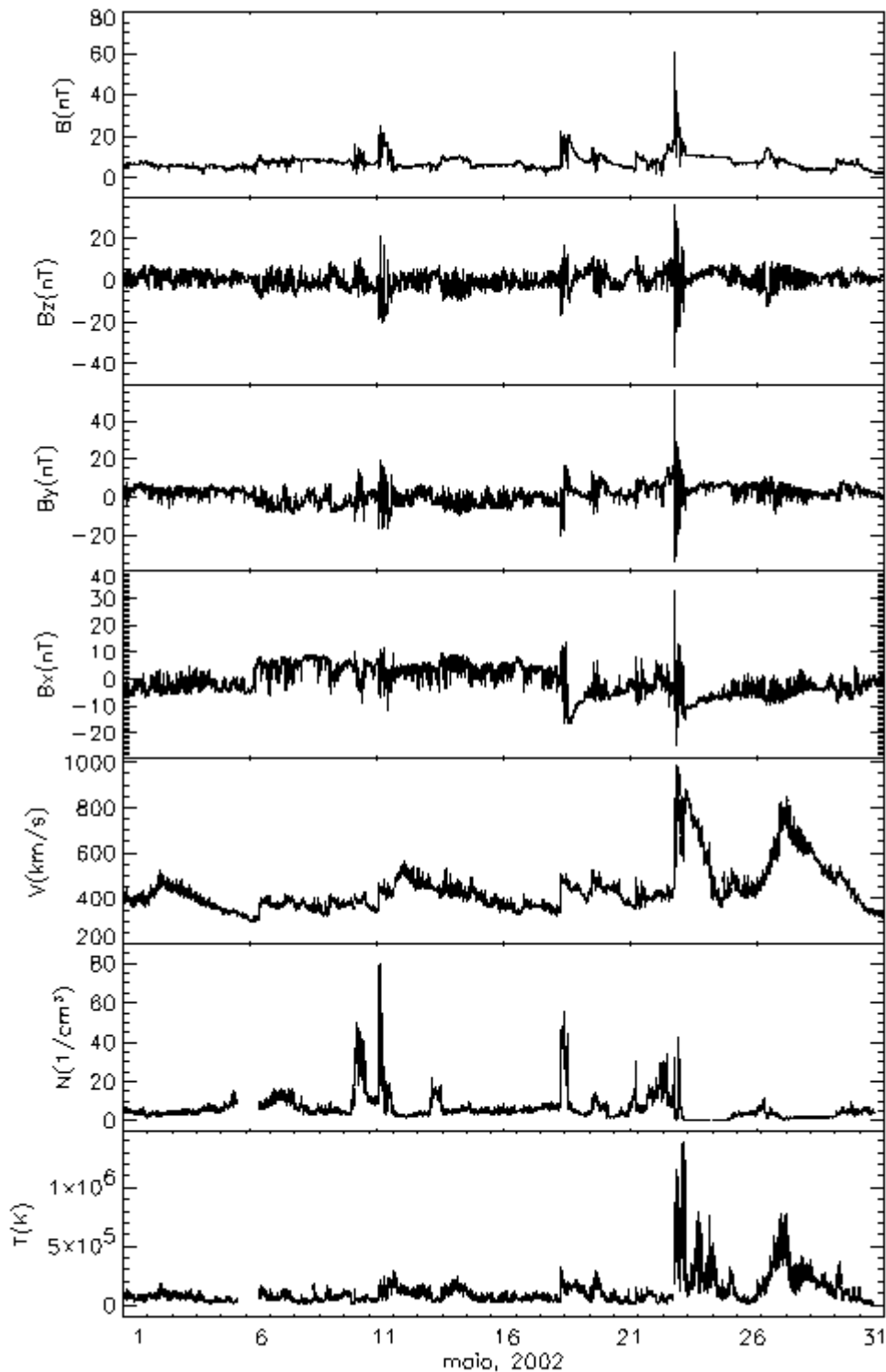


FIGURA 4.3 – Parâmetros do meio interplanetário: intensidade do campo magnético (B), as componentes Z, Y e X (B_z), (B_y) e (B_x) respectivamente, a velocidade das partículas (V), a densidade de prótons (N), e a temperatura de prótons (T).

5.2 Gráfico do índice Dst

Os dados do índice Dst foram obtidos na web na página: <http://swdcd.db.kugi.kyoto-u.ac.jp/dst/dir/dst1/final.html>. Esses dados foram gravados no formato txt. e podem ser visualizados na Figura 5.4.

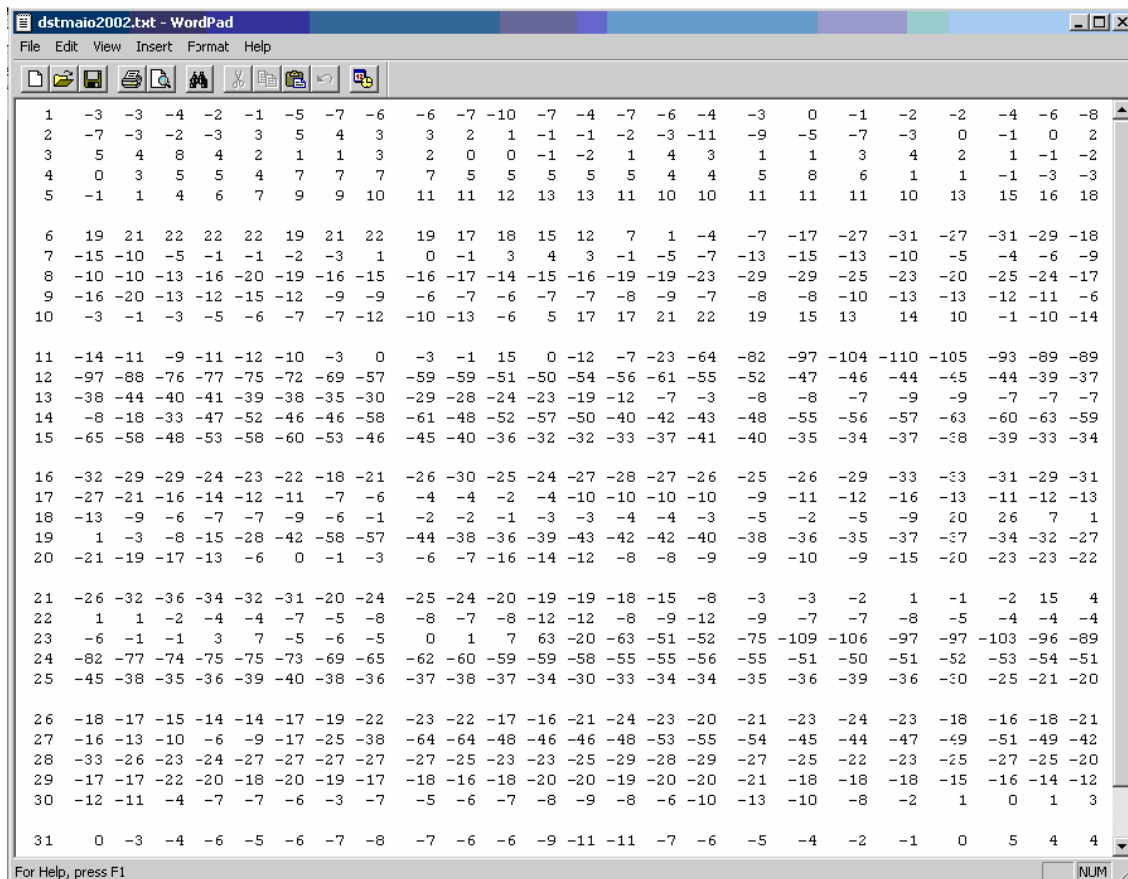


FIGURA 5.4 – Visualização dos dados do índice Dst.

A seguir está a rotina utilizada para visualizar graficamente o índice Dst, que se encontra de forma semelhante a original do ambiente de programação, com um leve comentário logo após cada ponto e virgula (;), assim como também se faz comentários no programa.

Rotina:

```
pro dstmaio2002 ;[nome do arquivo no IDL].
```

```
result = read_ascii ('C:\IDL\maio\dstmaio2002.txt') ;[função para ler o arquivo], [local onde esta gravado o arquivo], respectivamente.
```

```
data=result.(0)
```

```
dados = [data(1:24,0), data(1:24,1), data(1:24,2), data(1:24,3), data(1:24,4), data(1:24,5), data(1:24,6), data(1:24,7), data(1:24,8), data(1:24,9), data(1:24,10), data(1:24,11),
```

data(1:24,12), data(1:24,13), data(1:24,14), data(1:24,15), data(1:24,16), data(1:24,17), data(1:24,18), data(1:24,19), data(1:24,20), data(1:24,21), data(1:24,22), data(1:24,23), data(1:24,24), data(1:24,25), data(1:24,26), data(1:24,27), data(1:24,28), data(1:24,29), data(1:24,30)] ;[leu o arquivo de 24 colunas e 31 linhas e o transformou em um, com 744 linhas e 1 coluna, o porque disso se segue a seguir].

d1 = 1 ;[o dia não e lido do arquivo, indico qual é o primeiro e a rotina abaixo fornece os outros].

dia = [d1, d1+1.0/24, d1+2.0/24, d1+3.0/24, d1+4.0/24, d1+5.0/24, d1+6.0/24, d1+7.0/24, d1+8.0/24, d1+9.0/24, d1+10.0/24, d1+11.0/24, d1+12.0/24, d1+13.0/24, d1+14.0/24, d1+15.0/24, d1+16.0/24, d1+17.0/24, d1+18.0/24, d1+19.0/24, d1+20.0/24, d1+21.0/24, d1+22.0/24, d1+23.0/24]

; [divide um dia que é apenas 1 ponto em 24 pontos, com intervalos iguais].

dia1 = [dia+1]

dia2 = [dia+2]

dia3 = [dia+3]

dia4 = [dia+4]

dia5 = [dia+5]

dia6 = [dia+6]

dia7 = [dia+7]

dia8 = [dia+8]

dia9 = [dia+9]

dia10 = [dia+10]

dia11 = [dia+11]

dia12 = [dia+12]

dia13 = [dia+13]

dia14 = [dia+14]

dia15 = [dia+15]

dia16 = [dia+16]

dia17 = [dia+17]

dia18 = [dia+18]

dia19 = [dia+19]

dia20 = [dia+20]

dia21 = [dia+21]

dia22 = [dia+22]

dia23 = [dia+23]

dia24 = [dia+24]

dia25 = [dia+25]

dia26 = [dia+26]

dia27 = [dia+27]

dia28 = [dia+28]

dia29 = [dia+29]

dia30 = [dia+30]

dia31 = [dia+31]

; [o programa gerou cada dia com 1 linha e 24 colunas cada um]

diat = [dia, dia1, dia2, dia3, dia4, dia5, dia6, dia7, dia8, dia9, dia10, dia11, dia12, dia13, dia14, dia15, dia16, dia17, dia18, dia19, dia20, dia21, dia22, dia23, dia24, dia25, dia26, dia27, dia28, dia29, dia30] ;[diat = mês inteiro, ele tem 1 linha e 744 colunas].

```

window, 1, XSIZE = 550, YSIZE = 200 ;[janela 1], [ dimensões da janela em "x"],
[dimensões da janela em "y"], respectivamente.
!P.MULTI = [0,1,1] ;[modo de apresentar os gráficos] , [n° de colunas], [n° de gráficos].
!Y.Margin = [0,0] ;[espaço das margens em "y" em relação aos gráficos].
!x.Margin = [3,0] ;[espaço das margens em "x" em relação aos gráficos].
!Y.OMARGIN = [2,0] ;[espaço das margens de "y" em relação a janela].
!X.OMARGIN = [3,2] ;[espaço das margens de "x" em relação a janela].

```

```

plot, diat, dados, BACKGROUND = -1, COLOR = 0, YTITLE = 'Dst Index (nT)',
XRANGE = [1, 32], /XSTYLE, YRANGE = [-120, 70], /YSTYLE, charsize = 1.1, xtitle =
'dst maio, 2002', XTICKN = ['1', ',', ',', ',', ',', '6', ',', ',', ',', ',', '11', ',', ',', ',', ',', '16', ',', ',', ',', ',', '21', ',', ',', ',', ',', '26', ',', ',', ',', ',', '31', ','], XTICKS = 31 ;[plota diat x dados], [cor de fundo da janela],
[cor das linhas dos gráficos], [função para nomear a variável "y"], [intervalo da variável
em "x"], [intervalo da variável em "y"], [tamanho da fonte], [função para nomear a
variável "x"], [função para indicar os dias a baixo do gráfico], respectivamente.

```

end ;[deve ser sempre utilizado no final da rotina do programa para encerrar o mesmo].

A seguir na Figura 5.5 está o gráfico do índice Dst.

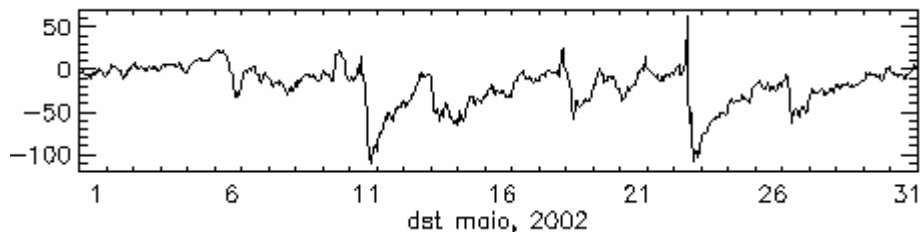


FIGURA 5.5 – Gráfico do índice Dst.

5.3 Gráfico das Contagens (%) Direcionais de Muons

Os dados das contagens (%) direcionais de muons observados em São Martinho da Serra pelo Telescópio Cintilador de Muons, em operação no Observatório Espacial do Sul - OES/CRSPE/INPE – MCT de 2001 a 2005, foram obtidos no banco de dados do CRSPE/INPE – MCT. Esses dados são gravados no formato txt. e podem ser visualizados na Figura 5.6.

Line	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	
1	4955	4763	4418	6250	4759	4574	5370	5136	3926	3845	2195	3963	2831	2871	2768	2884	4648																				
2	4946	4759	4410	6240	4748	4568	5369	5129	3920	3839	2192	3964	2822	2874	2747	2866	4685																				
3	4954	4755	4405	6245	4750	4572	5364	5128	3920	3840	2187	3948	2805	2868	2746	2887	4634																				
4	4947	4762	4408	6242	4743	4574	5353	5126	3920	3837	2188	3950	2805	2878	2752	2873	4683																				
5	4954	4752	4410	6220	4746	4573	5357	5130	3916	3839	2188	3946	2806	2858	2745	2886	4650																				
6	4948	4756	4406	6242	4753	4563	5357	5128	3920	3837	2189	3951	2804	2861	2755	2865	4656																				
7	4946	4747	4405	6219	4736	4559	5349	5134	3912	3833	2190	3958	2817	2871	2751	2880	4657																				
8	4943	4741	4407	6220	4750	4572	5358	5125	3911	3838	2189	3950	2808	2871	2763	2876	4676																				
9	4936	4761	4414	6222	4750	4560	5354	5123	3915	3835	2190	3945	2817	2890	2762	2864	4688																				
10	4933	4752	4410	6222	4744	4563	5351	5121	3912	3833	2188	3951	2805	2878	2761	2873	4653																				
11	4934	4749	4396	6222	4744	4560	5355	5121	3909	3833	2187	3942	2806	2868	2759	2856	4678																				
12	4942	4746	4396	6225	4746	4562	5358	5121	3910	3834	2187	3953	2827	2856	2761	2870	4667																				
13	4936	4742	4399	6235	4737	4561	5351	5129	3911	3833	2192	3953	2817	2883	2770	2868	4670																				
14	4933	4734	4391	6230	4733	4559	5346	5121	3908	3830	2185	3955	2801	2860	2754	2848	4687																				
15	4939	4742	4393	6230	4734	4548	5346	5123	3910	3828	2190	3958	2809	2860	2759	2863	4622																				
16	4931	4747	4400	6225	4735	4561	5346	5117	3910	3830	2186	3951	2804	2850	2758	2867	4638																				
17	4946	4752	4407	6247	4746	4563	5346	5127	3919	3833	2193	3964	2817	2877	2771	2863	4657																				
18	4946	4764	4414	6243	4736	4559	5354	5141	3921	3835	2196	3970	2837	2859	2772	2867	4663																				
19	4954	4768	4422	6257	4740	4556	5349	5144	3929	3834	2202	3969	2838	2880	2777	2876	4739																				
20	4947	4777	4425	6253	4741	4552	5346	5170	3928	3839	2204	3987	2848	2872	2789	2871	4711																				
21	4949	4780	4424	6262	4741	4537	5346	5179	3931	3836	2208	3988	2833	2902	2788	2875	4704																				
22	4944	4781	4418	6264	4738	4549	5348	5165	3929	3837	2204	3992	2841	2876	2770	2878	4673																				
23	4946	4782	4417	6260	4744	4563	5338	5155	3929	3836	2205	3978	2832	2888	2782	2898	4717																				
24	4971	4780	4430	6256	4753	4563	5348	5143	3934	3837	2203	3986	2819	2888	2782	2890	4720																				
25	4958	4778	4434	6272	4754	4560	5348	5149	3936	3840	2205	3983	2828	2886	2774	2882	4657																				
26	4964	4780	4430	6263	4753	4565	5350	5147	3934	3840	2204	3978	2842	2887	2781	2892	4685																				
27	4962	4786	4426	6258	4754	4569	5349	5158	3935	3842	2205	3994	2835	2872	2778	2890	4679																				
28	4961	4782	4435	6268	4751	4577	5351	5146	3936	3842	2203	3990	2833	2872	2773	2881	4667																				
29	4970	4791	4435	6266	4759	4585	5364	5136	3940	3845	2201	3983	2834	2876	2775	2878	4721																				
30	4977	4789	4441	6273	4754	4585	5362	5142	3943	3845	2207	3989	2846	2881	2782	2892	4684																				
31	4991	4788	4436	6273	4764	4586	5371	5141	3945	3848	2207	3991	2835	2894	2786	2888	4695																				
32	4976	4800	4450	6273	4773	4588	5374	5154	3946	3853	2211	3998	2854	2897	2793	2886	4726																				
33	4980	4807	4444	6285	4775	4587	5374	5164	3950	3855	2211	4002	2841	2896	2787	2910	4754																				
34	4989	4793	4456	6265	4771	4596	5381	5157	3946	3857	2208	3990	2832	2916	2775	2902	4763																				
35	4980	4792	4442	6280	4765	4586	5375	5156	3945	3852	2208	4000	2828	2888	2794	2898	4708																				
36	4986	4800	4441	6281	4769	4586	5384	5163	3948	3856	2208	3986	2841	2886	2782	2909	4739																				

FIGURA 5.6 – Visualização dos dados das contagens (%) direcionais de muons.

A seguir está a rotina utilizada para visualizar graficamente as contagens (%) direcionais de muons, esta rotina se encontra de forma semelhante a original do ambiente de programação, com um leve comentário logo após cada ponto e virgula (;), assim como se faz comentários no programa.

Rotina:

```
pro cdmuons ;[nome do arquivo no IDL].
```

```
result = read_ascii ('C:\IDL\dados muons maio 2002.txt') ;[função para ler o arquivo],  
[local onde esta gravado o arquivo], respectivamente.
```

```
data1 = result.(0)
```

```
tempo = data1(0,*) ;[primeira coluna e todas as linhas do arquivo].
```

```
U1 = data1(1,*) ;[todas as seqüências seguem de forma análoga a primeira].
```

```
U2 = data1(2,*)
```

```
U3 = data1(3,*)
```

```
U4 = data1(4,*)
```

```
L1 = data1(5,*)
```


L2 = data1(6,*)
 L3 = data1(7,*)
 L4 = data1(8,*)
 Us = data1(9,*)
 Ls = data1(10,*)
 WT = data1(11,*)
 V = data1(12,*)
 N = data1(13,*)
 S = data1(14,*)
 E = data1(15,*)
 W = data1(16,*)
 NEH = data1(17,*)
 NW = data1(18,*)
 SE = data1(19,*)
 SW = data1(20,*)
 PR = data1(21,*)
 RT = data1(22,*)

; para analisar a porcentagem da taxa de contagens média do mês de maio de 2002, usou-se a equação a seguir, onde a intensidade relativa é calculada em relação a média dos dados do ano.

$$\text{Contagens}(\%) = \left[\frac{\text{Contagens}(\text{Part./h}) - \text{MédiaAnual}}{\text{MédiaAnual}} \right] * 100.$$

contagensV = ((V-3949.226386)/3949.226386) * 100
 contagensN = ((N-2811.825197)/2811.825197) * 100
 contagensS = ((S-2861.92629)/2861.92629) * 100
 contagensE = ((E-2756.721062)/2756.721062) * 100
 contagensW = ((W-2863.796155)/2863.796155) * 100
 contagensNEH = ((NEH-4660.334947)/4660.334947) * 100
 contagensNW = ((NW-5323.349606)/5323.349606) * 100
 contagensSE = ((SE-5329.753838)/5329.753838) * 100
 contagensSW = ((SW-5419.957959)/5419.957959) * 100

!P.MULTI = [0,1,9] ;[modo de apresentar os gráficos] , [n° de colunas], [n° de gráficos].

!Y.Margin = [0,0] ;[espaço das margens em "y" em relação aos gráficos].

!x.Margin = [5,2] ;[espaço das margens em "x" em relação aos gráficos].

!Y.OMARGIN = [6,3] ;[espaço das margens de "y" em relação a janela].

!X.OMARGIN = [5,2] ;[espaço das margens de "x" em relação a janela].

window, 1, XSIZE = 512, YSIZE = 800 ;[janela 1], [dimensões da janela em "x"], dimensões da janela em "y"], respectivamente.

plot, tempo, contagensN, BACKGROUND = -1, COLOR = 0, Ytitle = 'cont.N', charsize = 2, X RANGE = [1,744], /XSTYLE, XTICKN = [' ', ' ', ' ', ' ', ' ', ' ', ' '], XTICKS = 6, YRANGE = [-3.99,5.99], /YSTYLE

:[plota tempo x contagensN], [cor de fundo da janela], [cor das linhas dos gráficos], [função para nomear a variável "y"], [tamanho da fonte], [intervalo da variável em "x"], [função para excluir a indicação do dia entre os gráficos], [intervalo da variável em "y"], respectivamente. Para os plots seguintes segue de forma análoga a explicação deste primeiro.

```
plot, tempo, contagensS, BACKGROUND = -1, COLOR = 0, Ytitle = 'cont.S', charsize =
2, X RANGE = [1,744], /XSTYLE, XTICKN = [',', ',', ',', ',', ',', ',', ',', ','], XTICKS =
6, Y RANGE = [-3.99,5.99], /YSTYLE
```

```
plot, tempo, contagensE, BACKGROUND=-1, COLOR = 0, Ytitle = 'cont.E', charsize = 2,
X RANGE = [1,744], /XSTYLE, XTICKN = [',', ',', ',', ',', ',', ',', ',', ','], XTICKS = 6, Y RANGE
= [-3.99,5.99], /YSTYLE
```

```
plot, tempo, contagensW, BACKGROUND = -1, COLOR = 0, Ytitle = 'cont.W', charsize =
2, X RANGE = [1,744], /XSTYLE, XTICKN = [',', ',', ',', ',', ',', ',', ',', ','], XTICKS = 6,
Y RANGE = [-3.99,5.99], /YSTYLE
```

```
plot, tempo, contagensNEH, BACKGROUND = -1, COLOR = 0, Ytitle = 'cont.NE',
charsize = 2, X RANGE = [1,744], /XSTYLE, XTICKN = [',', ',', ',', ',', ',', ',', ',', ','], XTICKS =
6, Y RANGE = [-3.99,5.99], /YSTYLE
```

```
plot, tempo, contagensNW, BACKGROUND = -1, COLOR = 0, Ytitle = 'cont.NW',
charsize = 2, X RANGE = [1,744], /XSTYLE, XTICKN = [',', ',', ',', ',', ',', ',', ',', ','], XTICKS =
6, Y RANGE = [-3.99,5.99], /YSTYLE
```

```
plot, tempo, contagensSE, BACKGROUND = -1, COLOR = 0, Ytitle = 'cont.SE', charsize =
2, X RANGE = [1,744], /XSTYLE, XTICKN = [',', ',', ',', ',', ',', ',', ',', ','], XTICKS = 6,
Y RANGE = [-3.99,5.99], /YSTYLE
```

```
plot, tempo, contagensSW, BACKGROUND = -1, COLOR = 0, Ytitle = 'cont.SW',
charsize = 2, X RANGE = [1,744], /XSTYLE, XTICKN = [',', ',', ',', ',', ',', ',', ',', ','], XTICKS =
6, Y RANGE = [-3.99,5.99], /YSTYLE
```

```
plot, tempo, contagensV, BACKGROUND = -1, COLOR = 0, Ytitle = 'cont.V', charsize =
2, X RANGE = [1,744], /XSTYLE, xtitle = 'maio, 2002', XTICKN = [' 1', ',', ',', ',', ',', ' 6', '
', ',', ',', ',', ' 11', ',', ',', ',', ' 16', ',', ',', ',', ' 21', ',', ',', ',', ' 26', ',', ',', ',', ' 31', ''], XTICKS =
31, Y RANGE = [-3.99,5.99], /YSTYLE
```

end ;[deve ser sempre utilizado no final da rotina do programa para encerrar o mesmo].

A seguir na Figura 5.7 está o gráfico das contagens (%) direcionais de muons.

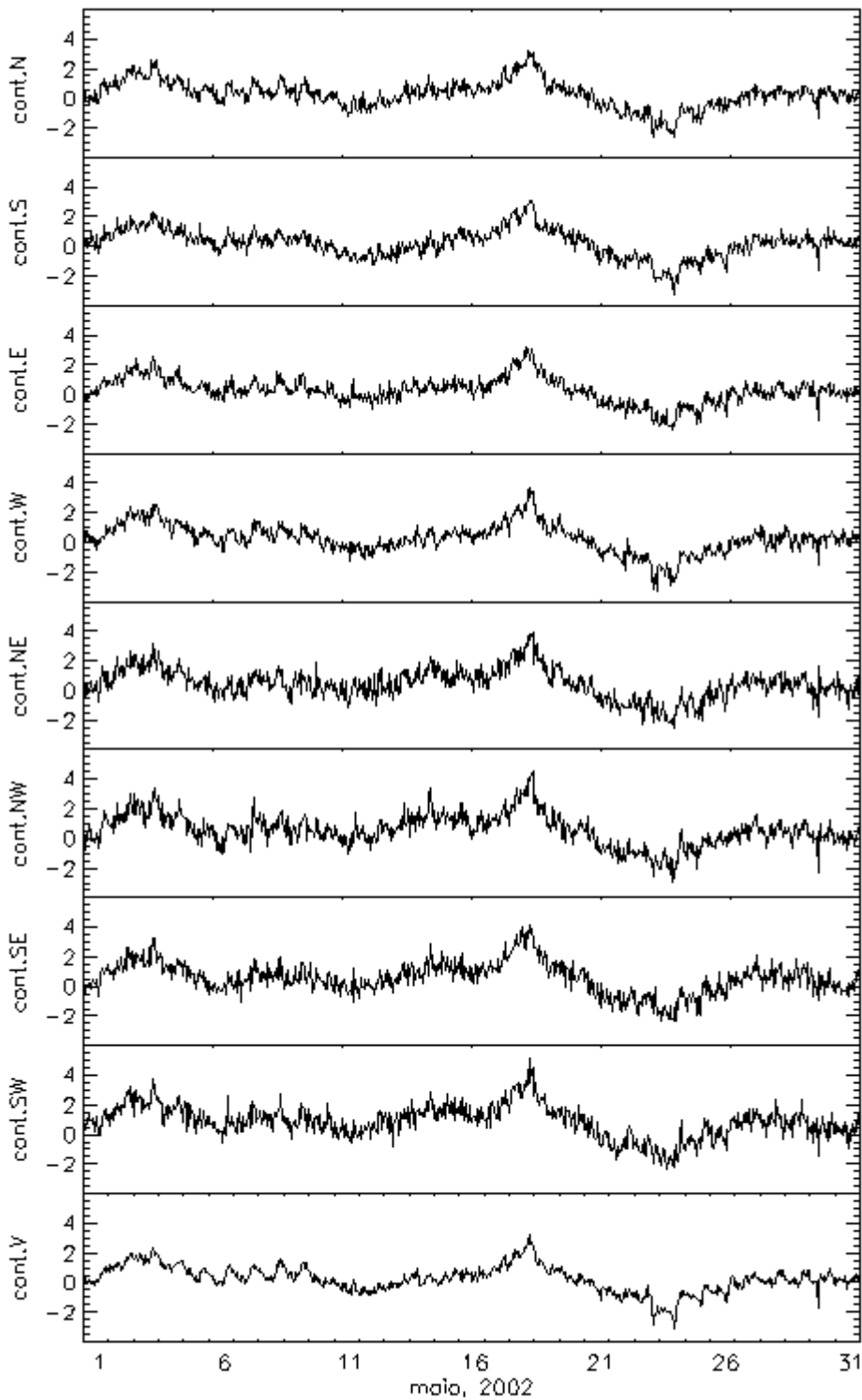


FIGURA 5.7 – Gráfico das contagens (%) direcionais de muons: N (Norte), S (Sul), E (Leste), W (Oeste), NE (Nordeste), NW (Noroeste), SE (Sudeste), SW (Sudoeste) e V (Vertical).

O índice Dst nos indica o momento em que houve a Tempestade Geomagnética, por isso para uma melhor análise gráfica dos dados do meio interplanetário e das contagens (%) direcionais de muons, podemos inserir o seu gráfico junto a estes. Para isto basta apenas juntar-mos suas rotinas no ambiente de programação IDL em apenas um programa, com apenas alguns cuidados: indicar o número correto de gráficos na função !P.MULTI, inserir para plotar o gráfico do índice Dst abaixo dos outros plots. A seguir na Figura 5.8 está o gráfico dos parâmetros do Meio Interplanetário junto ao do Dst.

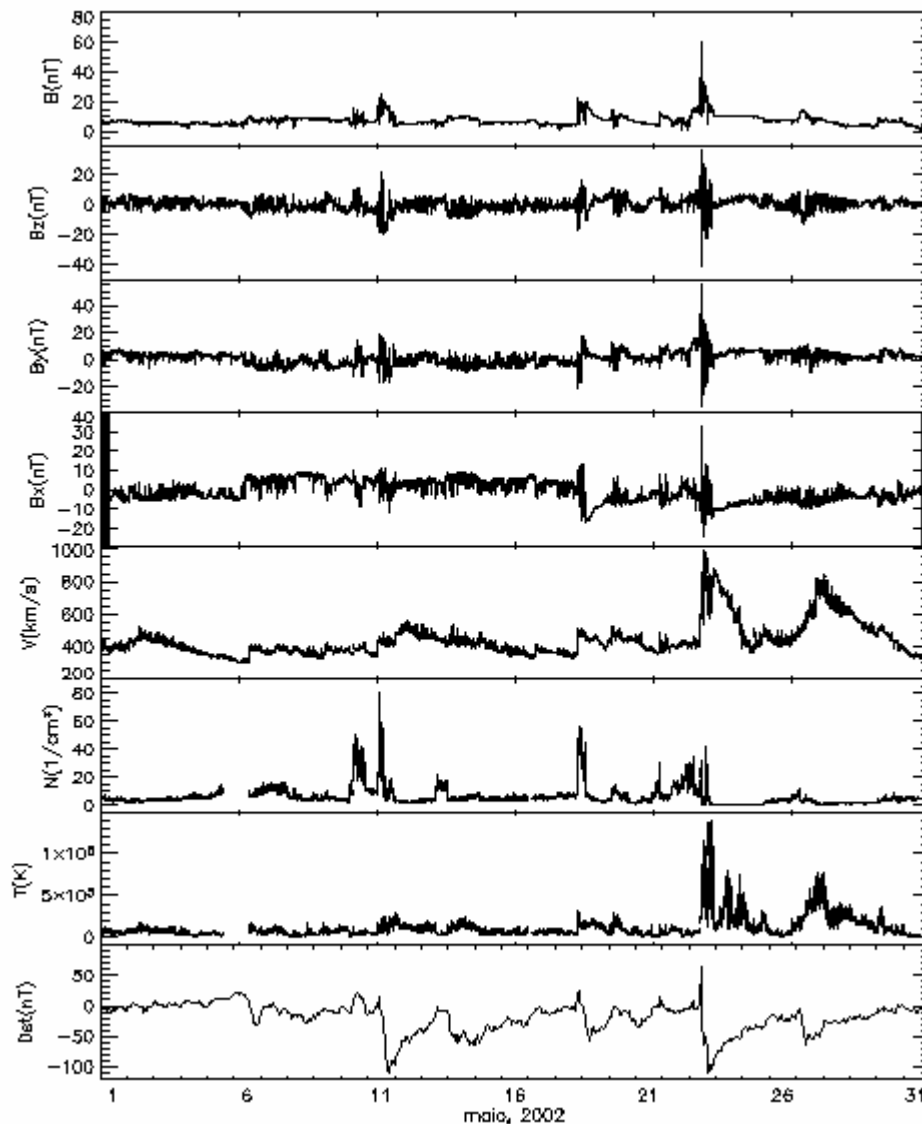


FIGURA 5.8 – Parâmetros do meio interplanetário: intensidade do campo magnético (B), as componentes Z, Y e X (B_z), (B_y) e (B_x) respectivamente, a velocidade das partículas (V), a densidade de prótons (N), e a temperatura de prótons (T), Dst.

CAPÍTULO 6

CONCLUSÕES

Com este trabalho desenvolvido foi possível: aprendizado de conceitos físicos relacionados às relações Sol-Terra, em especial em relação às ejeções de massa coronal observadas no Sol, sua Física e suas técnicas de observação e análise; conhecimento básico acerca da Física da Magnetosfera e do Meio Interplanetário, de raios cósmicos e suas relações com os distúrbios geomagnéticos; confecção de gráficos, com o software IDL, para visualização dos parâmetros interplanetários, geomagnéticos e de raios cósmicos.

Foi analisado graficamente o mês de maio do ano de 2002, quando ocorreram duas Tempestades Geomagnéticas Intensas ($Dst < -100$ nT) uma no dia 11 e a outra no dia 23, caracterizadas pelo decréscimo do índice Dst e das contagens (%) direcionais de muons, e pelo salto súbito dos parâmetros do meio interplanetário. Esta análise foi um passo inicial para futuras análise de eventos.

Houve participação de seminários propostos pelo CRSPE/INPE - MCT, da ampliação com a instalação do novo Telescópio Multidirecional de Muons de alto desempenho no Observatório Espacial do Sul - OES/CRSPE/INPE - MCT. Nessa oportunidade, houve forte interação com o Prof. Dr. Kazuoki Munakata, da Universidade de Shinshu, Japão, que é o principal investigador, cientista responsável pela Rede Internacional de Telescópios Multidirecionais Detectores de Muons e pela instalação do novo Telescópio Cintilador de Muons no OES/CRSPE/INPE - MCT. Houve forte interação com o Dr. Takao Kuwabara, que atualmente desenvolve pós-doutorado no *Bartol Research Institute*, da Delaware University, Estados Unidos.

Entre os dias de 6 a 10 de Março de 2006, tive a oportunidade de participar do congresso internacional *11th Quadrennial Solar Terrestrial Physics Symposium "Sun, Space Physics and Climate"*, no Rio de Janeiro – RJ. O qual tratou sobre os seguintes assuntos: Solar Influence on Climate; Space Weather: Science and Applications; Atmospheric Coupling Processes; Space Climatology. Saliento, que neste Congresso foram apresentados trabalhos em que participei como co-autor.

Participei como co-autor de trabalhos apresentados na 3^o Escola de Física Solar de El Leoncito-San Juan-Argentina e dos trabalhos intitulados: *Preliminary Data from the new muon telescope located in the southern space observatory at São Martinho Serra, RS, Brazil* que foi apresentado na *Egu General Assembly 2006* de 2 a 7 de Abril de 2006 que ocorreu em Viena, Áustria e no trabalho intitulado *Cosmic Ray Modulation And Noise Level On The Extended Multidirectional Muons Detector Telescope Installed In South Of Brazil: Preliminary Analysis* que será apresentado no *36th Cospar Scientific Assembly* em Beijing, China, de 16 a 23 de Julho de 2006.

Por fim, foi realizado um trabalho para o SICINPE 2006 com o título: **Análise das Origens Solares e Interplanetárias de Tempestades Geomagnéticas**. Autores: SILVA, Cristian Willian Saueressig da ; GONZALEZ, Walter Demetrio ; LAGO, Alisson Dal ; SCHUCH, Nelson Jorge, que foi ocultado para apresentação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Belov, A.; Eroshenko, E.; Oleneva, V.; Struminsky, A.; Yanke, V. What determines the nitide of Forbusch Decreases? *Advanced Space Research*, v. 27, p.625-630,2001
- Burlaga, L. F.; Lepping, R. P.; Jones, J. Global confuration of a magnetic cloud. In: Russel, C. T. Priest, E. N.; Lee, L. C. ed. *Physics os magnetic flux ropes*. Washington, DC: AGU, 1970. v.58, p.373-385.
- Burlaga, L. F.; Fitzenreiter, R.; Lepping, R.; Ogilvie, K.; Szabo, A. Lazarus, A.; Steinberg, J.; Gloeckler, G.; Howard, R.; Michels, D.; Farrugia, C.; Lin, Rp.; Larson, D. E. A magnetic cloud containing proeminence material: January 1997. *J. Geophys. Res.*, v.103, n.A1, p.277-285, Jan. 1998.
- Brant, J. C.; *Introduction to the solar wind*. San Francisco: W. H. Freeman, 1970. 216p.
- Dal Lago, A. Estudo de nuvens magnéticas geofetivas no meio interplanetário. São José dos Campos. 122p. (INPE – 7263 – TDI/705). Dissertação (Mestrado em Geofísica Espacial) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1999.
- Dal Lago, A. Estudo das estruturas geofetivas no meio interplanetário e de suas causas solares. (INPE – 10298 – TDI/917). Tese (Doutorado em Geofísica Espacial) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos (2004).
- Da Silva, M. R. *Varição da Intensidade dos Raios Cósmicos em Resposta a Diferentes Estruturas Magnéticas do Meio Interplanetário*. Dissertação (Mestrado em Geofísica Espacial) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, São Paulo (2005).
- Fox. N. J.; Peredo, M.; Thompson, B. T. Cradle to grave trasking of the January 6-11, 1997 Sun-Earth connection event. *Geophys. Res. Lett.*, v.25, n.14, p.2461-2464, Jul. 1998.
- Gonzalez, W. D.; e Tsurutani, B. T. Criteria of interplanetary parameters causing intense magnetic storms (Dst < -100 nT). *Planet. Space Sci.*, v.35, n.9, p.1101-1109, jul. 1987.
- Gonzalez, W. D.; Joselyn, J. A.; Kamide, Y.; Kroehl, H. W.; Rostoker, G.; Tsurutani, B. T.; e Vasyliunas, V. M. What is a magnetic storm?. *J. Geophys. Res.*, v.99, n.A4, p.5771-5792, Apr. 1994.
- Gonzalez, W. D.; Tsurutani, B. T.; Clua de Gonzalez, A. L. Interplanetary origin of geomagnetic storms. *Space Sci. Rev.* v.88, p.529-562, 1999.
- Gopallmswamy, N; Hanaoka, Y.; Kosugi, .; Lepping, R. P.; Steiberg, J. T.; Plunkett, S.; Howard, R. A.; Thompson, B. J.; Gurman, J.; Ho, G.; Nitta, N.; Hudson. H. S. On the relationship between coronal mass ejections na magnetic clouds. *Geophys. Res. Lett.*, v.25, n.14, p.2485-2488, July 1998.

Gosling, J.T. Coronal mass ejection and magnetic flux ropes in interplanetary space. In: Russel, C. T. Priest, E. N. , e Lee, L. C. Ed. Physics os magnetic flux ropes. Washington, DC: AGU, 1990. v. 58, p.343-364.

Hewish, A.; Bravo, S. *The sources of large-scale heliospheric disturbances*. Solar Phys., v.106, p.185-200, Apr. 1986.

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

Jokipii, J. Cosmic rays. American Geophysics Union – AGU, 1998. p. 123-132.

Klein, L. W.; Burlaga, L. F. Interplanetary magnetic clouds at 1 AU. J. Geophys. Res., v.87, n.A2, p.613-624, Feb. 1982.

Kamide, Y.; Baumjohann, W.; Daglis, I. A.; Gonzalez, W. D.; Grande, M.; Joselyn, J.A.; McPherron, R. L.; Phillips, J. L.; Reeves, E. G. D.; Rostoker, G.; Sharma, A. S.; Singer, H. J.; Tsurutani, B. T.; Vasyliunas, V. M.; *Current understanding of magnetic storms: storm-substorm ralationships*. J. Geophys. Res., v.103, n.A8, p.17705-17728, Aug. 1998.

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

Neugebauer, M.; Goldstein, R. Particle and field signatures of coronal mass ejections in the solar wind. In: Crooker, N.; Joselyn J. A.; Feynman, J. ed. Coronal mass ejections. Washington, DC: AGU, 1997. v.99, p.245-251

Parker, EN. The stellar-wind regions. *Astrphys. J.*, v.134, p.20-27, Feb. 1961.

Pneuman, G. W.; Kopp, R. A Coronal treamers III: energy transport in streamers and interstreamer regions. *Solar Phys*, v.13, p.176-193, Jan. 1970.

Tsurutani, B. T.; Gonzalez, W. D.; Tang, F.; Akasofu, S.I.; Smith, E. J. Origin of interplanetary southward magnetic field responsible for major magnetic storms near solar maximum (1978-1979). *J. Geophys. Res.*, v.93, nA8, p.8519-8531, Aug. 1988.

Tsurutani, B. T.; Gonzalez, W. D.; Tang, F.; Lee, Y. T. Great magnetic storms. *Geophys. Res. Lett.*, v.19 n.1, p.73-76, Jan. 1992.

Tsurutani, B. T.; Gonzalez, W. D.; *The interplanetary cause of magnetic storms: a review*. In: Tsurutani, B. T.; Gonzalez, W. D.; Kamide, Y.; Arballo, J. A. ed. *Magnetic storms*. Washington, DC: AGU, 1997. v.98, p.77-89.

<http://astro.if.ufrgs.br/esol/esol.html>

http://helios.gsfc.nasa.gov/ace_spacecraft.html

<http://helios.gsfc.nasa.gov/ace/gallery.html>

http://nedwww.ipac.caltech.edu/level5/March03/Vallee2/Vallee3_2.html

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

<http://swdcwww.kugi.kyoto-u.ac.jp/dst2/onDstindex.html>

<http://www.bartol.udel.edu>

<http://www.lip.pt/experiments/trc/oqsao/oqsaol.htm>

<http://www.oulu.fi/~spaceweb/textbook/cycle.html>

<http://www.nascom.gov/>

ANEXOS

ANEXO 1

**TÍTULOS E RESUMOS DE TRABALHOS APRESENTADOS E OU SUBMETIDOS
NO PERÍODO DE VIGÊNCIA DA BOLSA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA
(AGOSTO/2005 – JULHO/2006).**

TRABALHOS APRESENTADOS E ACEITOS

1 – **SILVA, Cristian Willian Saueressig da ; GONZALEZ, Walter Demetrio ; LAGO, Alisson Dal ; SCHUCH, Nelson Jorge. Analise das Origens Solares e Interplanetárias de Tempestades Geomagnéticas.** SICINPE 2006.

2 – SAVIAN, Jairo Francisco ; SILVA, Marlos Rockenbach da ; LAGO, Alisson Dal ; BRAGA, Carlos Roberto ; **SILVA, Cristian Willian Saueressig da ; SANTOS, Luiz Cezar Nunes dos ; SILVA, Samuel Martins da ; ECHER, Ezequiel ; VIEIRA, Luiz Eduardo Antunes ; MUNAKATA, Kazuoki ; KUWABARA, Takao ; SCHUCH, Nelson Jorge. Analysis of the three intense e geomagnetic storm observed on July 20-31, 2004: Solar, interplanetary and cosmic ray effects near the earth.** In: 36TH Cospar Scientific Assembly, 2006, Beijing.

3 – SAVIAN, Jairo Francisco ; SILVA, Marlos Rockenbach da ; LAGO, Alisson Dal ; BRAGA, Carlos Roberto ; SANTOS, Luiz Cezar Nunes dos ; **SILVA, Cristian Willian Saueressig da ; SILVA, Samuel Martins da ; ANDRIOLI, Vânia Fátima ; MUNAKATA, Kazuoki ; SCHUCH, Nelson Jorge . Preliminary data from the new muon telescope located in the Southern Space Observatory at São Martinho Serra, RS, Brasil.** In: European Geosciences Union General Assembly, 2006, Viena, 2006.

4 – SAVIAN, Jairo Francisco ; BRAGA, Carlos Roberto ; ANDRIOLI, Vânia Fátima ; SILVA, Samuel Martins da ; **SILVA, Cristian Willian Saueressig da ; SILVA, Marlos Rockenbach da ; LAGO, Alisson Dal ; GONZALEZ, Walter Demetrio ; MUNAKATA, Kazuoki ; BIEBER, John ; SCHUCH, Nelson Jorge . Analysis of the solar and interplanetary origin of intense geomagnetic storms and their effects on ground cosmic rays.** In: 11th Quadrennial STP Symposium on Sun, Space Physics and Climate, 2006, Rio de Janeiro - RJ, 2006.

5 – SILVA, Samuel Martins da ; ANDRIOLI, Vânia Fátima ; BRAGA, Carlos Roberto ; **SILVA, Cristian Willian Saueressig da ; SAVIAN, Jairo Francisco ; ECHER, Ezequiel ; SCHUCH, Nelson Jorge . A comparative study of planetary bow shocks.** In: 11th Quadrennial STP Symposium on Sun, Space Physics and Climate, 2006, Rio de Janeiro - RJ, 2006.

6 – BRAGA, Carlos Roberto ; SAVIAN, Jairo Francisco ; **SILVA, Cristian Willian Saueressig da ; SILVA, Samuel Martins da ; ANDRIOLI, Vânia Fátima ; SILVA, Marlos Rockenbach da ; LAGO, Alisson Dal ; MUNAKATA, Kazuoki ; SCHUCH, Nelson Jorge . Ampliation of the international high-energy cosmic rays (muons) detector network.** In: 11th Quadrennial STP Symposium on Sun, Space Physics and Climate, 2006, Rio de Janeiro - RJ, 2006.

7 – SAVIAN, Jairo Francisco ; LAGO, Alisson Dal ; SILVA, Marlos Rockenbach da ; LUCAS, Aline de ; SANTOS, Luiz Cezar Nunes dos ; SILVA, Samuel Martins da ; BRAGA, Carlos Roberto ; **SILVA, Cristian Willian Saueressig da ; ANDRIOLI, Vânia Fátima ; ECHER, Ezequiel ; VIEIRA, Luiz Eduardo Antunes ; GONZALEZ, Walter Demetrio ; MUNAKATA, Kazuoki ; BIEBER, John ; SCHUCH, Nelson Jorge . On the solar and Interplanetary origin of intense geomagnetic storms and ground cosmic ray response.** In: 3rd El Leoncito School of Solar Physics, 2005, San Juan, 2005.

8 – SILVA, Samuel Martins da ; SAVIAN, Jairo Francisco ; BRAGA, Carlos Roberto ; **SILVA, Cristian Willian Saueressig da** ; ANDRIOLI, Vânia Fátima ; ECHER, Ezequiel ; SCHUCH, Nelson Jorge . **A comparative study of planetary bow shocks**. In: 3rd El Leoncito School of Solar Physics, 2005, San Juan, 2005.

9 – BRAGA, Carlos Roberto ; SAVIAN, Jairo Francisco ; ANDRIOLI, Vânia Fátima ; SANTOS, Luiz Cezar Nunes dos ; **SILVA, Cristian Willian Saueressig da** ; LAGO, Alisson Dal ; SILVA, Marlos Rockenbach da ; GONZALEZ, Walter Demetrio ; ECHER, Ezequiel ; VIEIRA, Luiz Eduardo Antunes ; LUCAS, Aline de ; MUNAKATA, Kazuoki ; BIBER, John ; SCHUCH, Nelson Jorge . **Upgrade of the Southern Space Observatory's multidirecional muons detector telescope**. In: 3rd El Leoncito School of Solar Physics, 2005, San Juan, 2005.

ANÁLISE DAS ORIGENS SOLARES E INTERPLANETÁRIAS DE TEMPESTADES GEOMAGNÉTICAS INTENSAS

Cristian Willian S. da Silva¹ (LACESM/CT/UFSM, Bolsista PIBIC/INPE - CNPq/MCT)

Dr. Walter Demétrio Gonzalez Alarcon² (DGE/CEA/INPE - MCT, Orientador)

Dr. Alisson Dal Lago³ (DGE/CEA/INPE - MCT, Co-orientador)

Dr. Nelson Jorge Schuch⁴ (CRSPE/INPE - MCT, Co-orientador)

RESUMO

Este projeto teve como objetivo inicial estudar a bibliografia especializada acerca da fenomenologia relativa às ejeções de massa coronal (CMEs, do inglês “*Coronal Mass Ejections*”), como por exemplo teses e dissertações produzidas pela linha de pesquisa em Magnetosfera-Heliosfera da Divisão de Geofísica Espacial (DGE/CEA/INPE - MCT). Eventos de CMEs solares com as estruturas correspondentes nas proximidades da Terra, foram analisados utilizando observações do satélite ACE (*Advanced Composition Explorer*) da NASA, que fornece observações de plasma e campo magnético no meio interplanetário. Sob essa ótica ampla das relações Sol-Terra, foram analisados os efeitos dessas estruturas solar-interplanetárias na atividade geomagnética utilizando índices geomagnéticos, e os efeitos nos raios cósmicos de alta energia (muons) observados em São Martinho da Serra pelo Telescópio Prototipo Multi-direcional de Muons (8 detectores dispostos em duas camadas 2 x 2), em operação no Observatório Espacial do Sul (OES/CRSPE/INPE – MCT) desde 2001, ampliado em dezembro de 2005 (56 detectores dispostos em duas camadas 4 x 7). Para a análise dos eventos e efeitos nos muons, foi necessário um aprendizado do ambiente de programação IDL, no qual foram desenvolvidas rotinas para visualização gráfica dos dados. Com este trabalho desenvolvido foi possível: aprendizado de conceitos físicos relacionados às relações Sol-Terra, em especial em relação às ejeções de massa coronal observadas no Sol, sua Física e suas técnicas de observação e análise; aprimoramento dos conhecimentos acerca da Física da Magnetosfera e do Meio Interplanetário, de raios cósmicos; confecção de gráficos para visualização dos parâmetros interplanetários, geomagnéticos e de raios cósmicos, relacionados a distúrbios geomagnéticos.

¹ Aluno de Graduação em Física Licenciatura Plena, UFSM. **E-mail: cristian@lacesm.ufsm.br**

² Pesquisador da Divisão de Geofísica Espacial, Coordenação Geral de Ciências Espaciais e Atmosféricas - DGE/CEA/INPE - MCT, **E-mail: gonzalez@dge.inpe.br**

³ Pesquisador da Divisão de Geofísica Espacial - DGE/CEA/INPE - MCT, **E-mail: dallago@dge.inpe.br**

⁴ Pesquisador, Coordenador da Ação 1275 de Implantação do CRSPE e Chefe da RSU/CIE/INPE - MCT. **E-mail: njschuch@lacesm.ufsm.br**

**ANALYSIS OF THE THREE INTENSE GEOMAGNETIC STORM OBSERVED
ON JULY 20-31, 2004: SOLAR, INTERPLANETARY AND COSMIC RAY
EFFECTS NEAR THE EARTH.**

J. F. Savian¹, M. R. da Silva², A. Dal Lago², C. R. Braga¹, C. W. S. da Silva¹,
L. C. N. dos Santos¹, S. M. da Silva¹, E. Echer², L. E. A. Vieira², K. Munakata³,
T. Kuwabara⁴, N. J. Schuch¹

*1 Southern Regional Space Research Center (CRSPE/INPE – MCT) and Space Science
Laboratory of Santa Maria, Federal University of Santa Maria (LACESM/CT/UFSM),
Santa
Maria, 97910-110, (RS), Brazil,*

*2 Space Geophysics Division, National Institute for Space Research (DGE/CEA/INPE –
MCT),
São José dos Campos, 12201-970, (SP), Brazil,*

*3 Physics Department, Faculty of Science, Shinshu University, Matsumoto, 390-8621,
Japan,*

*4 Bartol Research Institute, University of Delaware (BARTOL/UDEL), Newark, (DE),
19716,
USA.*

ABSTRACT

Geomagnetic storms are geomagnetic field disturbances caused by gusts in the solar wind, injecting a substantial quantity of energy into the magnetosphere, intensifying the ring current, becoming strong enough to exceed some key threshold of the quantifying storm time Dst index. In this work we analyze three intense geomagnetic storms ($Dst < -100nT$) occurred in period of July 22nd, 24th and 27th, 2004. We use images of solar corona made by Large Angle and Spectroscopic Coronagraph (LASCO) and the solar disk made by the Extreme Ultraviolet Imaging Telescope (EIT) aboard the Solar and Heliospheric Observatory (SOHO). Observations of plasma and interplanetary magnetic field obtained by the Advanced Composition Explorer (ACE) were also used. We analyze high energy cosmic ray observations obtained using the Muon Telescope of the Brazilian Southern Space Observatory-SSO of the INPE's Southern Regional Space Research Center at ($29^{\circ}26'24''S$; $53^{\circ}48'38''W$) for identify Forbush decreases in the cosmic ray intensity. The main objective of this work is study three intense geomagnetic storms ($Dst < -100 nT$), that occurred in a relatively small time interval, in order to identify their solar origin, interplanetary counterparts and cosmic ray modulation near the Earth. This study is important for the study of energetic cosmic rays modulation due to a subsequent chain of interplanetary disturbances, and in the near future it will help the understanding of space weather cosmic ray variability.

**Preliminary data from the new muon telescope located
in the Southern Space Observatory at São Martinho
Serra, RS, Brasil.**

J. F. Savian(1, 3), M. R. da Silva(2), A. Dal Lago(2), C. R. Braga(1, 3), L. C. N. dos Santos(1,3), C. W. S. da Silva(1,3), S. M. da Silva(1,3), V. F. Andrioli(1,3), K. Munakata(4), N. J. Schuch(3)

(1) Space Science Laboratory of Santa Maria – LACESM/CT/UFSM, Brasil, (2) National Institute for Space Research – INPE/MCT, Brasil, (3) Southern Regional Space Research Center – CRSPE/INPE/MCT, Brasil, (4) Physics Department, Faculty of Science, Shinshu University, Matsumoto Japan.
(savian@lacesm.ufsm.br/ +55-553220-8021)

Large geomagnetic storms are primarily caused by interplanetary disturbances associated with coronal mass ejection (CMEs). The cosmic ray particles of intensities $> 1\text{GeV}$ are normally suppressed by a factor of ~ 1 to 10% downstream the CME shock and within the CME ejecta following the shock. In addition to these intensity depressions, called “Forbush decreases” (FDs), precursory phenomena appearing upstream the CME shock have also been reported. Munakata et. al. (2000) have identified cosmic ray precursors with lead times ranging from six to nine hours prior to the storm sudden commencement (SSC) and demonstrated that the muon detector network may provide useful information for space weather forecasting. In early March 2001, a small prototype muons detector was installed at Sao Martinho da Serra ($29^{\circ}26'24''\text{S}$, $53^{\circ}48'38''\text{W}$, above 500m sea level), at the SSO of INPE, Brazil. The detector consists of two horizontal layers of plastic scintillators separated by 1.73 m, with an intermediate 5 cm thick layer of lead to absorb the soft component in cosmic rays in the atmosphere. Each layer comprises a 2×2 array of 1 m^2 unit detectors ($1\text{m} \times 1\text{m} \times 0.1\text{m}$ plastic scintillator viewed by a photomultiplier tube of 12.7 cm diameter) giving a total detection area of 4 m^2 . In December 2005 this detector was upgraded to a 7×4 configuration, enlarging its detection capability. In this work we present some preliminary data from this new muon telescope. This study is important for the monitoring of energetic cosmic rays and their response to interplanetary magnetic disturbances, and in the near future it will be used for space weather forecasting.

ANALYSIS OF THE SOLAR AND INTERPLANETARY ORIGIN OF INTENSE GEOMAGNETIC STORMS AND THEIR EFFECTS ON GROUND COSMIC RAYS

Jairo Francisco Savian^(1,2), Carlos Roberto Braga^(1,2),
Cristian Saueressig da Silva^(1,2), Samuel Martins da Silva^(1,2),
Vânia Fátima Andrioli^(1,2), Marlos Rockembach da Silva⁽²⁾,
Alisson Dal Lago⁽²⁾, Walter Demetrio Gonzalez⁽²⁾, Kazuoki Munakata⁽³⁾,
John Bieber⁽⁴⁾, Nelson Jorge Schuch⁽⁵⁾

⁽¹⁾ Space Science Laboratory of Santa Maria – LACESM/CT – UFSM, Santa Maria, Brasil,

⁽²⁾ National Institute For Space Research – INPE – MCT, São José dos Campos, Brasil, ⁽³⁾ Physics Department, Faculty of Science, Shinshu University, Matsumoto, Japan. ⁽⁴⁾ Bartol Research Institute, University of Delaware, Newark, USA, ⁽⁵⁾ Southern Regional Space Research Center – CRSPE/INPE – MCT, Santa Maria, Brasil

Abstract

Solar coronal mass ejections (CMEs) are the principal cause of the intense geomagnetic storms at Earth. In this paper we study the solar origin of intense geomagnetic storms ($Dst < -100nT$), in the period from April 2001 to May 2005, using observations of the *Large Angle and Spectroscopic Coronagraph* (LASCO) instrument, aboard the *Solar and Heliospheric Observatory* (SOHO). In order to do that, we correlate the geoeffective interplanetary structures near the Earth, using observations of *Advanced Composition Explorer* (ACE) satellite, with solar CMEs. ACE supplies observations of plasma and magnetic field in the interplanetary medium. We analyze the effects this solar-interplanetary structures in geomagnetic activity using geomagnetic index and modulation effects in high-energy cosmic rays (muons) observed in South of Brazil at Sao Martinho da Serra, with the multidirectional muon telescope in the Southern Space Observatory – SSO of the INPE's Southern Regional Space Research Center at (29°26'24"S, 53°48'38"W). In this project we present preliminary results and future perspectives.

A COMPARATIVE STUDY OF PLANETARY BOW SHOCKS

S. M. da Silva^{1,3}, V. F. Andrioli^{1,3}, C. R. Braga^{1,3}, C. W. S. da Silva^{1,3}, J. F. Savian^{1,3}, E. Echer², N. J. Schuch³

Space Science Laboratory of Santa Maria – LACESM/UFSM, Santa Maria, RS, Brazil.

National Institute for Space Research – INPE – MCT, São José Campos, SP, Brazil.

Southern Regional Space Research Center – CRSPE/INPE – MCT, Santa Maria, RS, Brazil.

samuel@lacesm.ufsm.br/ Fax: +55 – 55 3220 8007

We present a comparative study of planetary bow shocks in the solar system. The planetary bow shocks shape and strength will depend both on the planetary magnetosphere and on the solar wind strength (Mach number). The solar wind properties vary with the heliocentric distance and this variation will influence on the solar wind – planet interaction. In the solar system, it is known that planets have two types of magnetospheres: induced (Venus, Mars) and intrinsic (Earth, Mercury, Jupiter, Saturn, Uranus, Neptune). The induced magnetospheres of Venus and Mars are caused by the interaction of solar wind with their ionospheres, since their intrinsic magnetic fields are very weak. The others planets are known to have an internal magnetic field (with exception of Pluto, which it is not know at present if it has or not an intrinsic magnetic field). These differences in the magnetospheres will cause different types of bow shocks. We review the present day knowledge about these bow shocks and show examples of bow shock crossings as measured by magnetometers on spacecrafts.

AMPLIATION OF THE INTERNATIONAL HIGH-ENERGY COSMIC RAYS (MUONS) DETECTOR NETWORK

Carlos Roberto Braga ^(1,2), Jairo Francisco Savian ^(1,2),
Cristian Willian Saueressig da Silva ^(1,2), Samuel Martins
da Silva ^(1,2), Vânia Fátima Andrioli ^(1,2),
Marlos Rockenbach da Silva ⁽³⁾, Alisson Dal Lago ⁽³⁾,
Kazuoki Munakata ⁽⁴⁾, Nelson Jorge Schuch ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Southern Regional Space Research Center (CRSPE/INPE - MCT), Santa Maria, Brazil.

⁽²⁾ Space Science Laboratory of Santa Maria - (LACESM/CT/UFESM - MEC), Santa Maria, Brazil.

⁽³⁾ Space Geophysics Division, National Center for Space Research (DGE/CEA/INPE - MCT), Sao Jose dos Campos, Brazil.

⁽⁴⁾ Physics Department, Faculty of Science, Shinshu University, Matsumoto, Japan.

The utilization of high-energy cosmic-ray (muons) detectors is been shown to be a useful tool for Space Weather studies and forecasting. The objective of this studies to show preliminary cosmic-ray response to interplanetary geoeffective events and comment on the engineering-related aspects of the ampliation of the prototype multidirectional muons detector telescope at the Southern Space Observatory (SSO/CRSPE/INPE - MCT), at geographic coordinates (29°26'24''S, 53°48'38''W) and geomagnetic coordinates (19°13'48''S and 16°30'E) with inclination "dip" 33°S, in Sao Martinho da Serra, Brazil. We use the vertical component hourly muon count rates of SSO's detector, Kyoto's hourly Equatorial Dst values and IMF data from the *Advanced Composition Explorer* (ACE) satellite for periods with intense geomagnetic storms (Dst < -100nT). We plotted the data and observed, at many times, a decrease in the hourly muon count rates during the geomagnetic storms (Forbush decreases). On the second part, we use manufacturer's information and obtain a general description of the prototype's construction/operation and muon counting characteristics, in order to allow future works linked with ground-based high-energy comic ray Space Weather instrumentation. The data in analysis tend to confirm previous studies that show a gap in muon detector coverage and the necessity of the current network ampliation.

UPGRADE OF THE INTERNATIONAL HIGH-ENERGY COSMIC RAY (MUONS) DETECTOR NETWORK

C. R. Braga^(1,2), J. F. Savian^(1,2), C. W. S. da Silva^(1,2), S. M. da Silva^(1,2), V. F. Andrioli^(1,2),
M. R. da Silva⁽³⁾, A. Dal Lago⁽³⁾, K. Munakata⁽⁴⁾, N. J. Schuch^(1,2).

1 - Southern Regional Space Research Center, National Institute for Space Research (CRSPE/INPE – MCT), Santa Maria, Brazil

2 - Space Sciences Laboratory of Santa Maria, Federal University of Santa Maria (LACESM/CT/UFSM), Santa Maria, Brazil

3 - Space Geophysics Division, National Institute for Space Research (DGE/CEA/INPE – MCT), São José dos Campos, Brazil

4 - Physics Department, Faculty of Science, Shinshu University, Matsumoto, Japan
carlos@lacesm.ufsm.br / Fax: +55-55-220-8007

The utilization of high-energy cosmic-ray (muons) detectors has been shown to be a useful tool for Space Weather studies and forecasting. The objective of this study is to show preliminary cosmic-ray response to interplanetary geoeffective events and comment on the engineering-related aspects of the upgrade of the prototype multidirectional muons detector telescope at the Southern Space Observatory (SSO/CRSPE/INPE – MCT), at geographic coordinates (29°26'24''S, 53°48'38''W) and geomagnetic coordinates (19° 13' 48''S and 16°30'E) with inclination “dip” 33°S, in Sao Martinho da Serra, Brazil. We use the vertical component hourly muon count rates of SSO's detector, Kyoto's hourly Equatorial Dst values and IMF data from the Advanced Composition Explorer (ACE) satellite for periods with intense geomagnetic storms (Dst < -100nT). We plotted the data and observed, at many times, a decrease in the hourly muon count rates during the geomagnetic storms (Forbush decreases). On the second part, we use manufacturer's information and obtain a general description of the prototype's construction/operation and muon counting characteristics, in order to allow future works linked with ground-based high-energy cosmic ray Space Weather instrumentation. The data in analysis tend to confirm previous studies that show a gap in muon detector coverage and the necessity of the current network upgrade.



NATIONAL INSTITUTE FOR SPACE RESEARCH - INPE/MCT
 SOUTHERN REGIONAL SPACE RESEARCH CENTER - CRSPE/INPE - MCT
 SOUTHERN SPACE OBSERVATORY - OES/CRSPE/INPE - MCT

FEDERAL UNIVERSITY OF SANTA MARIA - UFSM
 CENTER OF TECHNOLOGY - CT
 SPACE SCIENCE LABORATORY OF SANTA MARIA - LACESM/CT - UFSM



UPGRADE OF THE INTERNATIONAL HIGH-ENERGY COSMIC RAY (MUONS) DETECTOR NETWORK

C. R. Braga^(1,2), J. F. Savian^(1,2), C. W. S. da Silva^(1,2), S. M. da Silva^(1,2)
 M. R. da Silva⁽³⁾, A. Dal Lago⁽³⁾, K. Munakata⁽⁴⁾, N. J. Schuch^(1,2)

1 - Southern Regional Space Research Center, National Institute for Space Research (CRSPE/INPE - MCT), Santa Maria, Brazil
 2 - Space Sciences Laboratory of Santa Maria, Federal University of Santa Maria (LACESM/CT/UFSM), Santa Maria, Brazil
 3 - Space Geophysics Division, National Institute for Space Research (DGE/CEA/INPE - MCT), São José dos Campos, Brazil
 4 - Physics Department, Faculty of Science, Shinshu University, Matsumoto, Japan
 carlos@lacesm.ufsm.br / Fax: +55-55-220-8007

ABSTRACT

The utilization of high-energy cosmic-ray (muons) detectors has been shown to be a useful tool for Space Weather studies and forecasting. The objective of this study is to show preliminary cosmic-ray response to interplanetary geoeffective events and comment on the engineering-related aspects of the upgrade of the prototype multidirectional muons detector telescope at the Southern Space Observatory (SSO/CRSPE/INPE - MCT) at geographic coordinates (29°26'24"S, 53°46'38"W) and geomagnetic coordinates (129°13'48"E and 169°30"E) with inclination ψ_p 33°. In São Martinho da Serra, Brazil. We use the vertical component hourly muon count rates of SSO's detector, Kyoto's hourly Equatorial Det values and IMF data from the Advanced Composition Explorer (ACE) satellite for periods with intense geomagnetic storms (Dst < -100nT). We plotted the data and observed, at many times, a decrease in the hourly muon count rates during the geomagnetic storms (Forbush decreases). On the second part, we use manufacturer's information and obtain a general description of the prototype's construction/operation and muon counting characteristics, in order to allow future works linked with ground-based high-energy cosmic ray Space Weather instrumentation. The data in analysis tend to confirm previous studies that show a gap in muon detector coverage and the necessity of the current network upgrade.

INTRODUCTION

Since the detectors with large volume can be installed at ground-based stations, neutron monitor and muon detectors are the preferred monitors for measuring anisotropies of > 1 GeV cosmic rays^[1]. In early March 2001, a small prototype muons detector was installed at São Martinho da Serra, RS, Brazil (29°26'24"S, 53°46'38"W, above 488 m sea level), at the Southern Space Observatory (SSO/CRSPE/INPE - MCT).

OBJECTIVE

The objective is to show preliminary cosmic-ray response to interplanetary geoeffective events and comment on the engineering-related aspects of the upgrade of the prototype multidirectional muons detector telescope at the SSO.

PROTOTYPE x EXTENDED MUONS DETECTOR TELESCOPE

The prototype detector (see Figure 2) consists of two horizontal layers of plastic scintillators separated by 1.73 m, with an intermediate 5 cm thick layer of lead to absorb the soft component of the cosmic rays in the atmosphere. Each layer comprises a 2 x 2 array of 1 m² unit detectors (1 m x 1 m x 0.1 m plastic scintillator viewed by a photomultiplier tube of 12.7 cm diameter) giving a total detection area of 4m²^[1]. During December 2005, the extended muons detector was assembled (Figure 3). This upgrade increases the detecting area 600% and reduced the count rate error from 0.16% to 0.06%. The main differences between the prototype and the extended telescope are given on Table 1.

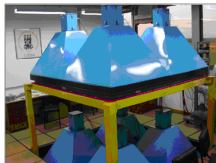


FIGURE 2 - A photograph of the prototype muons detector during May 2001 showing the eight detectors in the observation room.



FIGURE 1 - Map showing the muons telescope localization in the Southern Space Observatory, south of Brazil.

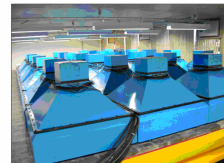


FIGURE 3 - A photograph of the extended muons detector during December 2005 showing the upper layer.

TABLE 1 - The main differences between the prototype and the extended muons telescope.

Aspect	Prototype March 2001	Extended December 2005
Installation	March 2001	December 2005
Number of detectors	2 x 2 x 2	4 x 7 x 2
Detection area (m ²)	4 (2x2)	28 (4x7)
Hourly count rate for vertical direction	300000	2500000
Directional telescopes	9	16
Hourly count error for vertical direction (%)	0.16	0.06

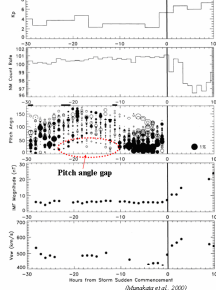


FIGURE 4 - Loss cone precursor on September 9, 1992. It is evidenced by dark circles near 0 degree pitch angle in the middle panel^[1].

The increase in the number of directional telescopes will increase coverage on pitch angle and allow better understanding of precursors of geomagnetic storms and space weather forecasting^[1]. After the upgrade, the total number of directional telescopes on muons network is 47 (17 in São Martinho da Serra, 13 in Hobart and 17 in Nagoya), and the gap in Figure 4 is fulfilled.



Figure 4 shows a sample pitch angle distribution during the period preceding the geomagnetic storm on September, 9 1992. In same plot are the Kp geomagnetic index, the neutron relative count rate of the McMurdo monitor, IMF magnitude and the solar wind velocity. In the third plot, each circle represent a directional telescope from Nagoya, Hobart and Matsumoto. The circle diameters are proportional to the decrease rate (solid circles) and increase rate (open circles). Seen in this plot is a signature of a "loss cone" anisotropy which is displayed as intensity deficits (solid circle) localized around 0° pitch angle. The signature appears about 8 hours prior to the SSC associated with activity increase in the Kp index^[1].

MUONS DETECTOR OPERATING AND MUON COUNTING CHARACTERISTICS

When a muon reach the detector, it crosses a scintillator of 0.1 m thick plastic which is ionized and emit a photon that is detected by the PMTs. We use the same scintillator in both the prototype and the extended telescope. To detect the photons emitted by the scintillators (and in this way, count the detected muons), we use one photomultiplier tube (PMT) in each detector. The PMT is a versatile device providing ultra-fast response and extremely high sensitivity^[1]. The recording system uses devices of Field Programmable Gate Array (FPGA) and VHDL. It becomes possible to design a more complicated and advanced logical circuit at a reduced cost, which could not be accomplished by the conventional system using the logic gate ICs^[1]. See figure 5.

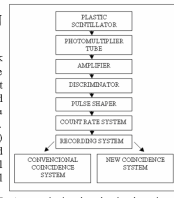


FIGURE 5 - An organization chart showing the main subsystems of the extended muons telescope.

DATA ANALYSIS

We plotted the hourly muons count rate for the muon telescope compared with the Dst index, plasma and interplanetary magnetic fields (IMF) parameters for the period of February 7th 2004 to February 15th 2004, when an intense geomagnetic storm with Dst index minimal value -109 nT was observed. The count rate correspond to muons arriving the detector in a vertical direction (near orthogonal with the Earth surface in the point where the muons detector is installed). The relative muon count rate is given by:

$$\text{Count}(\%) = \frac{\text{count}(\text{h}) - \text{normal average}}{\text{normal average}} \times 100$$

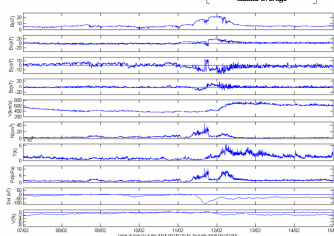


FIGURE 6 - Cosmic ray response during an intense geomagnetic storm between February 7th 2004 and February 15th 2004.

RESULTS, COMMENTS AND CONCLUSION

Figure 6 shows ~2% muon count decrease rate. From top to bottom, the panels are the interplanetary magnetic field B (nT) and its orthogonal components (Bx, By, Bz), the solar wind velocity V (km/s), the proton temperature T (K) and the dynamic pressure Pdyn (nPa). All the above were observed on the Lagrange Point L1. The second plot from bottom to top show the storm time Dst index from Kyoto and the relative muon count rate in the vertical direction (from the SSO). The storm commencement is observed on February 11th 2004 and the muon decrease rate is observed more than 12 hours later. From the analysis of Figure 6, it is possible to conclude that the interplanetary origin of this geomagnetic storm was a high speed stream, that compressed the slow solar wind in front of it.

Figure 4 shows that there was a gap in direction coverage of small pitch angles 10 to 15 hours before the SSC of that specific event. To fulfill this gap on the muon network coverage, it was necessary to increase the directional components of the muon detectors, allowing coverage of all pitch angles continuously. In this way, the upgrade of the SSO's muons detector allows better coverage of precursors.

REFERENCES

- [1] Munakata, K., Bieber, J. W., Tsuru, S., Kato, C., Koyama, M., Akahane, S., Fuyuno, K., Fuji, Z., Tamaki, J. E., Dal Lago, M. L. Precursors of geomagnetic storms observed by muon detectors. *J. Geophys. Res.*, 109, A12, 2347-2349 (2004).
- [2] Hamamatsu Photonics K. K., Electron Tube Center. Construction and Operating Characteristics. www.hpk.co.jp/Eng/products/ETD/dpmt_constmation.pdf. Accessed on 23 Nov. 2005.
- [3] Tsuru, S., Koyama, M., Kato, C., Kawanaka, T., Akahane, S., Koyama, M., Fuji, Z., Enomoto, T., Bieber, J. W. Design of a Recording System for a Muon Telescope Using FPGA and VHDL. In: 20th International Cosmic Ray Conference, 3461-3464 (2003).
- [4] Dal Lago, M. R., Cozzani, D. B., Mészáros, S., Trivelpati, N. B., Munakata, K., Kawanaka, T., Schuch, N. J. Cosmic Ray muon observation at Southern Space Observatory - SSO/CRSPE. *J. Space Weather and Space Climate*, 1(1), 189-197 (2004).

ACKNOWLEDGEMENTS

Thanks to *Conselho Nacional de Desenvolvimento e Pesquisa (CNPq)* of Brazil for financial support under the PIBIC program and project 472396/04-8, to *Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP)*, for funding part of this work under project 05/54800-1 and to the National Science Foundation (NSF) of the USA for a subcontract between Delaware University and FATEC/USM from Brazil, for supporting part of the upgrade of the SSO's telescope. Thanks to the *Universidade Federal de Santa Maria* and its Technology Center (CT/UFSM) for supporting part of this work. Also thanks to the data from World Data Center for Geomagnetism, Kyoto, Japan (Dst index data) and Spacecraft ACE (IMF and plasma data).





NATIONAL INSTITUTE FOR SPACE RESEARCH - INPE/MCT
SOUTHERN REGIONAL SPACE RESEARCH CENTER - CRSPE/INPE - MCT
SOUTHERN SPACE OBSERVATORY - SSO/CRSPE/INPE - MCT

FEDERAL UNIVERSITY OF SANTA MARIA - UFSM
CENTER OF TECHNOLOGY - CT/UFMS
SPACE SCIENCE LABORATORY OF SANTA MARIA - LACESM/CT/UFMS



A COMPARATIVE STUDY OF PLANETARY BOW SHOCKS

Samuel M. da Silva^{1,3}, Jairo F. Savian^{1,3}, Carlos R. Braga^{1,3}, Cristian W. S. da Silva^{1,3}, Vânia F. Andrioli^{1,3}, Ezequiel Echer², Nelson J. Schuch³

- (1) Space Science Laboratory of Santa Maria - LACESM/UFMS, Santa Maria, RS, Brazil.
 - (2) National Institute for Space Research - INPE - MCT, São José Campos, SP, Brazil.
 - (3) Southern Regional Space Research Center - CRSPE/INPE - MCT, Santa Maria, RS, Brazil.
- samuel@lacesm.ufsm.br/ Fax: +55-55-32208007

ABSTRACT

We present a comparative study of Planetary Bow Shocks in the solar system. The planetary bow shock shape and strength will depend both on the planetary magnetosphere and on the solar wind strength (Mach Number). The solar wind properties vary with the heliocentric distance and this variation will influence on the solar wind-planet interaction. In the solar system, it is known that planets have two types of magnetospheres: induced (Venus, Mars) and intrinsic (Earth, Mercury, Jupiter, Saturn, Uranus, Neptune). The induced magnetospheres of Venus and Mars are caused by the interaction of solar wind with their ionospheres, since their intrinsic magnetic fields are very weak. The others planets are known to have an internal magnetic field (with exception of Pluto, which it is not known at present whether it has or not an intrinsic magnetic field). These differences in the magnetospheres will cause different types of bow shocks. We review the present day knowledge about these bow shocks and show examples of bow shock crossings as measured by magnetometers on spacecrafts.

INTRODUCTION

The study of Planetary Bow Shocks provide us a class of very different space plasma environments. Planetary atmosphere and magnetic field, the presence of satellites and rings, and the distance from the sun constitute factors that influence the shape and characteristics of magnetospheres.

Bow shocks ahead magnetospheres occur because solar wind is moving supersonically in relation to the planets. The electromagnetic interaction between planetary and solar wind plasmas and fields gives the mechanism that make possible the formation of shocks even in the very low density space environment. We present here a comparative study of planetary magnetospheres and their bow shocks.

METHODOLOGY OF ANALYSIS

The present work has as objective an analysis of the planetary bow shocks in the solar system. We present here a review of our present knowledge about the different kinds of magnetospheres.

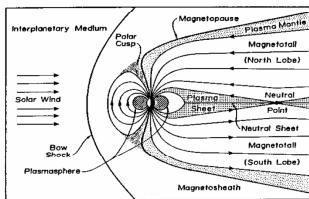


FIGURE 1 - Earth's bow shock - noon-midnight meridian cross section of the magnetosphere. Source: Russel, C. T. (1995)

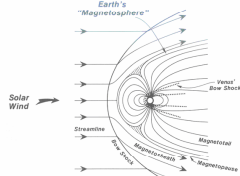


FIGURE 2 - Comparison of the size of the Venus-solar-wind interaction region with the magnetized Earth. Source: Kivelson, M. G. and Russel, C. T. (1995).

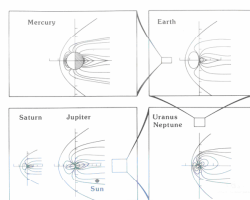


FIGURE 3 - Comparison of the sizes of planetary magnetospheres. Source: Kivelson, M. G. and Russel, C. T. (1995)

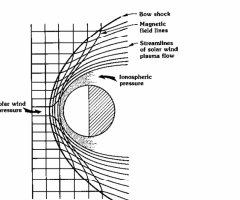


FIGURE 4 - Illustration of pressure balance between the solar wind and the thermal pressure of the ionosphere. Source: Kivelson, M. G. and Russel, C. T. (1995).

It is presented a comparison of the magnetic field strengths measured through the bow shocks on the Earth, Jupiter and Uranus. The overshoot in magnetic field just downstream of the shock ramp is a signature of the strengths of these shocks.

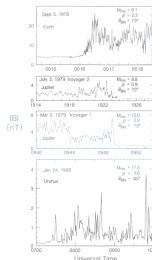


FIGURE 5 - Magnetic profile of high-Mach-number shocks at Earth, Jupiter and Uranus. Source: Kivelson, M. G. and Russel, C. T. (1995).

RESULTS AND DISCUSSION

It was observed:

- when magnetic field and heliocentric distance increase, the magnetosphere of the planet also increase, thus, the distance of the bow shock-planet also increases;
- when the temperatures at the surface of the planet is above the Curie point, the effects of the fields do not persist in rocky materials;
- the strength of a planetary bow shock depends on solar wind strength and then on the planet distance; this is because when the plasma is flowing stronger, the relative speed between planet and solar wind is higher and the shock is stronger. It also depends on the planetary plasma and magnetic field environment, because its combined pressure acts to deflect the solar wind ahead of the planet.

Table 1 - parameters that influence on the bow shock. Source: Russel, C. T.,

Planet	Global Magnetic Field (nT)	Relative strength at surface	Helio-centric distance (1 AU)	Magnetopause distance	Surface Temperature (°C)
Mercury	230	0.0007	0.387	1.3 R _M	260
Venus	10 ⁻⁴ B _E	<0.0004	0.723		480
Earth	31000	1	1	10-15 R _E	15
Mars		<0.0002			-60
Jupiter	More than 10 B _E	20,000	5.20	70 R _J	-110
Saturn	B _E	600	9.54	21 R _S	-190
Uranus	Less than B _E	50	19.19	27 R _U	-215
Neptune	Less than B _E	25	30.07	26 R _N	-225
Pluto	Unknown		39.48		-235

CONCLUSIONS

Planetary environments found in our solar system are quite diverse. This provides us rich examples of a variety of conditions to study space plasmas. Magnetic field and planetary atmospheres, besides the distance from the Sun, determines the characteristic of each planetary magnetosphere. With recent missions (Galileo, Cassini) and future programmed space missions (Venus Express, Mercury Messenger and Bepi-Colombo, various Mars missions), we expect to improve our knowledge of these fascinating environments in the next years.

REFERENCES

- Kivelson, M. G. and Russel, C. T. *Introduction to Space Physics*, pp 210-211, 506, 509.
- Russel, C. T. *The Magnetosphere, The Solar Wind and the Earth*.
- Russel, C. T. *Planetary Bow Shocks, Collisionless Shocks in the Heliosphere: Reviews of Current Research*, Geophysical Monograph 35, 1985.
- Russel, C. T. *Planetary Magnetospheres, Science Progress*, 75, 93-105, 1991;

ACKNOWLEDGEMENTS

Thanks to the "Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico" (CNPq) for the financial support, thanks to "Universidade Federal de Santa Maria" and its "Centro de Ciências Naturais e Exatas" for supporting part of this work, and to Dra. Damaris Kirsch Pinheiro and Dr. Allison Dal Lago for reviewing this work.

3rd El Leoncito School of Solar Physics - El Leoncito, San Juan, Argentina
November 28th to December 5th, 2005





NATIONAL INSTITUTE FOR SPACE RESEARCH - INPE/MCT
SOUTHERN REGIONAL SPACE RESEARCH CENTER - CRSPE/INPE - MCT
SOUTHERN SPACE OBSERVATORY - SSO/CRSPE/INPE - MCT

FEDERAL UNIVERSITY OF SANTA MARIA - UFSM
CENTER OF TECHNOLOGY - CT/UFSM
SPACE SCIENCE LABORATORY OF SANTA MARIA - LACESM/CT/UFSM



A COMPARATIVE STUDY OF PLANETARY BOW SHOCKS

Samuel M. da Silva^{1,3}, Jairo F. Savian^{1,3}, Carlos R. Braga^{1,3}, Cristian W. S. da Silva^{1,3}, Ezequiel Echer², Nelson J. Schuch³.

(1) Space Science Laboratory of Santa Maria - LACESM/UFSM, Santa Maria, RS, Brazil.

(2) National Institute for Space Research - INPE - MCT, São José Campos, SP, Brazil.

(3) Southern Regional Space Research Center - CRSPE/INPE - MCT, Santa Maria, RS, Brazil.

samuel@lacesm.ufsm.br/ Fax: +55-55-3220-8007

ABSTRACT

We present a comparative study of Planetary Bow Shocks in the solar system. The planetary bow shock shape and strength will depend both on the planetary magnetosphere and on the solar wind strength (Mach Number). The solar wind properties vary with the heliocentric distance and this variation will influence on the solar wind-planet interaction. In the solar system, it is known that planets have two types of magnetospheres: induced (Venus, Mars) and intrinsic (Earth, Mercury, Jupiter, Saturn, Uranus, Neptune). The induced magnetospheres of Venus and Mars are caused by the interaction of solar wind with their ionospheres, since their intrinsic magnetic fields are very weak. The others planets are known to have an internal magnetic field (with exception of Pluto, which it is not known at present whether it has or not an intrinsic magnetic field). These differences in the magnetospheres will cause different types of bow shocks. We review the present day knowledge about these bow shocks and show examples of bow shock crossings as measured by magnetometers on spacecrafts.

INTRODUCTION

The study of Planetary Bow Shocks provide us a class of very different space plasma environments. Planetary atmosphere and magnetic field, the presence of satellites and rings, and the distance from the sun constitute factors that influence the shape and characteristics of magnetospheres.

Bow shocks ahead magnetospheres occur because solar wind is moving supersonically in relation to the planets. The electromagnetic interaction between planetary and solar wind plasmas and fields gives the mechanism that make possible the formation of shocks even in the very low density space environment. We present a comparative study of planetary magnetospheres and their bow shocks.

METHODOLOGY OF ANALYSIS

The present work has as objective an analysis of the planetary bow shocks in the solar system. We present a review of our present knowledge about the different kinds of magnetospheres.

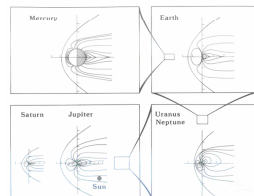


FIGURE 1 - Comparison of the sizes of planetary magnetospheres. Source: Kivelson, M. G. and Russel, C. T. (1995)

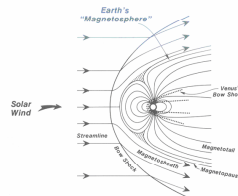


FIGURE 2 - Comparison of the size of the Venus-solar-wind interaction region with the magnetized Earth. Source: Kivelson, M. G. and Russel, C. T. (1995).

RESULTS AND DISCUSSION

It was observed:

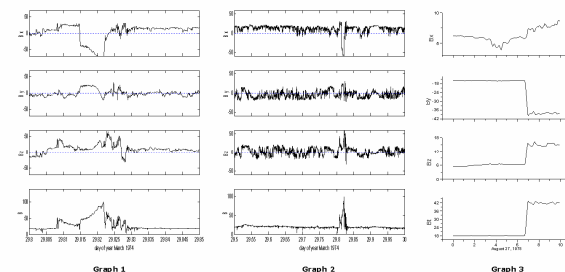
- The solar-wind dynamic pressure varies inversely as the square of the heliocentric distance, the magnetospheres of the outer planets should be considerably larger than the terrestrial planets, all else being equal;
- The strength of a planetary bow shock depends on solar wind strength and then on the planet distance; this is because when the plasma is flowing stronger, the relative speed between planet and solar wind is higher and the shock is stronger. It also depends on the planetary plasma and magnetic field environment, because its combined pressure acts to deflect the solar wind ahead of the planet;
- On average, the bow shock of the outer planets are stronger than those in the inner solar system.

Table 1 - Parameters that influence on the planetary bow shock.

Planet	Global Magnetic Field (nT)	Relative strength at surface	Heliocentric distance (1 AU)	Magnetopause distance	Surface Temperature (°C)
Mercury	250	0.0007	0.387	1.5 R _M	260
Venus	10 ⁻⁹ B _E	<0.0004	0.723	10-15 R _E	480
Earth	31000	1	1	10-15 R _E	15
Mars	1	<0.0002	1.52	10-15 R _E	-60
Jupiter	More than 10 B _E	20.000	5.20	70 R _E	-110
Saturn	B _E	600	9.54	21 R _E	-190
Uranus	Less than B _E	50	19.19	27 R _E	-215
Neptune	Less than B _E	25	30.07	26 R _E	-225
Pluto	Unknown		39.48		-235

http://www.globechange.umich.edu/Kivelson_archive/wacet_to_html/sohel_star.html <http://lscac.exploratorium.edu/~pauld/activities/magnetospheres/magnetospheres.html>. Source: Russel, C. T.,

A multiple crossing of the Mercury's bow shock occurs on March 1974. It is identified by the abrupt increase in the fluctuating magnetic field by the Mariner 10 spacecraft (graphs 1 and 2). A sample of ISEE1 to cross the bow shock as it approaches the Earth (graph 3).



CONCLUSIONS

Planetary environments found in our solar system are quite diverse. This provides us rich examples of a variety of conditions to study space plasmas. Magnetic field and planetary atmospheres, besides the distance from the Sun, determines the characteristic of each planetary magnetosphere. With recent missions (Galileo, Cassini) and future programmed space missions (Venus Express, Mercury Messenger and Bepi-Colombo, various Mars missions), we expect to improve our knowledge of these fascinating environments in the next years.

REFERENCES

- Kivelson, M. G. and Russel, C. T. *Introduction to Space Physics*, pp 210-211, 506, 509.
Russel, C. T. *The Magnetosphere, The Solar Wind and the Earth*.
Russel, C. T. Planetary Bow Shocks, *Collisionless Shocks in the Heliosphere: Reviews of Current Research*, Geophysical Monograph 35, 1985.
Russel, C. T. Planetary Magnetospheres, *Science Progress*, 75, 93-105, 1991.
Ness, N. F. The Magnetic Field of Mercury, *Journal of Geophysical Research*, July 1, 1975;

ACKNOWLEDGEMENTS

Thanks to the "Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico" (CNPq) for the financial support, thanks to "Universidade Federal de Santa Maria" and its "Centro de Ciências Naturais e Exatas" for supporting part of this work.



SCOSTEP - 11^o Quadrennial Solar Terrestrial Physics Symposium
"Sun, Space Physics and Climate"





NATIONAL INSTITUTE FOR SPACE RESEARCH - INPE/MCT
SOUTHERN REGIONAL SPACE RESEARCH CENTER - CRSPE/INPE - MCT



NATIONAL INSTITUTE FOR SPACE RESEARCH - INPE/MCT
SOUTHERN REGIONAL SPACE RESEARCH CENTER - CRSPE/INPE - MCT
SOUTHERN SPACE OBSERVATORY - SSO/CRSPE/INPE - MCT

FEDERAL UNIVERSITY OF SANTA MARIA - UFSM
CENTER OF TECHNOLOGY - CT/UFSM
SPACE SCIENCE LABORATORY OF SANTA MARIA - LACESM/CT/UFSM



ON THE SOLAR AND INTERPLANETARY ORIGIN OF INTENSE GEOMAGNETIC STORMS AND GROUND COSMIC RAY RESPONSE

Jairo F. Savian^{1,2}, Alisson D. Lago, Marlos R. da Silva², Aline de Lucas², Luiz C. Santos^{1,3}, Samuel M. da Silva^{1,3}, Carlos R. Braga^{1,3}, Cristian W. S. da Silva^{1,3}, Vânia F. Andrioli^{1,3}, Ezequiel Echer², Luis E. Vieira², Walter Gonzalez², Kazuoki Munakata⁴, John Bieber⁵, Nelson J. Schuch³

(1) Space Science Laboratory of Santa Maria - LACESM/UFSM, Santa Maria, RS, Brazil. (2) National Institute for Space Research - INPE - MCT, São José Campos, SP, Brazil. (3) Southern Regional Space Research Center - CRSPE/INPE - MCT, Santa Maria, RS, Brazil. (4) Physics Department, Faculty of Science, Shinshu University, Matsumoto, Japan (5) Bartol Research Institute, University of Delaware, Newark, USA
savian@lacesm.ufsm.br/ Fax: +55-55-32208007

ABSTRACT

Geomagnetic Storms are episodes of extraordinary fluctuation of the Terrestrial Magnetic Field (Gonzalez et al., 1994). It is believed that the physical mechanism responsible for the transfer of energy from the Solar Wind to the Magnetosphere is the reconnection between the Interplanetary Magnetic Field and the Terrestrial Magnetic Field (Tsurutani and Gonzalez, 1997). For the occurrence of such a mechanism, it is necessary that the Interplanetary Magnetic Field possesses substantial component in the negative Z direction considering the system of coordinates Sun-Magnetosphere, or Bs, South. The present work has as objective to identify the types of interplanetary structures that caused the Geomagnetic storms during period close to the maximum of the Solar Cycle 23, from 2002 to 2003. During this period there were observations of cosmic rays from the International Muon Detector Network, of which the Southern Space Observatory-SSO (OES/CRSPE/INPE) started to participate since 2001. These observations are being used for the forecasting of the occurrence of these Geomagnetic Storm with high efficiency, up to 8 hours in advance of alert (Munakata et al., 2000). The identification of the interplanetary structures that caused intense storms in this period is very important for a future comparison with the observations of cosmic rays (muons), allowing the verification whether there is some preferential type of structure that can be detected by the muon detector network.

INTRODUCTION

It is believed that the physical mechanism responsible for the energy transfer from the solar wind to the Earth's Magnetosphere is magnetic reconnection between the Interplanetary Magnetic Field (IMF) and the Earth's Magnetic Field (Tsurutani and Gonzalez, 1997) as represented in Figure 1.

An interplanetary disturbance, propagating from the Sun to the Earth, affects the galactic cosmic ray population in many ways. One of the most known is the "Forbush decrease". Some interplanetary disturbances like the interplanetary counterparts of coronal mass ejections (CME) can cause depressions in high energy cosmic rays along the IMF main direction, being detected before the arrival of the CME to the earth (Munakata et al., 2000), according to the diagram shown in Figure 2.

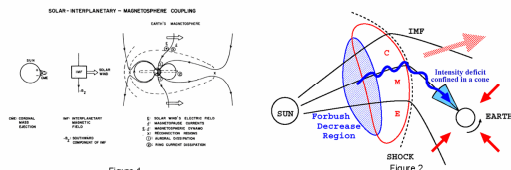


Figure 1. Schematic of interplanetary-magnetosphere coupling, showing the reconnection process and energy injection into the nightside magnetosphere, which leads to the formation of the storm-time ring current (Gonzalez and Tsurutani, 1992). Figure 2. Loss-cone precursors. Nagashima et al. [1992], Ruffolo [1999]

OBJECTIVES

- To identify the types of interplanetary structures that cause geomagnetic storms during the maximum of solar cycle 23.
- To verify if has some preferential type of structure that can be detected by the international muon detector network.

METHODOLOGY OF ANALYSIS

- 1) We use observations of the Dst index of the Kyoto University, to identify intense geomagnetic storms.
- 2) Plasma data - speed of the solar wind, temperature, and density of protons and interplanetary magnetic field had been taken from instruments of ACE satellite.
- 3) Analyze of the Forbush decrease had been used given of muon telescope located in São Martinho da Serra, RS, Brasil.



Figure 3. Muon Telescope in the Southern Space Observatory - São Martinho da Serra, RS, Southern Space Research Center - CRSPE

RESULTS AND DISCUSSION

The main structures that had caused intense geomagnetic storms in the period of Solar Cycle 23.

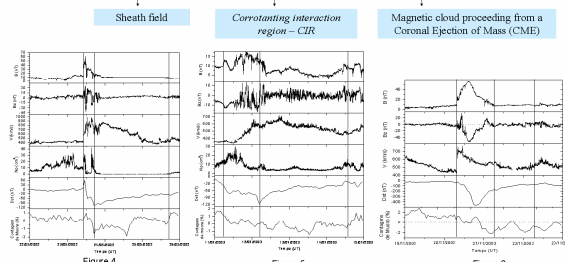


Figure 4. Example of Geomagnetic Storms caused for sheath field. Figure 5. Example of Geomagnetic Storms caused for Corrotating interaction region - CIR. Figure 6. Example of Geomagnetic Storms caused for Magnetic cloud proceeding from a Coronal Ejection of Mass (CME).

CONCLUSIONS

- 1) In the Period of January of 2002 to the December of 2003, 22 Intense Geomagnetic Storms had occurred (Dst < - 100 NT). 15 storms had been analyzed, therefore of the 22, 7 had presented problems in the data of the detector of muons.
- 2) We saw during the work that the structures of the type "magnetic clouds" are very important in this study of the Space Weather. We can observe clearly in the graphical diagrams that have some Geomagnetic Storms caused by a magnetic cloud, which are identified by a rotation in the component z of the interplanetary magnetic field.
- 3) Important data that we observe in the analyzed Magnetic Storm events are that during the arrival of one it has shocked, characterized for the abrupt jump of the plasma parameters, occur a sudden increase in the interplanetary magnetic field strength. Fields compressed in the case soon after the shock are between the main intense storm causes, together with magnetic clouds.
- 4) We got good data with relation to the decrease in the count rate of muons during the Geomagnetic Storm occurrence, in average we have a decrease of 1,5% approximately.

REFERENCES

[1] GONZALEZ, W. D., JOSELYN, J. A., KAMIDE, Y., KROEHL, H. W., ROSTOKER, G., TSURUTANI, B. T. & VASYLIUNAS, V. M. 1994- What is a magnetic storm? *J. Geophys. Res.*, **99**, A4, 5571-5702.
 [2] TSURUTANI, B. T. & GONZALEZ, W. D. 1997- The interplanetary cause of magnetic storms: a review. In: Tsurutani, B. T., Gonzalez, W. D., Kamide, Y., & Arballo, J. A. ed. *Magnetic storms*. Washington, DC: AGU, v.95, p.77-98.
 [3] MUNAKATA, K., BIBBER, J. W., YASUE, S., KATO, C., KOFUJIMA, M., AKAHANE, S., FUGIMOTO, K., FUJII, Z., HUMBLE, J. E., DULGIG, M. L. 2000, *J. Geophys. Res.*, **105**, A12, pp. 27427-27488.
 [4] GONZALEZ, W. D. & TSURUTANI, B. T. 1992- Terrestrial response to eruptive solar fares: geomagnetic storms - a review. In: Svaldska, Z., Jackson, B. V., Machado, M. E. ed. *Forbush in physics: eruptive solar fares*. Berlin: Springer-Verlag, p. 277-293.
 [5] NAGASHIMA, K. & FUJIMOTO, K. 1988- Enhancement of south-south anisotropy of cosmic rays during Forbush decrease, associated with the enhancement of the interplanetary magnetic field component perpendicular to the ecliptic plane. *Proc. 26th Internat. Cosmic Ray Conf. (Calgary)*, **3**, 719-722.
 [6] RUFFOLO, D., BIBBER, J. W., ENSTENSON, P. & PYLE, R. 1999- Precursors to Forbush Decrease and Space Weather Prediction. *Proc. 25th Int. Cosmic Ray Conf. Salt Lake City*, **6**, 440-443.
 [7] DA SILVA, A. 2005- Um estudo de estruturas geomagnéticas no meio interplanetário e de suas causas solares. Tese de Doutorado do Curso de Pós-Graduação em Geofísica Espacial - São José dos Campos: INPE, 200p - (INPE-10289-TD/917).

ACKNOWLEDGEMENTS

We thank the group of research workers at the Space Weather Laboratory, to Shinshu University for technical support and also to the Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) for financial support.
 Thanks to the Federal University of Santa Maria and to the Center of Natural and Exact Sciences for supporting partially this work.
 Thanks to World data Center for Geomagnetism - Kyoto for the Dst index, to the International Solar-Terrestrial Physics Project, through ACE teams for high-resolution solar wind data.
 The special acknowledgement for Dr. Nelson Jorge Schuch for constant devotion and for technical support of Southern Regional Space Research Center - CRSPE/INPE - MCT.
 Thanks to Dr. Alisson Da Lago for excellent orientation.
 Thanks to Scientific Organizing Committee of 3rd El Leoncito School of Solar Physics for the acceptance

3rd El Leoncito School of Solar Physics - El Leoncito, San Juan, Argentina



NATIONAL INSTITUTE FOR SPACE RESEARCH - INPE/MCT
SOUTHERN REGIONAL SPACE RESEARCH CENTER - CRSPE/INPE - MCT

NATIONAL INSTITUTE FOR SPACE RESEARCH - INPE/MCT
SOUTHERN REGIONAL SPACE RESEARCH CENTER - CRSPE/INPE - MCT
SOUTHERN SPACE OBSERVATORY - SSO/CRSPE/INPE - MCT

FEDERAL UNIVERSITY OF SANTA MARIA - UFSM
CENTER OF TECHNOLOGY - CT/UFMS
SPACE SCIENCE LABORATORY OF SANTA MARIA - LACESM/CT/UFMS



ANALYSIS OF THE INTERPLANETARY ORIGIN OF INTENSE GEOMAGNETIC STORMS AND THEIR EFFECTS ON GROUND COSMIC RAYS

Jairo Francisco Savian⁽¹⁾, Carlos Roberto Braga⁽¹⁾, Samuel Martins da Silva⁽¹⁾, Cristian Willian Saueressig da Silva⁽¹⁾, Marlos Rockembach da Silva⁽²⁾, Allison Dal Lago⁽²⁾, Walter Demetrio Gonzalez⁽²⁾, Kazuoki Munakata⁽³⁾, John Bieber⁽⁴⁾, Nelson Jorge Schuch⁽²⁾, Carlos R. Braga^{1,3}, Cristian W. S. da Silva^{1,3}, Nelson J. Schuch³

(1) Space Science Laboratory of Santa Maria - LACESM/UFMS, Santa Maria, RS, Brazil. (2) National Institute for Space Research - INPE - MCT, São José Campos, SP, Brazil. (3) Southern Regional Space Research Center - CRSPE/INPE - MCT, Santa Maria, RS, Brazil. (4) Physics Department, Faculty of Science, Shinshu University, Matsumoto, Japan (5) Bartol Research Institute, University of Delaware, Newark, USA
savian@lacesm.ufsm.br Fax: +55-55-32208007

ABSTRACT

Coronal mass ejections (CMEs) are the principal cause of intense geomagnetic storms at Earth. In this paper we study the interplanetary origin of intense geomagnetic storms (Dst < -100nT). In order to do that, we study the geoeffective interplanetary structures near the Earth, using observations of the *Advanced Composition Explorer* (ACE) satellite. ACE supplies observations of plasma and magnetic field in the interplanetary medium. We analyze the effects of these solar-interplanetary structures in geomagnetic activity using the Dst geomagnetic index and modulation effects in high-energy cosmic rays (muons) observed in South of Brazil at São Martinho da Serra, with the multidirectional muon telescope in the Southern Space Observatory - SSO of the INPE's Southern Regional Space Research Center at (23°26'24"S, 52°48'38"W). In this project we present preliminary results and future perspectives.

INTRODUCTION

It is believed that the physical mechanism responsible for the energy transfer from the solar wind to the Earth's Magnetosphere is magnetic reconnection between the Interplanetary Magnetic Field (IMF) and the Earth's Magnetic Field (Tsurutani and Gonzalez, 1997) as represented in Figure 1.

An interplanetary disturbance, propagating from the Sun to the Earth, affects the galactic cosmic ray population in many ways. One of the most known is the "Forbush decrease". Some interplanetary disturbances like the interplanetary counterparts of coronal mass ejections (CME) can cause depressions in high energy cosmic rays along the IMF main direction, being detected before the arrival of the CME to the earth (Munakata et al., 2000), according to the diagram shown in Figure 2.

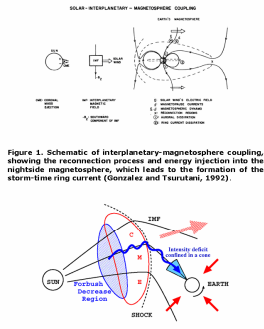


Figure 1. Schematic of interplanetary-magnetosphere coupling, showing the reconnection process and energy injection into the nightside magnetosphere, which leads to the formation of the storm-time ring current (Gonzalez and Tsurutani, 1992).

Figure 2. Loss-cone precursors. Nagashima et al. [1992], Ruffolo [1999]

OBJECTIVES

- Identify the types of interplanetary structures that cause geomagnetic storms during the maximum of solar cycle 23.
- Verify whether there are some preferential type of structure that can be detected by the muon telescope at the SSO.



METHODOLOGY OF ANALYSIS

- 1) We used observations of the Dst index of the Kyoto University to identify intense geomagnetic storms.
- 2) We used plasma data - solar wind speed, temperature, and density of protons and interplanetary magnetic field, taken from instruments of the ACE satellite.
- 3) We analyzed the Forbush decreases that have been observed by the muon telescope located in São Martinho da Serra, RS, Brazil.

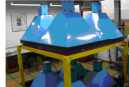


Figure 3. Muon Telescope in the Southern Space Observatory - São Martinho da Serra, RS, Southern Space Research Center - CRSPE

RESULTS AND DISCUSSION

The main structures that had caused intense geomagnetic storms in the period of Solar Cycle 23.

Sheath field

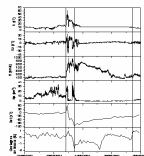


Figure 4. Example of Geomagnetic Storms caused for sheath field.

Corotating interaction region - CIR

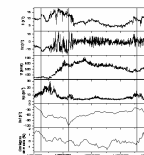


Figure 5. Example of Geomagnetic Storms caused for Corotating interaction region - CIR

Interplanetary CME - Magnetic cloud

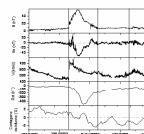


Figure 6. Example of Geomagnetic Storms caused by a Magnetic cloud interplanetary counterpart of which is believed to be a coronal mass ejection (CME)

- 1) In the Period from January of 2002 to December of 2003, 22 Intense Geomagnetic Storms have occurred (Dst < - 100 NT). 15 storms have been analyzed, from a total of 22, because 7 had presented problems in the data of the detector of muons.
- 2) We saw during the work that the structures of the type "magnetic clouds" are very important in this study of the Space Weather. We can observe clearly in the graphical diagrams that there are some Geomagnetic Storms caused by a magnetic cloud, which are identified by a rotation in the component z of the interplanetary magnetic field. In this work 5 events, or 33,3 %, of total presented rotation in the component Z.
- 3) We observe in the analyzed Magnetic Storm events, some during the arrival of shock, characterized by the abrupt jump of the plasma parameters, occur a sudden increase in the interplanetary parameters. Fields compressed soon after the shock are among the main intense storm causes, together with magnetic clouds. We found 5 events of this type.
- 4) We had good data regarding the decrease in the count rate of muons during the Geomagnetic Storm occurrence. On average we had a decrease of 1,5% approximately. The maximum pick decrease in the muon count rate was 15 % and the minimum decrease was 0,8 %.

CONCLUSIONS

In the period of 2002 to 2003, 15 events of intense geomagnetic storms were analyzed. Structures of the type "magnetic Clouds" are principal causes, 5 events or 33,3 % of total presenting rotation in the component Z. The corotating interaction region (CIRs) cause 2 events (13,3%) characterized by the abrupt jump of the plasma parameters. The other events were call "complex events", and are difficult to identify. The muon count rate showed the maximum pick decrease of 15 % and the minimum decrease of 0,8 %, with average of 1,5%.

REFERENCES

[1] GONZALEZ, W. D., JOSEPH, J. A., KAMIDE, Y., KRDBL, H. W., ROSTOFER, C., TSURUTANI, B. T., & VASYLIUNAS, V. M. 1994. What is a magnetic storm? J. Geophys. Res., v.99, n.44, p.5771-5782.

[2] TSURUTANI, B. T. & GONZALEZ, W. D. 1997. The interplanetary cause of magnetic storms: a review. In: Tsurutani, B. T., Gonzalez, W. D., Kamide, Y., & Arballo, J. A. ed. *Magnetic storms*, Washington, DC: AGU, v.98, p.77-89.

[3] MUNAKATA, K., BEBER, J. W., YASSE, S., KATO, C., KOYAMA, M., AKAHANE, S., FUGIMOTO, K., FUJII, Z., HUMBLE, J. E., DULIGIO, M. L. 2000. J. Geophys. Res. 105, A12, pp. 27427-27468.

[4] GONZALEZ, W. D. & TSURUTANI, B. T. 1992. Terrestrial response to eruptive solar flares: geomagnetic storms - a review. In: Sveinika, Z.; Jackson, B. V.; Machado, M. E. ed. *Frontiers in physics: eruptive solar flares*, Berlin: Springer-Verlag, p.277-293.

[5] NAGASHIMA, K. & FUJIMOTO, K. 1993. Enhancement of north-south anisotropy of cosmic rays during Forbush decrease, associated with the enhancement of the interplanetary magnetic field component perpendicular to the ecliptic plane, Proc. 23rd Internat. Cosmic Ray Conf. (Calgary), 3, 719-722.

[6] RUFFOLO, D., BEBER, J. W., EVENSON, P. & PYLE, R. 1999. Precursors to Forbush Decreases and Space Weather Prediction, Proc. 23rd Int. Cosmic Ray Conf., Salt Lake City 6, 440-443.

[7] DAL LAGO, A. 2003. Um estudo de estruturas geofísicas no meio interplanetário e de suas causas solares. Tese de Doutorado do Curso de Pós Graduação em Geofísica Espacial - São José dos Campos: INPE, 209p - (INPE-10298-TD/917).

[8] RUFFOLO, D., BEBER, J. W., EVENSON, P. & PYLE, R. 1999. Precursors to Forbush Decreases and Space Weather Prediction, Proc. 23rd Int. Cosmic Ray Conf., Salt Lake City 6, 440-443.

[9] DAL LAGO, A. 2003. Um estudo de estruturas geofísicas no meio interplanetário e de suas causas solares. Tese de Doutorado do Curso de Pós Graduação em Geofísica Espacial - São José dos Campos: INPE, 209p - (INPE-10298-TD/917).

ACKNOWLEDGEMENTS

We thank the group of research workers at the Space Weather Laboratory, to Shinshu University for technical support, the Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) of Brazil for financial support under PIBIC Program and Project 472396/04-8 and Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), of Brazil, Project 03/04800-1. Thanks to the Federal University of Santa Maria and to the Center of Natural and Exact Sciences for supporting partially this work. Thanks to World Data Center for Geomagnetism - Kyoto for the Dst index, to the International Solar-Terrestrial Physics Project, through ACE teams for high-resolution solar wind data.

AD COSMIC RAY RESPONSE

Carlos R. Braga^{1,3}, Cristian W. S. da Silva^{1,3}, Nelson J. Schuch³

INPE - MCT, São José Campos, SP, Brazil. Science, Shinshu University, Matsumoto,

red that the physical mechanism responsible for the energy transfer from the solar wind to the Earth's Magnetosphere is magnetic reconnection between the Interplanetary Magnetic Field (IMF) and the Earth's Magnetic Field (Tsurutani and Gonzalez, 1997) as represented in Figure 1.

An interplanetary disturbance, propagating from the Sun to the Earth, affects the galactic cosmic ray population in many ways. One of the most known is the "Forbush decrease". Some interplanetary disturbances like the interplanetary counterparts of coronal mass ejections (CME) can cause depressions in high energy cosmic rays along the IMF main direction, being detected before the arrival of the CME to the earth (Munakata et al., 2000), according to the diagram shown in Figure 2.

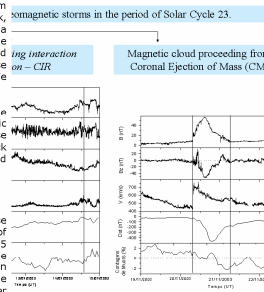


Figure 5. Example of Geomagnetic Storms caused for Corotating interaction region - CIR

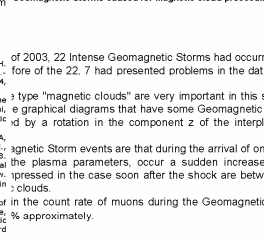


Figure 6. Example of Geomagnetic Storms caused by a Magnetic cloud interplanetary counterpart of which is believed to be a coronal mass ejection (CME)

of 2002 to 2003, 15 events of intense geomagnetic storms were analyzed. Structures of the type "magnetic Clouds" are principal causes, 5 events or 33,3 % of total presenting rotation in the component Z. The corotating interaction region (CIRs) cause 2 events (13,3%) characterized by the abrupt jump of the plasma parameters. The other events were call "complex events", and are difficult to identify. The muon count rate showed the maximum pick decrease of 15 % and the minimum decrease of 0,8 %, with average of 1,5%.

ANEXO 2
CERTIFICADOS