

**ESTUDO DAS ESTRUTURAS INTERPLANETÁRIAS RELACIONADAS ÀS
TEMPESTADES GEMAGNÉTICAS INTENSAS OCORRIDAS NO PERÍODO
DE 1992 A 1998**

Danieli Balbuena Contreira¹ (CRSPE/INPE-MCT, Bolsista PIBIC/CNPq)
Dr. Walter D. Gonzalez² (Orientador, DGE/INPE-MCT)
Dr. Alisson Dal Lago³ (DGE/INPE-MCT)
Dr. N. J. Schuch⁴ (CRSPE/INPE-MCT)

RESUMO

Raios cósmicos precursores de tempestades geomagnéticas, monitorados pela rede mundial de telescópios de muons, têm sido usados como uma importante ferramenta para a previsão do clima espacial, desde que através da análise de suas anisotropias precursoras é possível observar com 6 até 9 horas de antecedência o início da tempestade (SSC). Este trabalho apresenta uma análise das estruturas interplanetárias de tempestades geomagnéticas, ocorridas entre 1992 e 1998, para as quais os tipos de anisotropias precursoras foram previamente estudadas por Munakata et al. (2000), usando dados de raios cósmicos da rede de detectores de muons. Um número total de oito eventos de tempestades geomagnéticas e seus correspondentes parâmetros interplanetários são analisados, com o objetivo de avaliar possíveis diferenças nas características de estruturas identificadas e não identificadas pela rede de muons. De acordo com a observação de raios cósmicos precursores pela rede, os eventos foram divididos em três grupos: (PC) quando a rede apresentou cobertura pobre da direção do campo magnético interplanetário (CMI), (NP) quando precursores não foram identificados e (LC e EV) quando anisotropias precursoras foram claramente verificadas. Foi observado que para quatro eventos os detectores apresentaram cobertura pobre (PC), e precursores não puderam ser avaliados. Entretanto, nuvens magnéticas foram observadas como o mecanismo interplanetário presente na maioria destes eventos. Em outros dois eventos, nenhum tipo de precursor foi verificado (NP). Nestes dois casos, a fase principal das tempestades foi originada em um dos eventos devido a uma estrutura nuvem magnética e no outro caso, por mecanismo de choque. Os dois eventos remanescentes apresentaram identificáveis anisotropias precursoras, nas quais uma delas do tipo “loss cone” (LC), aparecendo a 3.5 horas antes do SSC, e a outra do tipo “enhanced variation” (EV) a 9 horas do SSC. Em ambos tipos de anisotropias, a fase principal das tempestades foi originada por nuvens magnéticas. Estes resultados mostram que os eventos de tempestades em estudo não apresentaram uma característica interplanetária predominante, quando estas não foram identificadas pela rede de telescópios (NP). Entretanto, nuvens magnéticas pareceram ser o mecanismo responsável pelo desenvolvimento de tempestades quando precursores foram observados. A presente análise abrange um conjunto pequeno de tempestades e um período maior de observações seria necessário para confirmar tais tendências.

¹ Aluna do Curso de Engenharia Química, UFSM. E-mail: danieli@lacsms.ufsm.br

² Pesquisador da Divisão de Geofísica - DGE. E-mail: gonzalez@dge.inpe.br

³ Pesquisador da Divisão de Geofísica - DGE. E-mail: dallago@dge.inpe.br

⁴ Chefe do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais. E-mail: njschuch@lacsms.ufsm.br



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

INPE-10069-PRE/5614

**ESTUDO DAS ESTRUTURAS INTERPLANETÁRIAS
RELACIONADAS ÀS TEMPESTADES GEMAGNÉTICAS
INTENSAS OCORRIDAS NO PERÍODO DE 1992 A 1998**

Danieli Balbueno Contreira*
Walter Demétrio González Alarcon
Alissom Dal Lago
Nelson Jorge Schuch

UFSM – bolsista PIBIC/CNPq

Seminário de Iniciação Científica do INPE (SICINPE).

INPE
São José dos Campos
2003



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

**ESTUDO DAS ESTRUTURAS INTERPLANETÁRIAS
RELACIONADAS ÀS TEMPESTADES GEOMAGNÉTICAS
INTENSAS OCORRIDAS NO PERÍODO DE 1992 A 1998**

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

**Danieli Balbueno Contreira (CRSPE/INPE, Bolsista PIBIC/CNPq)
E-mail: danieli@lacesm.ufsm.br**

**Dr. Walter Demétrio Gonzalez (DGE/INPE, Orientador)
E-mail: gonzalez@dge.inpe.br**

COLABORADORES

**Dr. Nelson Jorge Schuch
Acadêmico Marlos R. da Silva (CRSPE/INPE)
Dr. Alisson Dal Lago (DGE/INPE)
Doutorando Ezequiel Echer (DGE/INPE)
Dr. Luiz Eduardo Vieira (DGE/CRSPE/INPE)**

Maio de 2003



**ESTUDO DAS ESTRUTURAS INTERPLANETÁRIAS
RELACIONADAS ÀS TEMPESTADES GEOMAGNÉTICAS
INTENSAS OCORRIDAS NO PERÍODO DE 1992 A 1998**

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

**Danieli Balbuena Contreira (CRSPE/INPE - Bolsista PIBIC/CNPq)
E-mail: danieli@lacesm.ufsm.br**

**Dr. Walter Demétrio Gonzalez-Alarcon (INPE, Orientador)
E-mail: gonzalez@dge.inpe.br**



DADOS DE IDENTIFICAÇÃO

Bolsista: Processo: 102367/2002-7	Danieli Balbuena Contreira Universidade Federal de Santa Maria – UFSM Curso: Engenharia Química
Orientador:	Dr. Walter Gonzalez Demetrio-Alarcon Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais– INPE
Execução do Projeto:	<ul style="list-style-type: none">♦ Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRSPE/INPE<ul style="list-style-type: none">♦ Observatório Espacial do Sul - OES/CRSPE/INPE♦ Laboratório de Raios Cósmicos e Previsão de Tempestades Geomagnéticas
Participantes da Cooperação Internacional – Brasil/Japão	<ul style="list-style-type: none">♦ Dr. Kazuoki Munakata – Shinshu University♦ Dr. Kazuo Makia – Takushoku University♦ Takao Kuwabara - Shinshu University
Colaboradores:	<ul style="list-style-type: none">♦ Dr. Nelson Jorge Schuch – CRSPE/INPE♦ Dr. Nalin Babulal Trivedi – CRSPE/INPE<ul style="list-style-type: none">♦ Alisson Dal Lago – INPE♦ Ezequiel Echer – INPE♦ Dr. Luiz Eduardo Vieira♦ Dra. Alicia L. Clua de Gonzalez - INPE <p>Acadêmico Marios Rockemback da Silva - UFSM</p>



ÍNDICE

RESUMO.....	6
CAPÍTULO 1.....	7
INTRODUÇÃO.....	7
1.1 Justificativa.....	7
1.2 Objetivo da Cooperação Científica Internacional Brasil-Japão em Ciências Espaciais Básicas e Ciências Atmosféricas.....	8
1.3 Objetivo do Projeto “Estudo das estruturas interplanetárias relacionadas às tempestades geomagnéticas intensas ocorridas no período de 1992 a 1998.....	9
CAPÍTULO 2.....	10
O SOL, MEIO INTERPLANETÁRIO E EFEITOS GEOMAGNÉTICOS.....	10
2.1 Estrutura Solar.....	10
2.1.1 O Interior e a Energia Solar.....	10
2.1.2 Atmosfera Solar.....	11
2.1.2.1 A Fotosfera Solar.....	11
2.1.2.2 A Cromosfera.....	12
2.1.2.3 A Corona Solar.....	13
2.1.3 O Vento Solar.....	14
2.1.4 O Campo Magnético Interplanetário.....	14
2.2 Atividade Solar.....	15
2.2.1 O Ciclo de Atividade Solar.....	15
2.3 Ejeções de Massa Coronal (EMC).....	16
2.3 Relação entre Ejeções de Massa Coronal Solares e Estruturas do Meio interplanetário.....	17
2.3.1 Assinatura das Ejeções de Massa Coronal no Vento Solar.....	17
2.3.2 Relação entre Ejeções de Massa Coronal e Ondas de Choque.....	18
2.3.2 Nuvens Magnéticas.....	19
2.4 Efeitos Geomagnéticos.....	21
2.4.1 Tempestades Geomagnéticas.....	21
2.4.2 Origem Interplanetária das Tempestades Geomagnéticas.....	23
2.4.2.1 Tempestades causadas por Nuvens Magnéticas.....	24
2.4.2.2 Tempestades causadas Choques.....	24
CAPÍTULO 3.....	26
METODOLOGIA UTILIZADA PARA ANÁLISE DOS EVENTOS DO MEIO INTERPLANETÁRIO.....	26
3.1 Precusores de Tempestades Geomagnéticas Observadas pela Rede de Telescópios de Múons.....	26
3.1.1 Instrumentação.....	27
3.1.2 Anisotropias Precursoras de Tempestades Geomagnéticas.....	28
3.2 Descrição dos Dados de Plasma e Campo Magnético Interplanetário para os Eventos de Tempestades Geomagnéticas.....	29
3.2.1 Parâmetros medidos pelos instrumentos a bordo dos Satélites.....	31
3.2.2 Desenvolvimento de ferramenta para visualização dos dados dos satélites...33	33
CAPÍTULO 4.....	35



ANÁLISES E RESULTADOS	35
4.1 Análise dos Parâmetros Interplanetários dos Eventos de Tempestades Geomagnéticas.....	36
4.1.1 Evento do dia 08 de Março de 1993.....	36
4.1.2 Evento do dia 15 de Maio de 1997.....	37
4.1.3 Evento do dia 06 de Novembro de 1997	39
4.1.4 Evento do dia 22 de Novembro de 1997	40
4.1.5 Evento do dia 06 de Agosto de 1998.....	42
4.1.6 Evento do dia 24 de Setembro de 1998	44
4.1.7 Evento do dia 18 de Outubro de 1998.....	46
4.1.8 Evento do dia 07 de Novembro de 1998	47
4.1.9 Discussão de resultados.....	50
CAPÍTULO 5.....	51
CONCLUSÕES FINAIS.....	51
AGRADECIMENTOS.....	53
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	54
ANEXOS.....	57
ANEXO 1-Programas.....	57
ANEXO 2-Títulos dos Trabalhos Apresentados.....	58
ANEXO 3-Projeto.....	60



RESUMO

Este relatório descreverá as atividades de iniciação científica desenvolvidas pelo bolsista Danieli Balbuena Contreira, referentes ao período de Setembro de 2002 a Maio de 2003 no Projeto: “Estudo da Estruturas Interplanetárias Relacionadas às Tempestades Geomagnéticas Intensas Ocorridas no período de 1992 a 1998”, seguindo a metodologia e resultados do relatório parcial anteriormente submetido à apreciação do PIBIC/INPE-CNPq. As atividades aqui descritas fornecem informações a respeito dos objetivos, técnicas de medidas empregadas, análise de dados, resultados obtidos e futuras análises. É importante salientar que estas atividades foram desenvolvidas junto ao Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRSPE/INPE-MCT, mais especificamente no Laboratório de Raios Cósmicos e Previsão de Tempestades Geomagnéticas.

Para melhor compreensão dos conteúdos e procedimentos realizados durante o período vigente a bolsa, o Relatório é estruturado do seguinte modo:

- **Capítulo 1** – Introdução geral apresentando a justificativa e objetivos específicos do projeto;
- **Capítulo 2** - Desenvolvimento teórico, onde serão revistos alguns conceitos básicos sobre física solar, fenômenos observados no meio interplanetário e ocorrência de tempestades geomagnéticas. Serão também apresentadas as técnicas atuais para o monitoramento do Clima Espacial através de observações solares e interplanetárias.
- **Capítulo 3** – Abordagem das técnicas e os parâmetros medidos pelos diversos satélites presentes no meio interplanetário. Descrição da metodologia de análise e redução de dados de plasma e componentes do campo magnético interplanetário (CMI), assim como apresentando uma breve introdução sobre a importância e metodologia da previsão do Clima Espacial utilizando raios cósmicos;
- **Capítulo 4** - Neste capítulo será apresentada uma discussão dos principais resultados obtidos, abordando um estudo completo das origens interplanetárias das tempestades geomagnéticas previamente estudadas por Munakata et al. (2000), utilizando a rede mundial de Telescópios de Múons;
- **Capítulo 5** – Conclusões.



CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 Justificativa

As tempestades geomagnéticas constituem um dos principais processos do Clima Espacial, pois estas interconectam de uma maneira única, o Sol, o espaço interplanetário, a Magnetosfera Terrestre, e ocasionalmente a superfície terrestre. As tempestades geomagnéticas têm sido tópico extensivo de estudos devido a seus efeitos observados na Terra, tais como: a aceleração de partículas carregadas, intensificação de correntes elétricas no espaço e na superfície terrestre, ocorrência de auroras nos pólos e diversos prejuízos em satélites e sistemas de comunicação (Daglis, 2001).

A origem solar das tempestades geomagnéticas está nas chamadas ejeções de massa coronal (EMC) e/ou explosões solares. Estes eventos liberam para o meio interplanetário grandes quantidades de matéria que se expandem para o espaço e originam estruturas secundárias, que posteriormente, interagindo com o campo magnético interplanetário (CMI), darão origem às tempestades geomagnéticas.

As estruturas interplanetárias estão intimamente relacionadas a tempestades geomagnéticas. A causa primária para o desenvolvimento destas tempestades está associada a estruturas interplanetárias intensas, com longa duração e componente do (CMI) na direção antiparalela a do campo magnético terrestre. Esta configuração de campos em direções opostas é conhecida como reconexão magnética, e é responsável por originar um transporte efetivo de energia para o interior da Magnetosfera Terrestre.

O conhecimento de tais fenômenos do meio interplanetário, como as nuvens magnéticas e os choques interplanetários, fornece informações significativas a respeito da dinâmica do meio interplanetário e do conseqüente desenvolvimento de tempestades geomagnéticas. Satélites propiciam um monitoramento contínuo do Clima Espacial através de dados de plasma e campo magnético interplanetário (CMI), permitindo a identificação das diferentes estruturas presentes no meio interplanetário. No entanto, através destes dados o conhecimento da chegada das estruturas que originam uma tempestade geomagnética é possível apenas com poucas horas de antecedência.



O objetivo específico deste projeto é a identificação das estruturas interplanetárias causadoras das Tempestades Geomagnéticas observadas no período de 1992 a 1998 e estudadas por Munakata et al. (2000) utilizando dados de raios cósmicos da rede de telescópios de Múons. Tais resultados revelam que a observação de anisotropias precursoras de raios cósmicos possibilita a previsão da chegada de tempestades com 6 a 9 horas de antecedência, servindo como uma importante ferramenta para o monitoramento e melhor entendimento do Clima Espacial. O contexto deste projeto está relacionado à recente inserção do Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE (São Martinho da Serra – RS) na rede de detecção de raios cósmicos. Objetiva-se estudar se há diferenças entre as estruturas interplanetárias identificadas e não identificadas por precursores de raios cósmicos.

O Laboratório de Raios Cósmicos e Previsão de Tempestades Geomagnéticas está implementando uma infra-estrutura de pesquisas para o monitoramento contínuo do Clima Espacial, a partir de um Detector de Múons protótipo instalado no Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE. O telescópio está em operação desde Março de 2002, tendo como objetivo maior preencher a falha existente na atual rede de detecção de raios cósmicos. A rede completa possibilitará uma previsão mais precisa da chegada de tempestades geomagnéticas, objetivando num futuro próximo poder amenizar os prejuízos causados na Terra através de alertas com horas de antecedência ao início das tempestades.

1.2 Objetivo da Cooperação Científica Internacional Brasil-Japão em Ciências Espaciais Básicas e Ciências Atmosféricas

A Cooperação Científica Internacional Brasil-Japão em Ciências Espaciais Básicas e Ciências Atmosféricas tem como principal objetivo pesquisar os fenômenos físico-químicos que ocorrem na grande região da Anomalia Magnética do Atlântico Sul, com coordenação técnico-científica do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRSPE/INPE-MCT e da Coordenação de Ciências Espaciais e Atmosféricas do INPE, no Brasil, e com a colaboração das seguintes instituições: Takushoku University (Physics Division, Faculty of Engineering), Kyushu University (Dept. of Earth and Planetary Sciences), Nagoya University (Solar Terrestrial Environment Laboratory), Rikkyo University (Dept. of Physics), Kokugaku-in University, Communication Research

Relatório Final de Atividades 2003



Laboratory, National Institute of Radiological Sciences (Space and Particle Radiation Science Research Group), Shinshu University, no Japão.

1.3 Objetivo do Projeto “Estudo das estruturas interplanetárias relacionadas às tempestades geomagnéticas intensas ocorridas no período de 1992 a 1998

Os objetivos específicos deste projeto são: (1) familiarização da aluna com os fenômenos do meio interplanetário e suas conseqüências terrestres, tais como as nuvens magnéticas interplanetárias e outras estruturas interplanetárias e as tempestades geomagnéticas, que fazem parte do estudo do Clima Espacial; (2) familiarização da aluna com os dados do meio interplanetário, de plasma (velocidade, densidade e temperatura do vento solar), e campo magnético interplanetário, para a identificação das diferentes estruturas presentes; (3) identificação das estruturas interplanetárias causadoras das tempestades geomagnéticas no período de 1992 a 1998, utilizando os dados acima mencionados, dados estes disponíveis através do sistema CDA (*Coordinate Data Analysis*) do programa ISTP (*International Solar-Terrestrial Physics*), ao qual o INPE possui acesso. A maioria, (80-90%), das tempestades que serão estudadas neste projeto foram detectadas por Munakata et al. (2000) utilizando raios cósmicos, portanto pretende-se analisar quais as particularidades destes eventos. Pretende-se verificar se há diferenças entre as estruturas interplanetárias causadoras das tempestades identificadas e não identificadas pelos raios cósmicos. O contexto deste projeto está relacionado à recente inserção do Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE - MCT (São Martinho – RS), convênio INPE-UFSM, na rede de detecção de Múons provenientes de raios cósmicos, através de um acordo tri-lateral entre Brasil, Estados Unidos e Japão. As observações de Múons feitas por esta rede serão utilizadas para a previsão da chegada de estruturas causadoras de tempestades geomagnéticas na Terra.

CAPÍTULO 2

O SOL, MEIO INTERPLANETÁRIO E EFEITOS GEOMAGNÉTICOS

O meio interplanetário pode ser definido como a região que se estende do Sol até o Meio Interestelar. Os fenômenos físicos que ocorrem nesta região têm como origem o Sol e sua atividade, sendo consequência direta dos processos físicos que ocorrem no interior do astro. Estes processos, que envolvem instabilidades de plasma e campos magnéticos estão relacionados às emissões transientes que variam de acordo com o ciclo solar de 11 anos.

2.1 Estrutura Solar

O Sol pode ser dividido em interior solar e atmosfera solar. O interior é composto de núcleo, zona radiativa e zona convectiva. A parte mais externa é composta por: Fotosfera, Cromosfera e Coroa. A Figura 2.1 ilustra a distribuição destas camadas.

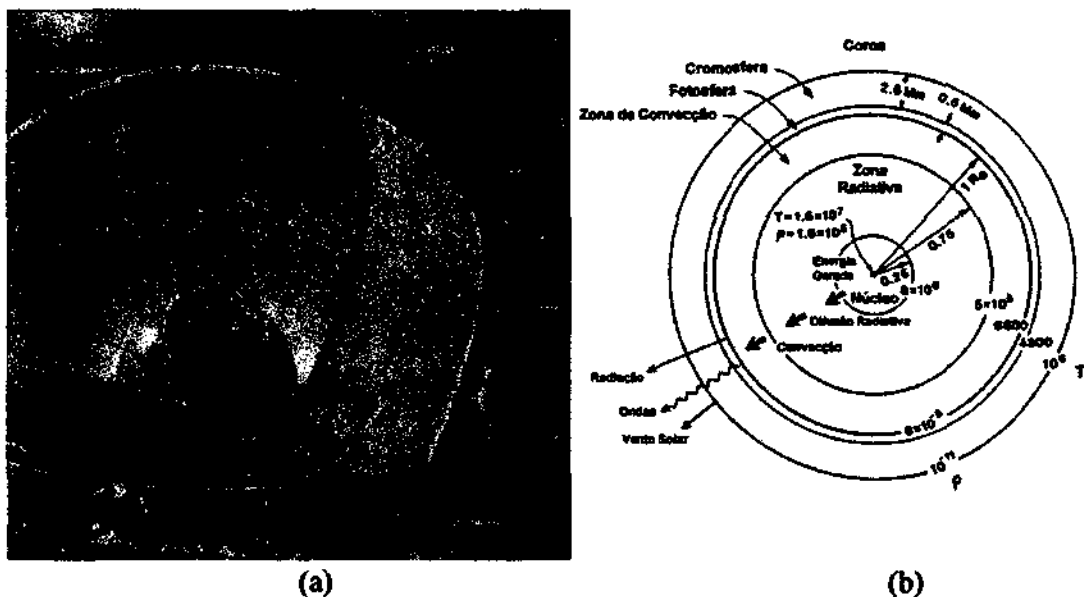


Figura 2.1- Estrutura do interior solar e atmosfera. (a) FONTE: <http://www.soho.nascom.gov>, (b) Adaptado de Kivelson e Russel (1995).

2.1.1 O Interior e a Energia Solar

Nem todas as estrelas possuem a mesma estrutura interna. Esta depende da massa da estrela. Para o Sol a estrutura interna é composta de um núcleo radiativo e um envelope



convectivo que pode chegar até a superfície. O Sol emite uma potência de $3,9 \times 10^{26}$ W. Toda esta energia se origina de reações nucleares que ocorrem no interior do astro e demora 10^7 anos para ser transportada pela zona radiativa e em seguida pela zona convectiva até atingir a superfície, onde a temperatura é de aproximadamente 5.800K. A Tabela 2.1 apresenta um esquema das principais características das camadas internas.

Tabela 2.1. Propriedades das camadas internas do Sol

<i>NÚCLEO</i>	<i>ZONA RADIATIVA</i>	<i>ZONA CONVECTIVA</i>
<ul style="list-style-type: none">• 700 milhões de toneladas de H e He são queimadas por segundo;• Estende-se até 0,25 raios solares;• Temperatura na ordem de $1,5 \times 10^7$ K.	<ul style="list-style-type: none">• Transporte de energia: 70% por radiação;• Estende-se de 0,25 a 0,75 raios solares;• Temperatura na ordem de 8×10^6 K.	<ul style="list-style-type: none">• Transporte de energia: 30% por convecção;• Estende-se de 0,75 a 1 raio solar;• Temperatura na ordem de 5×10^5 a 6600 K.

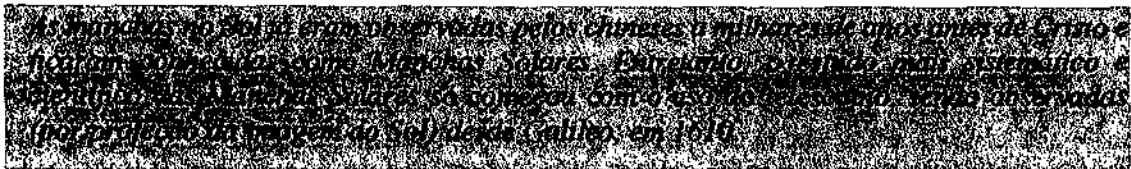
2.1.2 Atmosfera Solar

A atmosfera Solar é composta por 3 camadas distintas: Fotosfera - visível a olho nu, Cromosfera acima da primeira, e Coroa Solar - camada mais externa e tênue.

2.1.2.1 A Fotosfera Solar

As radiações observáveis provêm da Fotosfera, o disco visível do Sol, que apresenta uma espessura de aproximadamente 400 km e densidade de $8 \times 10^{-5} \text{m}^{-3}$. A temperatura na Fotosfera varia em torno de 6600 K, do interior para o exterior.

A observação da Fotosfera revela duas estruturas dominantes, as Manchas Solares e as Granulações. Quando muito extensas, as Manchas Solares podem ser vistas a olho nu como notáveis formações escuras, durante o nascer e o pôr-do-sol. Seu aspecto escuro deve-se ao fato de ser a temperatura das Manchas Solares cerca de 1.200°C inferior à da Fotosfera. Encontra-se na Fotosfera também uma fina e variável granulação, que parece brilhante em contraste com o fundo escuro. Com diâmetro entre 300 e 1.500 km, essas granulações têm uma vida média de aproximadamente 25 minutos e resultam da rapidíssima ascensão dos gases provenientes do interior quente do Sol.



As Manchas Solares tendem a se formar em grupo, Figura 2.3 (a), e são constituídas de duas partes: a umbra, parte central mais escura, com temperaturas em torno de 3.800 K, e a penumbra, região um pouco mais clara e com estrutura radial em torno da umbra, Figura 2.3 (b). A presença de Manchas Solares informa a respeito da existência de campos magnéticos intensos na atmosfera solar. Uma vez que o campo magnético inibe o processo convectivo, o transporte de energia nas manchas é bem menor, e conseqüentemente as manchas são significativamente mais frias emitindo bem menos radiação que o restante da superfície solar. Por este motivo, devido ao contraste com a superfície solar mais brilhante é que as manchas aparecem escuras. Normalmente, as Manchas Solares aparecem na superfície solar em grupos que evoluem em número e área total e podem durar até 2 rotações solares.

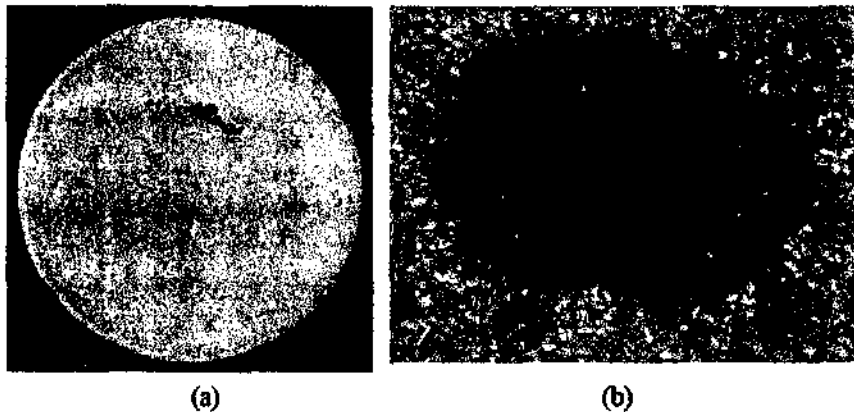


Figura 2.2 - (a) Grupo de Manchas Solares, FONTE: <http://science.msfc.gov/ssl>, (b) Umbra (região central) e penumbra, FONTE: <http://www.hao.ucar.edu:80/public>.

2.1.2.2 A Cromosfera

Acima da Fotosfera se estende a Cromosfera, camada com espessura aproximada de dez mil quilômetros e bem menos brilhante do que a Fotosfera. Apresenta uma coloração alaranjada que só pode ser observada quando ocorre um obscurecimento do disco solar, como, por exemplo, durante eclipses totais do Sol. Nessas ocasiões, a Cromosfera torna-se um arco brilhante e colorido, do qual partem raios de grande luminosidade e que indicam a presença de cálcio, hélio e hidrogênio em sua composição. Ao contrário do que ocorre na Fotosfera, a temperatura na Cromosfera aumenta do interior para o exterior. Essa camada é, na verdade, uma faixa de transição entre a Cromosfera fria e a Coroa quente. Sua

temperatura varia no intervalo de 4300 a 10^6 K e apresenta densidade de 10^{-11} m⁻³. É na Cromosfera que se registra os fenômenos Solares mais notáveis: as Espículas, as Proeminências (representadas na Figura 2.4), e as Erupções Solares.

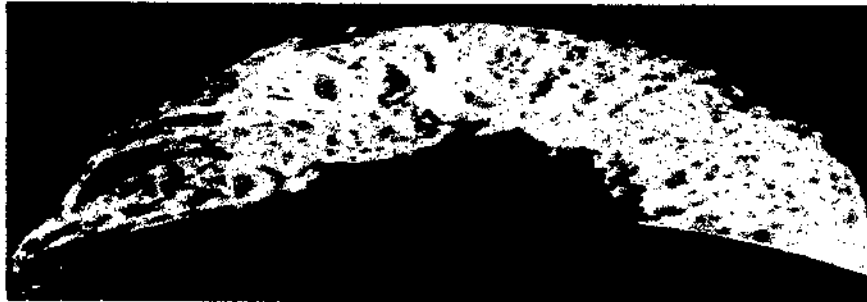


Figura 2.3 - Cromosfera Solar. Proeminência Eruptiva observada em H-alfa, FONTE: <http://science.msfc.nasa.gov/ssl>.

2.1.2.3 A Coroa Solar

De forma irregular, a Corona ou Coroa é a camada mais larga e externa da atmosfera Solar. Estende-se por mais de 13.000.000 Km, não tendo limites definidos, podendo variar em forma e tamanho. Caracteriza-se por variações de forma e de largura que costumam acompanhar o Ciclo das Manchas Solares. A densidade desta camada é de 2-3 ordens de grandeza mais baixa do que a da Cromosfera, e sua temperatura é de 1-2 milhões de graus. Como a temperatura é extremamente alta, Figura 2.5, a corona emite grande quantidade de raios-x. Além disso, a esta temperatura o gás encontra-se na forma de plasma (gás ionizado) produzindo os elétrons e íons que podem formar o chamado vento solar. Nesta camada também são observadas as regiões ativas, locais onde temperaturas e densidades são elevadas, além de possuírem campos magnéticos intensos distribuídos no formato de arcos e com os pólos magnéticos situados na Fotosfera.

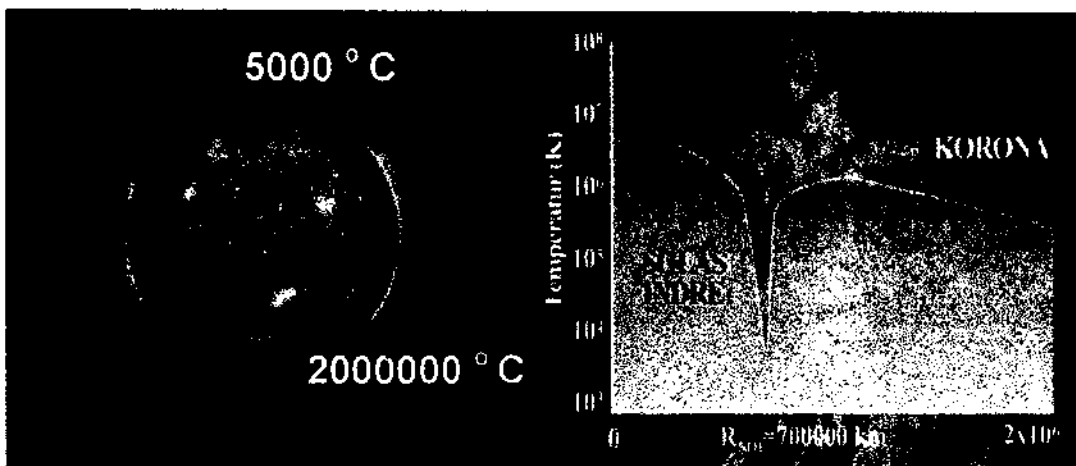
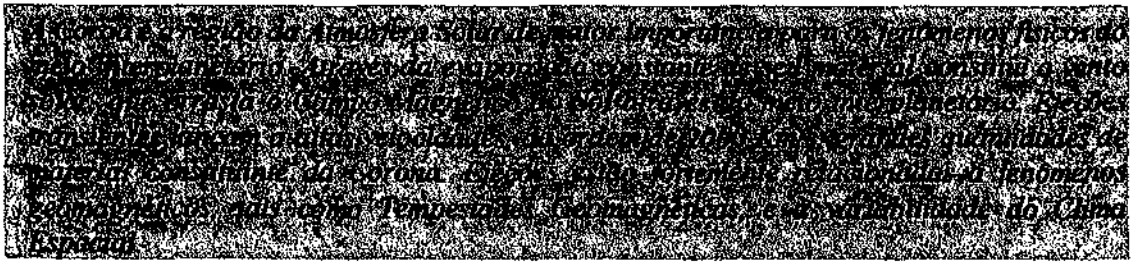


Figura 2.4- Distribuição de temperaturas na Corona, FONTE: <http://sunearth.gsfc.nasa.gov>.



2.1.3 O Vento Solar

As primeiras evidências do vento solar foram verificadas, através de observações da deflexão da cauda de cometas, por Biermann em 1951. O vento solar é um fluxo de elétrons e íons positivos que são expulsos da Corona solar, Figura 2.6 (b), em alta velocidade (cerca de 600 km/s) e propagam-se pelo meio interplanetário. Estas partículas se originam dos chamados buracos coronais e escapam do Sol para o espaço através das linhas abertas de campo magnético. Eventualmente, este vento atinge e interage com o campo magnético da Terra causando tanto o fenômeno conhecido como aurora, quando interagindo com gases da atmosfera, quanto perturbações no campo magnético, quando interagindo com a Magnetosfera Terrestre. O vento solar interagindo com a Magnetosfera Terrestre causa sua deformação na direção da linha Sol-Terra, tanto no espaço entre o Sol e a Terra como na direção do espaço exterior, como pode ser observado na Figura 2.6 (a).

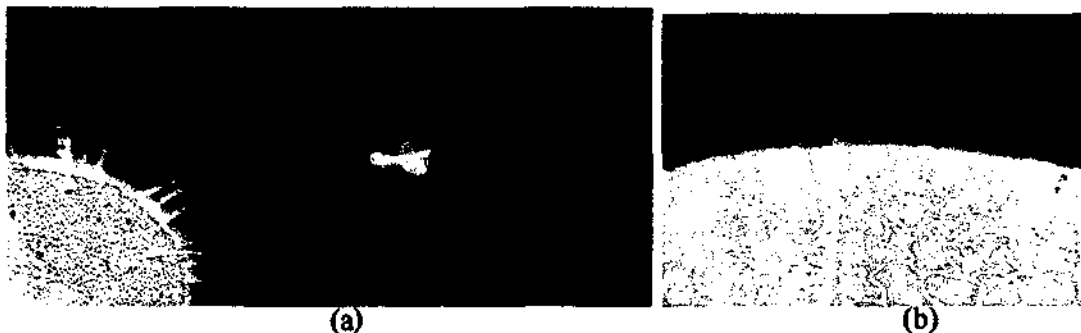


Figura 2.5- (a) A figura mostra como o vento solar empurra e dá forma à Magnetosfera, (b) Evaporação do material constituinte da Corona Solar, FONTE: <http://soho.nascom.nasa.gov>.

2.1.4 O Campo Magnético Interplanetário

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

O eixo do dipolo magnético é próximo ao eixo de rotação do Sol, e pode-se imaginar um plano de simetria cortando o seu equador. As linhas de campo magnético interplanetário são aproximadamente radiais próximas ao Sol (de 1,5 a 2,5 raios solares), entrando no Sol acima do plano de simetria e saindo logo abaixo deste plano, dependendo da fase do ciclo solar de 22 anos. No meio interplanetário, a transição entre as linhas entrando e saindo do sol constituiu uma estreita região, não necessariamente planar, onde se forma uma lâmina de corrente, chamada de Lâmina de Corrente Heliosférica, LCH (Schultz, 1973). Esta lâmina separa um hemisfério com polaridade positiva, como está ilustrado na Figura 2.7 (a), e de outro de polaridade negativa.

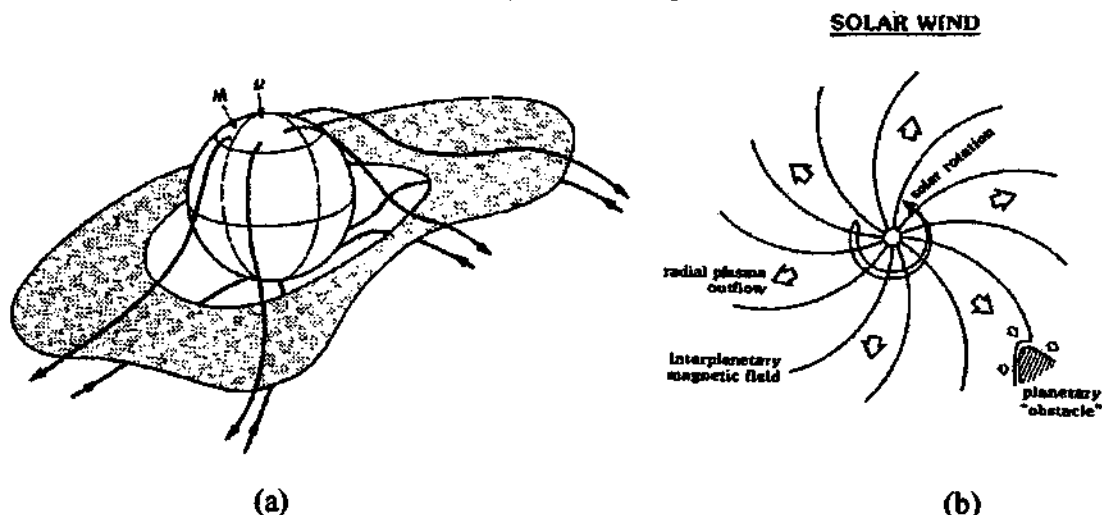


Figura 2.6 - (a) Lâmina de Corrente Heliosférica, FONTE: http://lepfi.gsfc.nasa.gov/mfi/hcs/hcs_shape.html e (b) Aspecto do Campo Magnético Interplanetário, FONTE: <http://soho.nascom.nasa.gov>.

Devido à rotação solar, o Campo Magnético Interplanetário tem o aspecto de uma espiral de Arquimedes, Figura 2.7 (b), 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 uma inclinação de aproximadamente 45°.

2.2 Atividade Solar

2.2.1 O Ciclo de Atividade Solar

A maioria das características da emissão solar está diretamente relacionada à atividade solar. O aspecto mais marcante da atividade é o ciclo de 11 anos, período no qual o número de Manchas Solares cresce e atinge um máximo, decrescendo logo em seguida.



As estruturas presentes no meio interplanetário, bem como o campo Magnético Inteplanetário também pode variar de acordo com este ciclo.

Durante o ciclo solar quatro fases distintas são identificadas, a fase de mínimo solar, fase ascendente, fase de máximo solar, e fase descendente. Durante o máximo do ciclo também ocorre um grande aumento de fenômenos energéticos nas regiões ativas associadas às manchas. Estes fenômenos são chamados de explosões solares ou “flares”, podendo estar associadas a ejeções de massa coronal e as tempestades geomagnéticas.

Outros efeitos importantes da atividade solar são os prejuízos causados em comunicações, sistemas de navegação, órbitas de satélites, oleodutos, exploração de recursos minerais, sistemas de fornecimento de energia, sistemas biológicos e também danos das radiações colocando em risco a vida de astronautas durante missões no espaço.

2.3 Ejeções de Massa Coronal (EMC)

As ejeções de massa coronal solar (EMC) podem ser designadas como grandes quantidades de matéria ($10^{15} - 10^{16}$ 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 exterior a velocidades de várias centenas a poucos milhares de km/s, como ilustra a Figura 2.8 (a). As EMC são aceleradas conforme vão se expandindo para o espaço exterior. As primeiras observações foram obtidas através de seqüências de imagens do coronógrafo a bordo do satélite OSO-7, durante o período de 1971 a 1973.

A causa destes fenômenos é ainda desconhecida. Mais da metade destes fenômenos encontram-se associados a proeminências eruptivas (Gosling, 1997). O restante que acompanha os “flares” costuma a aparecer na forma de “surges” ou “sprays”. Entretanto, em ambos casos, existe a associação com instabilidades em proeminências. Além disso podem também ocorrer na ausência de “flares” ou proeminências. A frequência das EMC varia de acordo com o ciclo de atividade solar, podendo ser observado cerca de um evento por semana, no mínimo do ciclo, enquanto podem ocorrer de 2 a 3 eventos por dia nos períodos do máximo da atividade solar. Sua morfologia varia desde um formato aproximado de um jato, Figura 2.8 (b), até um halo (arco), podendo circundar todo o disco solar em casos extremos. É possível que as origens solares das EMC estejam associadas aos buracos coronais (Hewish e Bravo, 1986). Estes buracos coronais são regiões escuras, apresentando configuração de campo magnético aberta, de onde se originam feixes de alta velocidade.

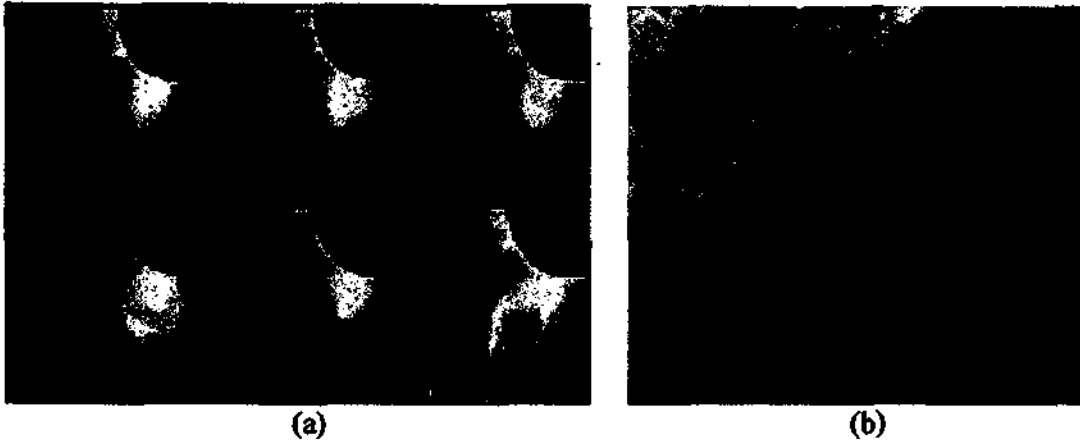


Figura 2.7 - (a) Sequência de imagens mostrando a ocorrência de uma EMC, FONTE: lasco-www.nrl.navy.mil/cmelist.html e (b) Ilustração das dimensões de uma EMC em comparação com o tamanho da Terra, FONTE: <http://astro.if.ufrgs.br/esol/>.

Estas ejeções podem quebrar o fluxo do vento solar e produzir perturbações que atingem a Terra e às vezes com resultados nocivos e perigosos às atividades humanas. Este fenômeno, juntamente com os “flares” solares, afeta diretamente o Clima Espacial. Atualmente, através das imagens diárias do experimento “Large Angle and Spectroscopic Coronagraph (LASCO)”, a bordo do satélite “Solar and Heliospheric Observatory (SOHO)”, é possível o monitoramento das condições dinâmicas da Corona Solar bem como o desenvolvimento de estudos sobre a forma e amplitude de tais ejeções.

2.3 Relação entre Ejeções de Massa Coronal Solares e Estruturas do Meio Interplanetário

2.3.1 Assinatura das Ejeções de Massa Coronal no Vento Solar

A identificação do material ejetado em uma EMC no meio interplanetário é uma tarefa a ser vencida, desde que não há uma única característica exibida pelas nuvens de plasma resultantes de uma EMC. Segundo Neugebauer e Goldstein (1997) várias características podem ser observados, sendo identificadas como:

- (a) Temperatura cinética de íons ou elétrons baixa para uma dada velocidade do vento solar. A razão para tal característica é a expansão da estrutura;
- (b) Abundância de Hélio não usual;
- (c) Abundância de outras espécies iônicas;
- (d) Feixes bidirecionais de elétrons supratérmicos e íons energéticos. Este fato caracteriza uma configuração de CMI candidato a ser o campo magnético interno de uma ejeção, fechado e com as extremidades presas ao sol.

- (e) Suave e intenso campo magnético, que quando combinado com baixas temperaturas levam a baixos valores do parâmetro β de plasma. No plasma das EMC o valor deste parâmetro é $\sim 0,1$;
- (f) Presença da rotação da direção do Campo Magnético, que pode ser modelado como sendo um tubo de fluxo. Algumas destas configurações são chamadas de Nuvens Magnéticas quando possuem: aumento de seu campo magnético; rotação suave em um amplo intervalo de ângulo; baixa temperatura de prótons.

2.3.2 Relação entre Ejeções de Massa Coronal e Ondas de Choque

As EMC rápidas geralmente estão associadas a ondas de choque no vento solar. Segundo Gosling (1990), todas as ondas de choque no vento solar a 1 UA são causadas por EMC. A Figura 2.9 mostra um esquema de uma onda de choque causada por uma EMC, esta onda de choque é indicada como uma linha curva se propagando a frente da ejeção. Entre o choque e a ejeção há uma região onde o plasma e o campo magnético (CMI) são comprimidos, ocorrendo desta forma uma intensificação do CMI, bem como uma intensificação do campo interior a estrutura na parte dianteira. Esta compressão tem um papel importante no aumento da magnitude do CMI, que cuja componente vertical (B_z) estiver apontada para direção sul dará origem a uma reconexão magnética com o Campo Magnético Terrestre, originando como consequência Tempestades Geomagnéticas.

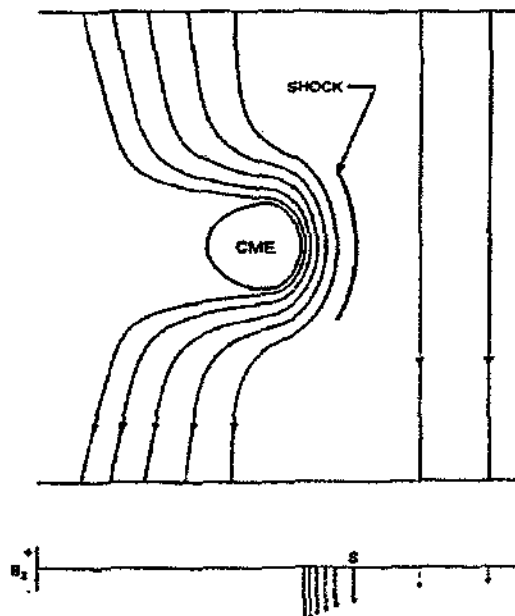


Figura 2.8 - Esquema de compressão por choque (*shock compression*). Na parte inferior da Figura está apresentada a magnitude de campo B_s . Da esquerda para a direita são denotados: CMI quieto, o choque (denotado por um "S"), a compressão das linhas do CMI e a EMC (representada por CME), FONTE: Tsurutani et al. 1992.

2.3.2 Nuvens Magnéticas

Uma Nuvem Magnética é uma ejeção transiente no vento solar que se estende radialmente de 0,25 a 1 UA, sendo definida por intensos campos magnéticos (tipicamente $B > 10$ nT), apresentando larga e suave rotação da direção do campo magnético, baixa temperatura de prótons e baixo valor do parâmetro beta, $\beta \sim 0,1$ (Burlaga et al., 1981; Klein e Burlaga, 1982). As Nuvens Magnéticas são objetos 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., 1990).

A origem solar das Nuvens Magnéticas está associada às Ejeções de Massa Coronal Solares (EMC), mas a relação entre estes dois processos é um tópico que necessita ser melhor analisado. Nuvens Magnéticas observadas por diversos satélites no mesmo intervalo de tempo possibilitou o conhecimento de sua geometria. Devido aos campos magnéticos tipicamente muito intensos e as baixas temperaturas de plasma, as Nuvens Magnéticas apresentam baixo valor de β , e em aproximadamente 10% dos casos o campo magnético nestas regiões apresenta uma configuração não usual, com as componentes fora do plano da eclíptica, como ilustrado na Figura 2.10.

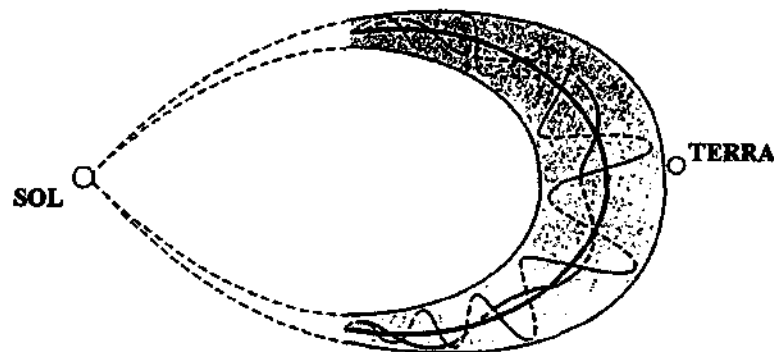


Figura 2.9 - Uma possível configuração dos campos magnéticos no interior de uma Nuvem Magnética, FONTE: Adaptado de Lepping et al. (1990).

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 a identificação de Nuvens Magnéticas. Tais medidas são feitas diariamente por vários satélites presentes no meio interplanetário. Alguns destes satélites situam-se em: 1 UA – satélite IMP-8, no ponto Lagrangeano L1 - satélite ISEE-3 (no período de 1978-1979); o satélite WIND e o satélite ACE. Os parâmetros físicos que caracterizam uma Nuvem Magnética podem ser observados no diagrama representado na Figura 2.11. Neste exemplo

estão representados os seguintes parâmetros, mostrados de cima para baixo: intensidade do campo magnético, componente vertical B_z , temperatura e densidade de prótons, velocidade do vento solar, pressão e índice Dst. Este evento apresenta uma rotação clara da componente B_z do campo magnético de “Sul para Norte”. Pode-se representar a rotação da componente do campo magnético através de um ângulo com variação máxima de 180° . A chegada de uma onda de choque dianteira pode ser identificada, linha tracejada, pelo aumento abrupto da velocidade do vento solar, campo magnético e temperatura. É importante observar que para o período restrito à nuvem a temperatura se manteve baixa.

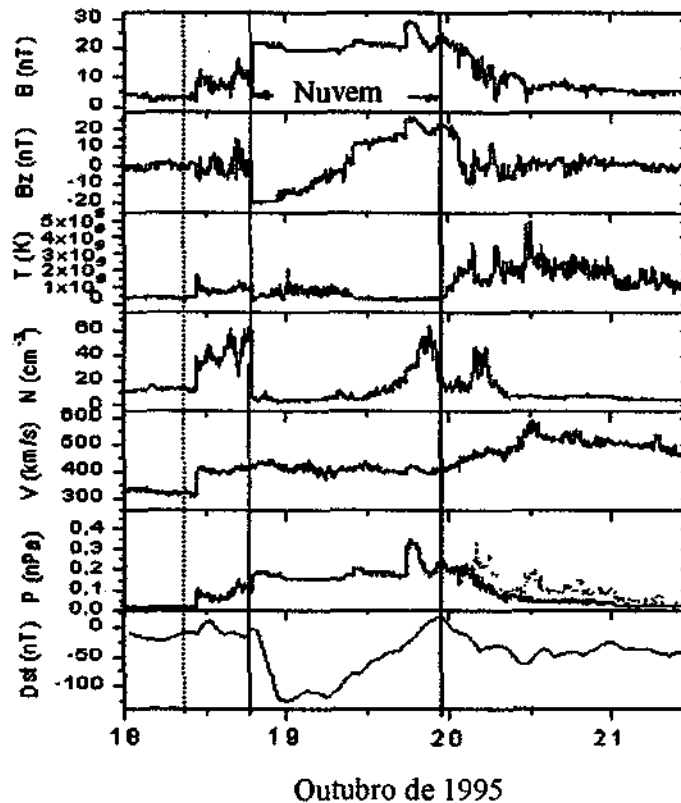


Figura 2.10 - Parâmetros físicos para um evento Nuvem Magnética, observada em 09 de Outubro de 1995.

A Figura 2.12 ilustra as possíveis trajetórias dos satélites ao interceptar uma Nuvem Magnética. A rotação será maior se o satélite, na Figura designado por T1, interceptar a parte central da nuvem, ou menor se este passar apenas pelas bordas da estrutura (Tsurutani e Gonzalez, 1997). Por se tratar, na maioria dos casos, de medidas de um único satélite, poderá ocorrer alterações nos parâmetros medidos dependendo da trajetória relativa do satélite em relação à estrutura. Um satélite passando pela trajetória T2 poderá não identificar a rotação da direção do campo magnético, observando apenas a onda de choque e não sendo possível a identificação do evento como Nuvem Magnética.

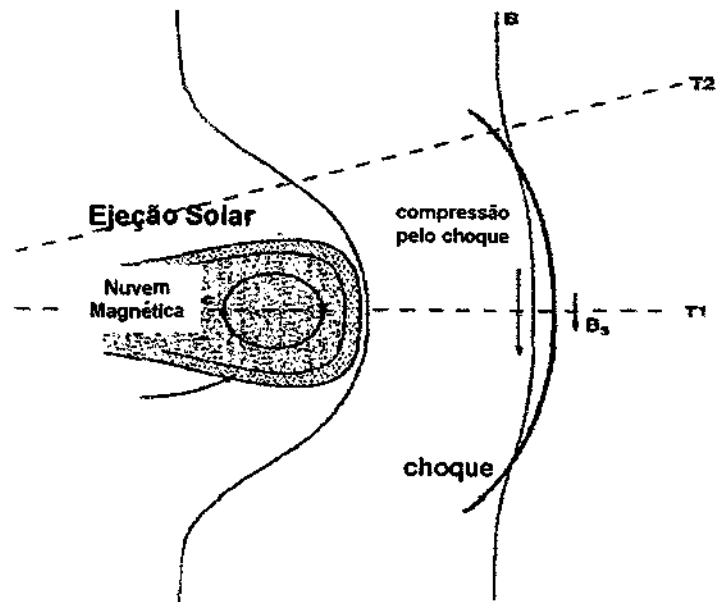


Figura 2.11 - Estrutura de uma Nuvem Magnética. T1 e T2 representam as possíveis trajetórias dos satélites interceptando a ejeção. T1: Passando no centro da estrutura Nuvem Magnética/choque e T2: Passando fora do centro da estrutura, FONTE: Dissertação de Mestrado, Alisson Dal Lago (1999, p. 46).

2.4 Efeitos Geomagnéticos

A cada 11 anos o Sol entra em um período de intensa atividade, liberando para seu exterior grande quantidade de matéria e energia através de Explosões e/ou Ejeções solares. Este período é denominado de ciclo solar ou atividade transiente, podendo também apresentar variabilidades recorrentes que normalmente estão relacionadas à rotação solar de 27 dias. Perturbações no Campo Magnético Terrestre podem ser observadas como resultado da interação entre estruturas solares com o campo magnético interplanetário (CMI), tendo como consequência direta às chamadas Tempestades Geomagnéticas.

2.4.1 Tempestades Geomagnéticas

Eventos de intensas flutuações no Campo Magnético Terrestre foram denominadas como Tempestades Geomagnéticas já na metade do ano de 1800 (Gonzalez et al, 1994). A principal característica de uma Tempestade Geomagnética é o decréscimo acentuado da componente horizontal, H , do Campo Geomagnético e a posterior fase de recuperação (Chapman e Bartels, 1940). Este decréscimo de intensidade é conhecido devido a um aumento da população de partículas aprisionadas na Magnetosfera. Derivas devidos ao gradiente do Campo Magnético e a curvatura produzem a chamada Corrente de Anel, que

representa o movimento das partículas: os íons de leste para oeste e os elétrons de oeste para leste. Para medir a intensidade da Corrente de Anel são utilizados valores horários da variação média global da componente H em baixas latitudes, constituindo o chamado índice Dst. As variações do índice Dst observadas para a maior Tempestade Magnética ocorrida no Ciclo Solar 21 estão ilustradas na Figura 2.13 (a).

Uma Tempestade é caracterizada por três fases, como ilustrado na Figura 2.13 (b): 1) início súbito (SSC-“Sudden Storm Commencement”) identificado por um aumento súbito do campo magnético; 2) fase principal, caracterizado por um alto decréscimo do índice Dst; 3) fase de recuperação, onde o campo magnético tende a retornar ao seu nível normal. A Tabela 2.2 apresenta os grupos com a classificação das Tempestades.

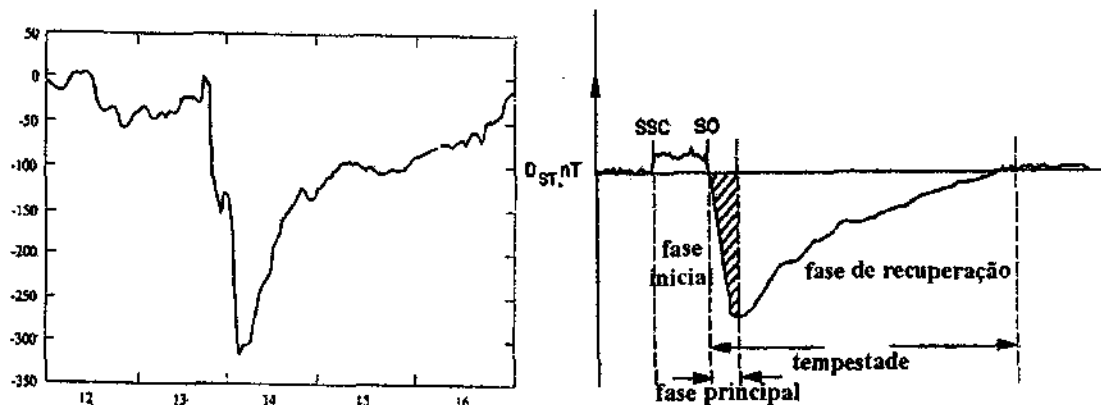


Figura 2.12- (a) Intensa Tempestade Geomagnética ocorrida no período de 12-16 Julho de 1982, FONTE: Gonzalez et al. (1994, p.5773); (b) As três fases de uma Tempestade Magnética, FONTE: Tsurutani e Gonzalez (1998, p. 61).

Tabela 2.2 Classificação das Tempestades Geomagnéticas de acordo com suas intensidades

Intensidade da Tempestade	Definição
Intensas	$Dst < -100$ nT
Moderadas	$-100 \text{ nT} \leq Dst \leq -50$ nT
Fracas	$-50 \text{ nT} \leq Dst \leq -30$ nT
Atividade Normal	$Dst \geq -30$ nT

Outros índices também são usados para o monitoramento de Tempestades Geomagnéticas. O índice Kp ou índice global é obtido através de um valor médio do nível de distúrbio em duas componentes horizontais do Campo Geomagnético. Estes distúrbios são medidos por 13 estações em médias latitudes. As perturbações magnéticas podem ser determinadas através das componentes H e D calculando-se o logaritmo da maior variação nestas componentes em um intervalo de 3 horas. Estas variações são distúrbios irregulares do campo geomagnético causado pela precipitação de partículas solares. As escalas variam de 0 (magneticamente quieto) a 9 (nível máximo de distúrbio), como ilustra a Figura 2.14.

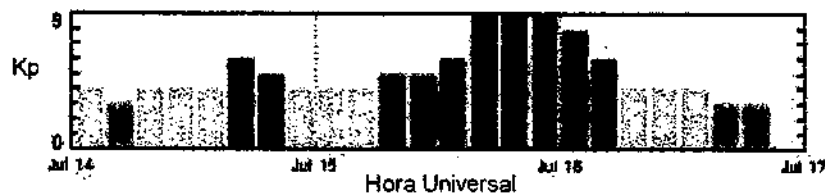


Figura 2.13 - Escala para o Índice Kp. FONTE: www.sec.noaa.gov/today.

2.4.2 Origem Interplanetária das Tempestades Geomagnéticas

Acredita-se que a causa primária para o desenvolvimento de Tempestades Magnéticas está relacionada a estruturas interplanetárias intensas, com longa duração e componente do CMI na direção antiparalela a direção do Campo Magnético Terrestre, ocorrendo reconexão magnética e um conseqüente transporte de energia do vento solar para o interior da Magnetosfera Terrestre (Gonzalez et al., 1994). O critério necessário para a ocorrência de Tempestades Geomagnéticas intensas, $Dst < -100$ nT, é o de haver um Campo Elétrico Interplanetário, $\vec{E} = \vec{V} \times \vec{B}_i$, na direção do anoitecer, maior que 5 mV/m, por um período maior que 3 horas. Este critério foi determinado empiricamente por Gonzales e Tsurutani (1987) usando dados de plasma e campo do satélite ISEE-3, e implica em um campo magnético B_s maior que 12,5 nT para uma velocidade de vento solar de aproximadamente 400 km/s.

O mecanismo físico para o transporte de energia do vento solar para a Magnetosfera é bem conhecido. Este mecanismo é a reconexão magnética entre a componente do CMI apontando na direção sul e componentes antiparalelas da Magnetopausa (Dungey, 1961). Esta situação pode ser visualizada da Figura 2.15.

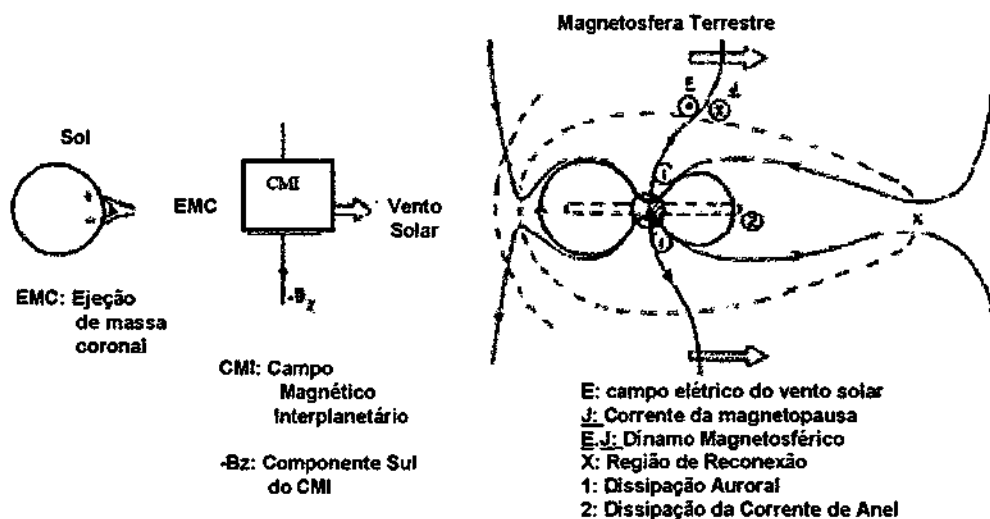


Figura 2.14 - Acoplamento entre Sol, meio interplanetário e Magnetosfera Terrestre. Fonte: Adaptado de Tsurutani e Gonzalez (1997, p. 82).

Interconexão entre campos interplanetários e campos magnetosféricos no lado diurno conduz para uma intensa reconexão de campos no lado noturno, com a concomitante injeção de plasma, proveniente da região do *plasma sheet*, no lado noturno.

Um bom entendimento das estruturas interplanetárias que causam Tempestades Geomagnéticas durante o máximo solar e próximo as mínimas condições do ciclo devem conduzir a uma melhor definição de procedimentos de previsão, as quais têm sido considerados como um ingrediente fundamental para as pesquisas do Clima Espacial.

2.4.2.1 Tempestades causadas por Nuvens Magnéticas

Um exemplo clássico de uma Tempestade Geomagnética causada por Nuvem Magnética está mostrado na Figura 2.16 (a). O choque frontal está denotado por 'S' e uma linha vertical pontilhada, o começo da Nuvem Magnética está indicado por uma segunda linha. A velocidade do vento solar antes do choque é de aproximadamente 400 km/s, atingindo posteriormente 550 km/s. O campo magnético aumenta de -6 nT para -22 nT. A densidade de plasma aumenta de 5 cm³ para 40 cm³ através do choque. Devido este aumento de densidade (e velocidade), a pressão exercida na Magnetosfera Terrestre, ρv^2 , causa uma repentina compressão da Magnetosfera e um salto positivo na componente horizontal, H. Este salto positivo é representado por um aumento no Dst e é observado na chegada do choque. Nesta fase ocorre um impulso repentino (Sudden Impulse - SI). Desde que SI é seguido pela fase principal da tempestade, é chamado de começo repentino da tempestade (SSC-Sudden Storm Commencement). O início da tempestade (SO) 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. Neste exemplo, o valor de pico do Dst, -239 nT, é alcançado aproximadamente 2 horas após o campo magnético Bs ter atingido o valor de pico, aproximadamente -30 nT. A rotação para a direção sul do CMI foi abrupta apresentando-se constante por diversas horas após o valor máximo de Bs ter sido atingido.

2.4.2.2 Tempestades causadas por Choques

Existem numerosos mecanismos que conduzem para componentes de campo na direção sul na bainha, *sheath*, (Tsurutani et al., 1988a; Zwan and Wolf, 1976). Dois destes mecanismos conduzem para a intensificação de campos magnéticos, independentes da orientação. Estes são compressão por choque e empilhamento. No mecanismo primário, o

choque comprime tanto o campo magnético quanto o plasma. No mecanismo posterior (Tsurutani et al., 1992), o encurvamento do campo magnético ao redor de um objeto largo (ejeção solar) conduz para uma compressão do plasma. A Figura 2.16 (b) ilustra a geração de Tempestades Magnéticas por campos na bainha devido ao mecanismo de compressão por choque. Do dia 245 até o choque, dia 248, os valores de B_z apresentaram-se flutuantes, mas geralmente com componente na direção sul. Existe correspondente atividade do eletrojato equatorial (AE) e também atividade da Corrente de Anel. O índice Dst foi de aproximadamente -30 nT, do dia 245 até a metade do dia 247, e aproximadamente -50 nT até a chegada do choque. Há um aumento de pequena duração no Dst após o choque devido aos efeitos de pressão do vento solar. Este impulso repentino (SI) é a totalidade da fase inicial da tempestade. Os valores de B_z na região atrás do choque são flutuantes, mas primariamente dirigidos para sul, desde o choque até as 16:00 UT do dia 250. O valor de pico de B_s , aproximadamente -20 nT, foi atingido em torno de 12:00 UT no dia 249 e o valor de pico do Dst, aproximadamente -280 nT, foi atingido várias horas depois. O mecanismo para a componente de campo magnético sul, causando esta tempestade é: compressão por choque mais os efeitos de empilhamento.

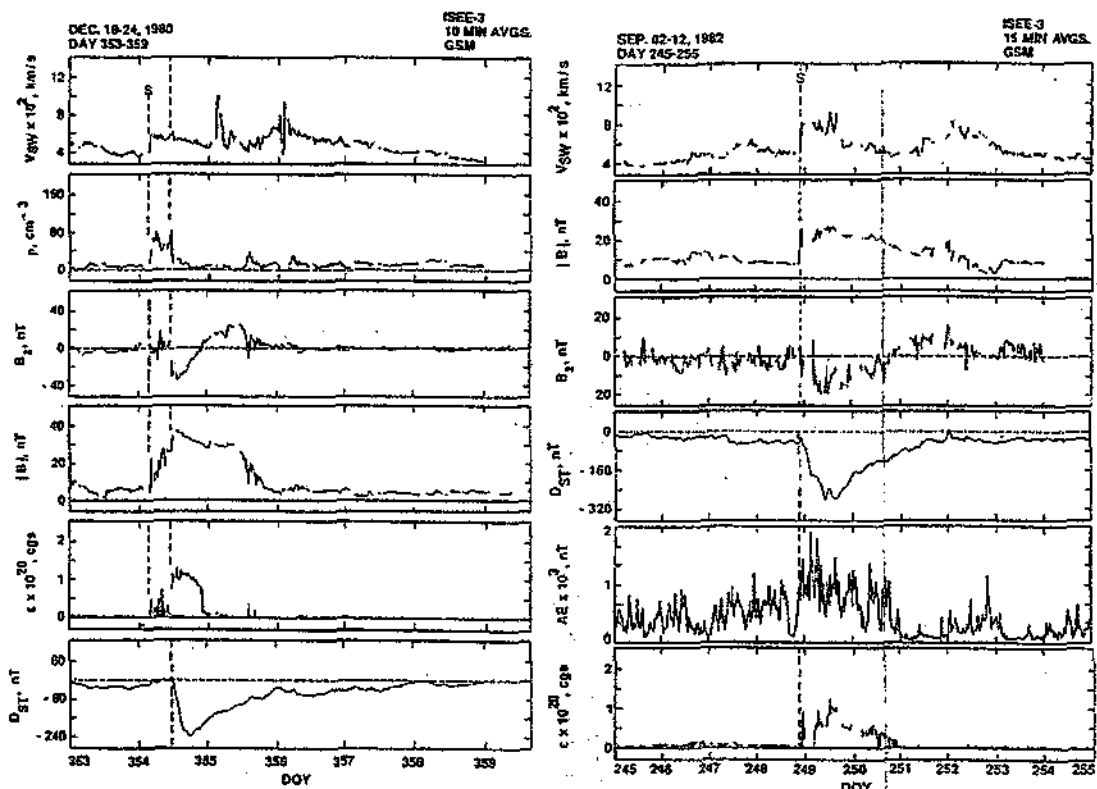


Figura 2.15- (a) Exemplo clássico de uma Tempestade Geomagnética originada por Nuvem Magnética. (b) Exemplo de uma outra Tempestade causada por mecanismo de compressão por choque. Os parâmetros interplanetários de ambas Figuras foram obtidos através do satélite ISEE-3. "S" indica a presença do choque, FONTE: Gonzalez et al, 1999.

CAPÍTULO 3

METODOLOGIA UTILIZADA PARA ANÁLISE DOS EVENTOS DO MEIO INTERPLANETÁRIO

Este capítulo apresenta a metodologia aplicada para a realização dos estudos das estruturas interplanetárias responsáveis pelas tempestades geomagnéticas intensas ocorridas no período de 1992 a 1998. Estes eventos foram escolhidos com o objetivo de fornecer um estudo completo das estruturas interplanetárias responsáveis pela origem das Tempestades previamente publicadas por Munakata et al. (2000). Naquele trabalho foi apresentada uma análise das anisotropias precursoras destas Tempestades utilizando raios cósmicos observados através da rede mundial de Telescópios de Múons. Os resultados revelam que através das observações das anisotropias de Múons é possível verificar com até 6 a 9 horas de antecedência a chegada de Tempestades. Esta rede de detecção constitui uma importante ferramenta na previsão do Clima Espacial considerando que os satélites atuais, localizados no ponto Lagrangeano, permitem o alerta da chegada das estruturas causadoras de Tempestades Geomagnéticas com poucas horas de antecedência.

Dados de diversos satélites foram utilizados para a identificação das estruturas interplanetárias. Primeiramente foi desenvolvido um banco de dados com os parâmetros interplanetários de plasma e campo magnético dos satélites ACE, WIND e IMP-8. Estes dados permitem o monitoramento contínuo das condições do meio interplanetário e foram obtidos através do sistema CDA (*Coordinate Data Analysis*) do programa ISTP (*International Solar-Terrestrial Physics*). Posteriormente foram desenvolvidos programas para a visualização destes parâmetros. Os algoritmos serão apresentados nas seções posteriores.

3.1 Precusores de Tempestades Geomagnéticas Observadas pela Rede de Telescópios de Múons

Devido ao grande volume que pode ser usado em detectores de solo, monitores de nêutrons (Simpson et al. 1953) e detetores de Múons (Fujimoto et al. 1984) ainda são ideais para medir raios cósmicos > 1 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. Há várias razões pelas quais partículas com estas energias são interessantes da perspectiva do Clima Espacial. Primeiro, elas viajam com velocidades próximas a da luz. Partículas de raios cósmicos que interagem com uma onda de choque em uma Ejeção de Massa Coronal (EMC) e escapam para a parte frontal dessas estruturas, viajarão mais rapidamente que o choque, trazendo o alerta da chegada da estrutura com antecedência.

A instrumentação e os métodos utilizando raios cósmicos para aplicações em Clima Espacial avançaram acentuadamente nos anos recentes. Em Março de 2001, um detector protótipo de Múons foi instalado no Sul do Brasil, no Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE, em São Martinho da Serra, RS (29°26'24"S, 53°48'38"W) através de uma cooperação trilateral entre Brasil, Japão e Estados Unidos. Este detector protótipo foi instalado no intuito de melhorar a habilidade na observação de raios cósmicos, preenchendo parcialmente a maior falha de detecção existente sobre o hemisfério oeste. Entretanto se faz necessário a implementação de Detectores de maior porte para cobrir totalmente este falha.

3.1.1 Instrumentação

Típicos monitores de nêutrons apresentam máxima resposta para raios cósmicos primários com energias de aproximadamente 10 GeV, enquanto detectores de Múons respondem a energias de aproximadamente 50 GeV. Com maiores energias os Múons viajam na atmosfera guardando as informações da direção incidente de raios cósmicos primários. É possível de se realizar uma medida direcional da intensidade de raios cósmicos instalando-se telescópios multidirecionais em uma única estação. Entretanto, a atual rede de detecção apresenta uma falha de estações no hemisfério oeste. A Figura 3.1 (a) apresenta esta falha. Os símbolos (quadrados, triângulos e diamantes) mostram a direção de visão assintótica de partículas de raios cósmicos incidentes em cada telescópio direcional, (Munakata et al., 2000), da rede antes da instalação do detector protótipo no Brasil. As linhas finas através dos símbolos compreendem 80 % da resposta de energia de cada canal direcional (Bieber et al., 2001). Esta ilustração demonstra a necessidade de um novo detector de Múons para preencher a falha existente sobre o Atlântico e Europa, e também a posterior cobertura após a expansão da rede de telescópios com a instalação de um detector de grande porte em São Martinho da Serra, Figura 3.1 (b). Esta sendo planejado a expansão da matriz de 2x2, 1m², de detectores para uma matriz de 6x6. Esta expansão aumentará o número de canais direcionais da intensidade de raios cósmicos para

17 (em relação a nove no presente momento), assim como a razão de contagem em cada canal (a contagem vertical, por exemplo, é esperada ser 2,860,000 cph).

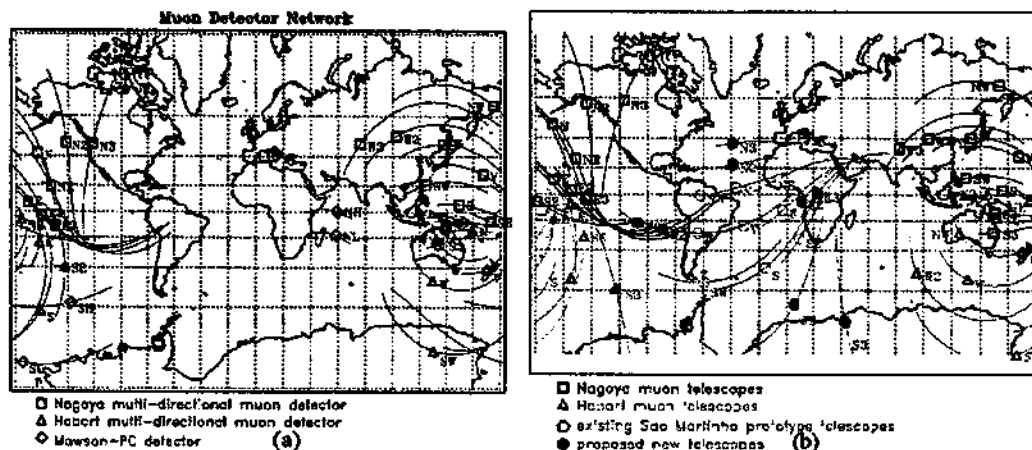


Figura 3.1- (a) Grande falha existente antes da instalação do detector no OES. (b) Proposta da expansão da rede de detectores de Múons. Utilizando telescópios inclinados, um detector de Múons pode observar direções múltiplas no espaço de uma única posição. Nesta proposta, um protótipo detector de Múons 2x2 instalado no OES seria expandido para 6x6. São Martinho da Serra foi escolhida porque está aproximadamente antípoda ao grande detector de Nagoya, Japão. FONTE: Munakata et al., 2000.

3.1.2 Anisotropias Precursoras de Tempestades Geomagnéticas

Anisotropias precursoras fornecem um mecanismo chave através do qual informação acerca da presença de um distúrbio pode ser transportada para localidades remotas. Devido ao fato de os raios cósmicos serem muito rápidos, esta informação é transportada aceleradamente sendo útil para a previsão do Clima Espacial. Anisotropias precursoras têm sido geralmente interpretadas como sendo efeitos cinéticos relacionados à interação dos raios cósmicos ambientes com uma onda de choque se aproximando (Nagashina et al. 1994; Bieber and Evenson, 1998). Decréscimos de precursores podem ser resultados de um efeito de “cone de perdas” (LC- Loss Cone), no qual a estação está magneticamente conectada à região de decréscimo de raios cósmicos a frente da onda de choque. Um exemplo de precursor de cone de perdas observado antes de um distúrbio geomagnético intenso está apresentado na Figura 3.2 (Munakata et al., 2000). Aproximadamente 7 horas antes do início súbito da tempestade, um cone de perdas está claramente presente nas observações feitas pelos detectores. Este fato pode ser visto no painel onde os telescópios de Múons observando na direção do Sol, ao longo do campo magnético (0° pitch angle), detectam uma forte supressão da intensidade de raios cósmicos (círculos sólidos). A explicação é que raios cósmicos vindos desta direção escaparam da região de depressão de raios cósmicos à frente da onda de choque, e eles exibem a

característica de mais baixa intensidade de sua origem. Dessa forma os precursores denominados LC (“Loss Cone”) podem ser interpretados como aqueles que apresentam uma supressão de intensidade alinhada a direção do campo magnético apontando para o sol. Já os precursores identificados como EV (“Enhanced Variation”) são semelhantes aos primeiros, porém não claramente alinhadas a direção do campo magnético. Possivelmente estes são cones de perda observados em situações em que o campo magnético local medido não é representativo do campo magnético de larga escala amostrado pelas partículas.

Munakata et al., 2000 mostrou que os precursores acompanham a maioria das Tempestades Magnéticas Intensas. Os detectores de Múons observaram precursores em 15 das 22 tempestades intensas (68%). Estes resultados também mostram que os instantes iniciais dos precursores relativos aos respectivos SSC são tipicamente várias horas e podem chegar a 12 horas. Este tempo é suficiente para uma boa previsão’.

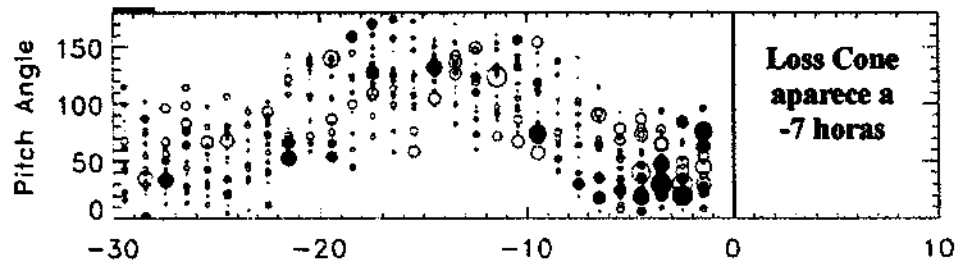


Figura 3.2 - Distribuição de Pitch Angle (Ângulo de Pitch) para um precursor LC, FONTE: Munakata et al., 2000.

3.2 Descrição dos Dados de Plasma e Campo Magnético Interplanetário para os Eventos de Tempestades Geomagnéticas

Como citado anteriormente, a seleção dos eventos foi realizada a fim de propiciar um estudo completo das estruturas interplanetárias dos 25 eventos de Tempestades Geomagnéticas identificadas e não identificadas pela rede de telescópios de Múons, verificando se existe diferenças significativas nas características das estruturas em relação a sua identificação ou não pela rede. A Tabela 3.1 relaciona as datas dos eventos, assim como fornece informações a respeito da classificação da respectiva tempestade e também o tipo de anisotropia de cada evento observada pela rede de telescópios.

Os dados de plasma (velocidade do vento solar, temperatura e densidade de prótons, etc) e campo magnético interplanetário (componentes) foram obtidos via internet (sistema CDA) a partir dos instrumentos a bordo dos satélites IMP-8, ACE e WIND. Através deste sistema é possível obter arquivos de dados com os parâmetros escolhidos de



acordo com o interesse de cada usuário. É importante ressaltar que dos 25 eventos, apenas 8 apresentaram dados do meio interplanetário confiáveis para a realização das análises.

O período correspondente aos dados é de 1992 a 1998. Os eventos correspondentes aos anos de 1993 a 1997 foram cobertos pelo satélite IMP-8 e pelo satélite WIND, que entrou em operação em meados dos anos de 1994. O satélite ACE está operando desde 1998. A Figura 3.3 ilustra os programas referentes ao lançamento dos satélites citados. Dados do índice Dst, provenientes da estação de Kyoto, também foram utilizados nesta análise a fim de verificar o desenvolvimento e amplitude das tempestades em estudo. Estes dados são continuamente atualizados e podem ser diretamente obtidos através do endereço na internet <http://swdcdb.kugi.kyoto-u.ac.jp/dstdir/>.

Tabela 3.1 Eventos de Tempestades Geomagnéticas. A segunda coluna apresenta os valores do índice Kp para os respectivos eventos. A terceira coluna apresenta o tipo de anisotropia precursora de raios cósmicos que foi observada no período que antecede o início das Tempestades Geomagnéticas, quando estas foram identificadas pela rede de Telescópios de Múons. A quarta coluna é referente aos dados obtidos através dos satélites.

Data do evento	Kp	Deteccção através dos Telescópios de Múons	Qualidade dos dados do Meio Interplanetário
01/02/1992	6.7	LC a -8 horas do SSC	sem dados
08/02/1992	7.0	PC	sem dados
20/02/1992	7.3	LC a -5 horas do SSC	sem dados
24/02/1992	6.7	NP	sem dados
26/02/1992	8.0	PC	sem dados
29/02/1992	6.7	EV a -10 horas do SSC	sem dados
09/05/1992	8.7	LC a -7 horas do SSC	sem dados
09/09/1992	7.3	LC a -8 horas do SSC	sem dados
17/09/1992	7.3	NP	sem dados
08/03/1993	6.7	NP	IMP-8/bom
11/03/1993	6.7	NP	IMP-8/ruim
23/03/1993	7.3	LC a -3.5 horas do SSC	IMP-8/ruim
04/04/1993	7.7	PC	IMP-8/ruim
15/08/1993	7.0	PC	IMP-8/ruim
03/11/1993	6.7	PC	IMP-8/ruim
21/02/1994	7.7	LC a -11 horas do SSC	IMP-8/ruim
02/04/1994	7.3	PC	IMP-8/ruim
02/10/1994	7.0	PC	IMP-8/ruim
15/05/1997	6.7	EV a -9 horas do SSC	IMP-8/Wind/bons
06/11/1997	7.0	NP	Wind/bom
22/11/1997	7.3	PC	Wind/bom
06/08/1998	7.3	PC	ACE/IMP-8/Wind/bons
24/09/1998	8.3	LC a -3.5 horas do SSC	ACE/IMP-8/bons
18/10/1998	6.7	PC	IMP-8/Wind/bons
07/11/1998	7.7	PC	ACE/IMP-8/Wind/bons

- PC - (poor coverage), cobertura pobre da componente sul do campo magnético interplanetário;



- NP – (no precursor), nenhum precursor detectado;
- EV – (enhanced variation), variação acentuada na contagem de Múons. Este tipo de anisotropia é verificado nos dados através de uma dispersão acentuada nos pontos;
- LC – (loss cone), cone de perda. Este tipo de anisotropia é verificado nos dados quando ocorre um agrupamento de pontos ao redor do valor de pitch angle zero;
- SSC – (sudden storm commencement). É observado por uma queda abrupta no índice Dst.

3.2.1 Parâmetros medidos pelos instrumentos a bordo dos Satélites

O Satélite ACE 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 principais 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. A Figura 3.4 apresenta um exemplo dos arquivos de dados dos instrumentos a bordo satélite ACE. A partir da figura é possível verificar a disposição e o formato texto dos arquivos. É importante salientar que a disposição dos dados dos satélites WIND e IMP-8 segue o mesmo padrão daquele ilustrado na Figura 3.4

O satélite WIND foi lançado em Novembro de 1994 e foi o primeiro de duas Astronaves da NASA na iniciativa Geoespaço e Ciência Global no projeto ISTP. O satélite WIND varia sua posição manobrando do ponto L1 para a órbita da Terra, em uma trajetória variável e complexa, mudando constantemente. Os objetivos científicos da missão WIND são: Prover estudos completos sobre plasma, partículas energéticas e campo magnético; investigação de processos básicos de plasma que ocorrem nas proximidades da Terra/vento solar. Os principais instrumentos a bordo do WIND são: Analisador de Plasma; Investigador de Campos Magnéticos; Experimento de vento solar; Espectrômetro de Raios Gama; Instrumento de Rádio e Ondas de Plasma; Aceleração de Partículas Energéticas, Composição e Transporte; Estudos de Composição Iônica do vento solar.

O satélite IMP-8 foi lançado pela NASA em 26 de Outubro de 1973 com o objetivo de realizar medidas contínuas de parâmetros de: campos magnéticos, plasmas, partículas energéticas carregadas (raios cósmicos) na região da *Magnetotail* e *Magnetosheat* nas proximidades Terra-vento solar. O último dos 10 satélites IMP (*Interplanetary Monitoring Platform*), lançado há 10 anos, continua em operação até os dias de hoje em sua órbita a



aproximadamente 35 raios terrestres. Este satélite é um importante adjunto do Programa Internacional (*Solar Terrestrial Physics Program*), produzindo uma base dados de extrema importância para o melhor entendimento dos processos físicos solares. Os principais instrumentos a bordo do satélite IMP-8 são: Magnetômetro, Investigador de vento solar, Analisador de Plasma Magnetosférico e Analisador de Ondas Elétricas/Magnéticas.

O intervalo de medidas dos instrumentos a bordo dos satélites é variável de satélite para satélite e está melhor detalhado na Tabela 3.2.

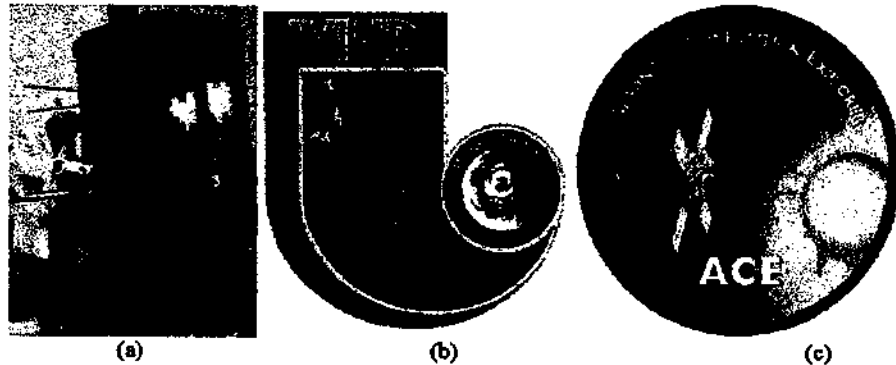


Figura 3.3 – Satélites cujos dados foram utilizados nesta análise. (a) Satélite IMP-8, (b) Satélite WIND e (c) Satélite ACE, FONTES: <http://nssdc.gsfc.nasa.gov/space/imp-8.html>, <http://nssdc.gsfc.nasa.gov/wind.html>, <http://www.srl.caltech.edu/ACE/>.

AC0608985W1 - WordPad

Courier New (Ocidental) 10

1. Time, centered
2. Solar Wind Proton Number Density, scalar
3. Solar Wind Bulk Speed
4. radial component of the proton temperature

EPOCH	SW H DENSITY	SW BULK SPEED	H TEMP RADIAL
dd-mm-yyyy hh:mm:ss.ms	#/cc	km/s	Kelvin
01-08-1998 00:00:11.000	16.4319	372.680	36373.5
01-08-1998 00:01:15.000	17.0411	371.590	37343.9
01-08-1998 00:02:19.000	16.0684	370.130	34776.3
01-08-1998 00:03:23.000	16.7636	370.690	38107.5
01-08-1998 00:04:27.000	16.8593	370.170	36945.9
01-08-1998 00:05:31.000	15.4862	368.470	38966.3
01-08-1998 00:06:35.000	14.8597	368.400	39820.1
01-08-1998 00:07:39.000	15.5109	369.590	37740.2
01-08-1998 00:08:43.000	16.0979	370.990	36348.3
01-08-1998 00:09:47.000	15.5824	371.840	39664.3
01-08-1998 00:10:51.000	-1.00000E+31	-1.00000E+31	-1.00000E+31
01-08-1998 00:11:55.000	15.5891	369.440	48763.8

Figura 3.4 – Visualização dos dados de plasma medidos com o satélite ACE. Na primeira coluna são apresentadas as datas, na segunda e terceira colunas são apresentados os valores referentes à densidade (SW H Density) e velocidade do vento solar (SW Bulk Speed), respectivamente. A quarta coluna mostra os dados de temperatura de prótons (Temperatura Radial).



Tabela 3.2 – Intervalo de amostragem dos dados utilizados nesta análise

	Plasma	CMI
IMP-8	não regular - de 15 min. a 1 hora	aproximadamente 1 min.
ACE	1 min.	4 min.
WIND	aproximadamente 1min. e 40 seg.	aproximadamente 1 min. e 32 seg.

3.2.2 Desenvolvimento de ferramenta para visualização dos dados dos satélites

Para a visualização e posterior análise dos parâmetros interplanetários provenientes dos satélites foi necessária uma familiarização com a linguagem de programação em Matlab. Este pacote foi escolhido por apresentar recursos gráficos e matemáticos superiores a de outros softwares conhecidos.

Foram desenvolvidos programas que providenciam a leitura dos arquivos de dados e posteriormente geram um arquivo reduzido (.red). A partir destes arquivos reduzidos é possível a plotagem e manipulação dos dados utilizando algumas rotinas disponíveis no Matlab. Foram desenvolvidos 3 programas para cada satélite, um para leitura dos dados de plasma, outro para a leitura dos parâmetros de campo magnético e um terceiro para a organização dos dados em gráficos. Foi necessário da mesma maneira o desenvolvimento de programas para a leitura dos dados do índice Dst. A Figura 3.5 apresenta a visualização dos parâmetros de plasma e campo magnético interplanetário do satélite ACE, além do índice Dst para um evento ocorrido no dia 06/08/98.

Os programas fontes estão apresentados e detalhados no Anexo 1. Estes programas além de terem facilitado o desenvolvimento destas análises, e propiciado um importante contato com uma linguagem de programação, poderão também ser utilizados futuramente na realização de outros estudos, bem como por diferentes usuários ou outros dados cujos arquivos sejam semelhantes ao do exemplo ilustrado na Figura 3.4.

Os programas para a leitura dos dados são nomeados no formato: *Red_ace_mfi* – este programa realiza a leitura dos dados de campo magnético interplanetário medidos com o satélite ACE; *Red_ace_sw* – este programa realiza a leitura dos dados de plasma do satélite ACE; *Red_wind_mfi* – realiza a leitura dos dados de campo magnético interplanetário do satélite WIND; *Red_wind_sw* – leitura dos dados de plasma do satélite WIND; *Red_imp_mfi* e *Red_imp_sw* realizam a leitura de dados de campo magnético interplanetário e plasma, respectivamente, medidos com o satélite IMP-8.

Os programas para a plotagem dos dados são identificados da seguinte forma: *plot_ace* – plota os parâmetros que fazem parte do arquivos reduzido mfi e sw (.red) do



arquivo ACE; da mesma maneira, o programas plot_wind e plot_imp plotam os dados do satélites WIND e IMP-8 respectivamente.

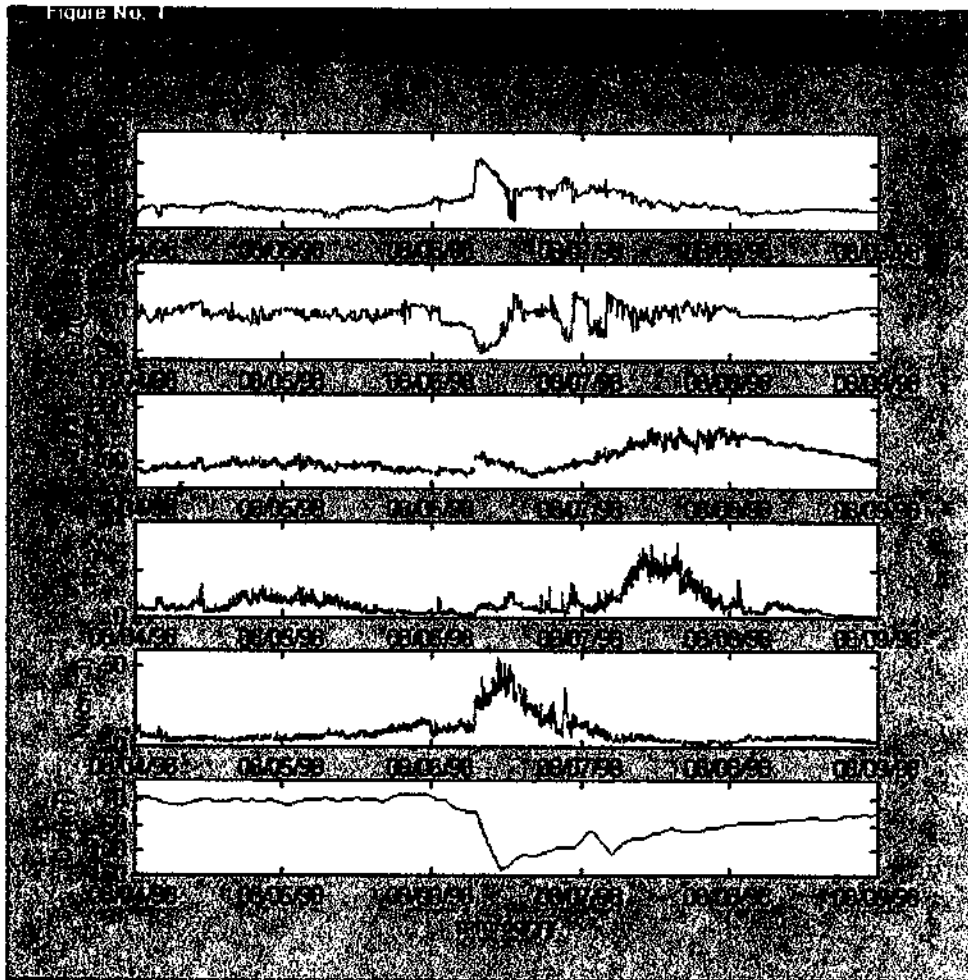


Figura 3.5 – Visualização dos parâmetros de plasma e campo magnético interplanetário do satélite ACE. De cima para baixo os painéis representam: 1) Componente total do campo magnético interplanetário (em nT), 2) Componente vertical do campo magnético interplanetário (em nT), 3) Velocidade do vento solar (em km/s), 4) Temperatura de prótons (em kelvin), 5) Densidade de prótons (em cm^{-3}) e por último o índice Dst (em nT). No dia 06/08/98 é possível observar um evento de tempestade geomagnética sendo indicado por uma queda acentuada nos valores do índice Dst.



CAPÍTULO 4

ANÁLISES E RESULTADOS

Este capítulo abordará uma análise dos parâmetros interplanetários dos eventos de Tempestades Geomagnéticas descritas em capítulos anteriores. Dos 25 eventos em estudo, somente 8 apresentaram dados confiáveis para o desenvolvimento desta análise. Uma discussão das principais características de cada evento específico será apresentada com o objetivo de avaliar as possíveis diferenças entre as estruturas interplanetárias identificadas e não identificadas pela rede de telescópios de Múons. De acordo com a observação de precursores de raios cósmicos os eventos foram divididos nos grupos: (PC) quando apresentou uma cobertura pobre de tais eventos, (NP) quando precursores não foram observados e (EV e LC) quando anisotropias precursoras foram claramente observadas.

A análise dos dados de raios cósmicos mostra que em 50% dos eventos selecionados de Tempestades (observadas nos dias: 22/11/97, 06/08/98, 18/10/98 e 07/11/98) a rede de telescópios apresentou uma cobertura pobre do campo magnético interplanetário e como consequência, precursores não puderam ser identificados ou classificados. Para este grupo, os dados de plasma e campo magnético interplanetário revelam que Nuvens Magnéticas foram o mecanismo interplanetário responsável pelo desenvolvimento de 3 das 4 Tempestades Geomagnéticas observadas.

Em dois outros eventos (08/03/1993 e 06/11/97), 25 % do total, nenhum tipo de precursor foi observado, sendo que para este caso a fase principal das Tempestades foi originada por mecanismos diferenciados, em um dos eventos por nuvem magnética e no segundo caso por mecanismo de choque. Em ambos eventos não foi verificado predominância em relação à direção da componente Bz do CMI horas antes da fase inicial da Tempestade, e o índice Dst atingiu níveis em torno de -50 nT.

Os dois últimos eventos (24/09/98 e 15/05/1997) apresentaram identificáveis precursores de raios cósmicos, para os quais o primeiro caso mostrou anisotropia precursora do tipo (LC), surgindo à aproximadamente 3 horas e 30 minutos antes do início da tempestade (SSC). Para o outro evento foi observada anisotropia precursora do tipo (EV), a aproximadamente 9 horas antes do (SSC). Para ambos tipos de anisotropias precursoras, a fase principal da respectiva Tempestade foi originada por mecanismo de



Nuvem Magnética e a componente B_z do CMI se manteve sul durante a chegada do precursor.

4.1 Análise dos Parâmetros Interplanetários dos Eventos de Tempestades Geomagnéticas

Para cada evento estão representados os gráficos com as respectivas análises do comportamento dos dados. É importante salientar que alguns eventos foram cobertos ao mesmo tempo pelos 3 satélites em estudo, portanto serão apresentados os gráficos respectivos de cada satélite a fim de possibilitar uma melhor interpretação e visualização da qualidade destes dados. As linhas tracejadas em preto, nas Figuras 4.1, 4.2, 4.4, 4.6, 4.7, 4.8, 4.10 e 4.11 representam o período referente à chegada do choque (designado por S) e a região delimitada por linhas tracejadas em vermelho refere-se ao período correspondente à passagem da Nuvem Magnética. Nestas Figuras os parâmetros interplanetários representados por B designam a intensidade do CMI (em nT); km/s representa a velocidade do vento solar; N (cm^{-3}) a densidade de prótons do vento solar; DQF (data quality flag) indica a qualidade dos dados em estudo, se 0 representa dados de boa qualidade, se 1 os dados não são confiáveis; $2kT/M$ indica a velocidade termal do vento solar, T (K) a temperatura de prótons do vento solar e o índice Dst (em nT) para o evento.

4.1.1 Evento do dia 08 de Março de 1993

Este evento foi coberto somente pelo satélite IMP-8. As principais características observadas durante este evento estão representadas na Tabela 4.1 e plotadas na Figura 4.1.

Tabela 4.1 – Análise do evento 08/03/93

Parâmetros	Comentários
índice K_p	6.7
índice Dst pico:	~ -140 nT (~ 06:00 UT do dia 09/03/93)
classificação da tempestade	tempestade intensa
SSC	~ 21:35 UT do dia 08/03/93
chegada do choque (S_1):	~ 15:00 UT do dia 08/03/93
chegada do choque (S_2):	~ 21:00 UT do dia 08/03/93
campo B_z precedente ao choque (S_1):	oscilante
campo B_z precedente ao choque (S_2):	norte
mecanismo responsável pela fase principal da tempestade:	choque (S_2): fase principal da tempestade ocorre próxima a chegada deste choque
cobertura dos Detectores de Múons para a tempestade:	NP(no precursor), nenhum precursor foi observado
pico B_z sul (l após o início do S_2):	~ -35 nT (~24:00 UT do dia 08/03/93)
pico do vento solar (após o início S_2):	~ 700 km/s

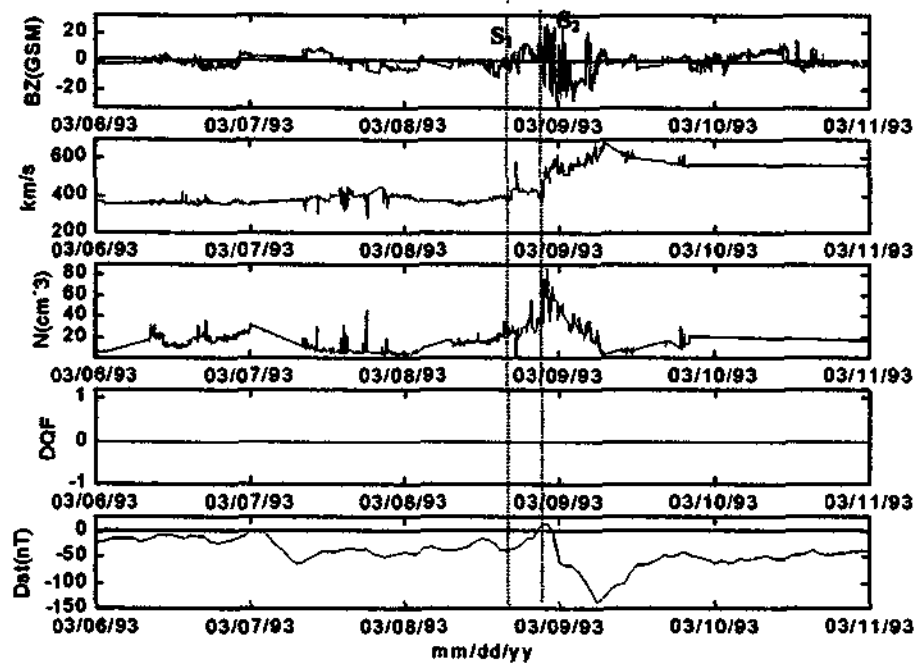


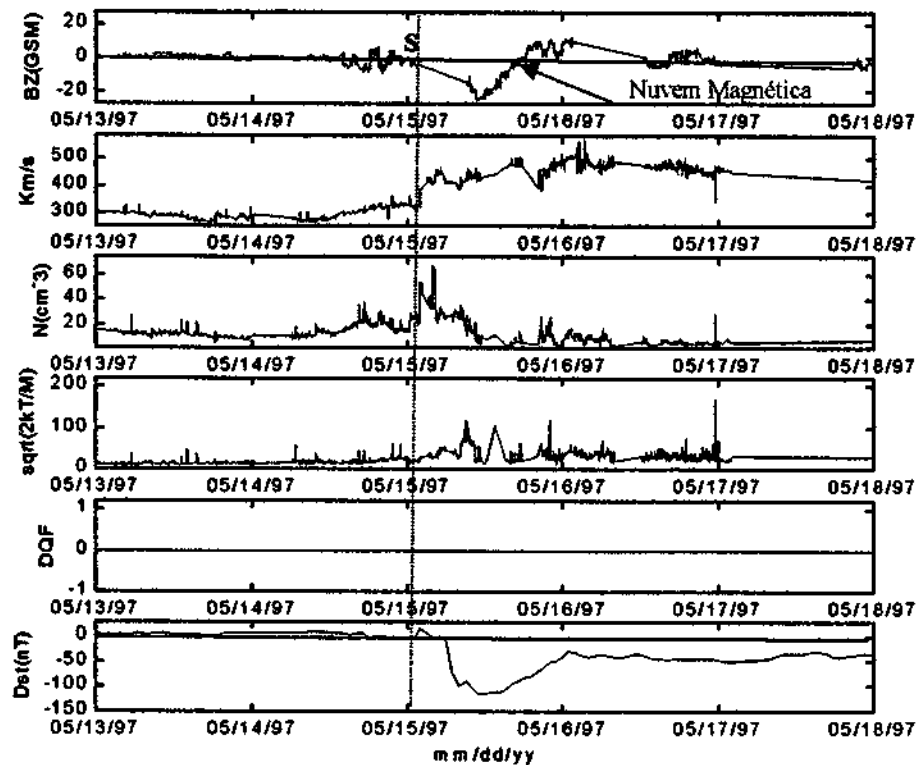
Figura 4.1 – Parâmetros obtidos com o satélite IMP-8. Através da Figura é possível observar que o mecanismo interplanetário responsável pelo desenvolvimento da Tempestade Geomagnética é compressão por choque.

4.1.2 Evento do dia 15 de Maio de 1997

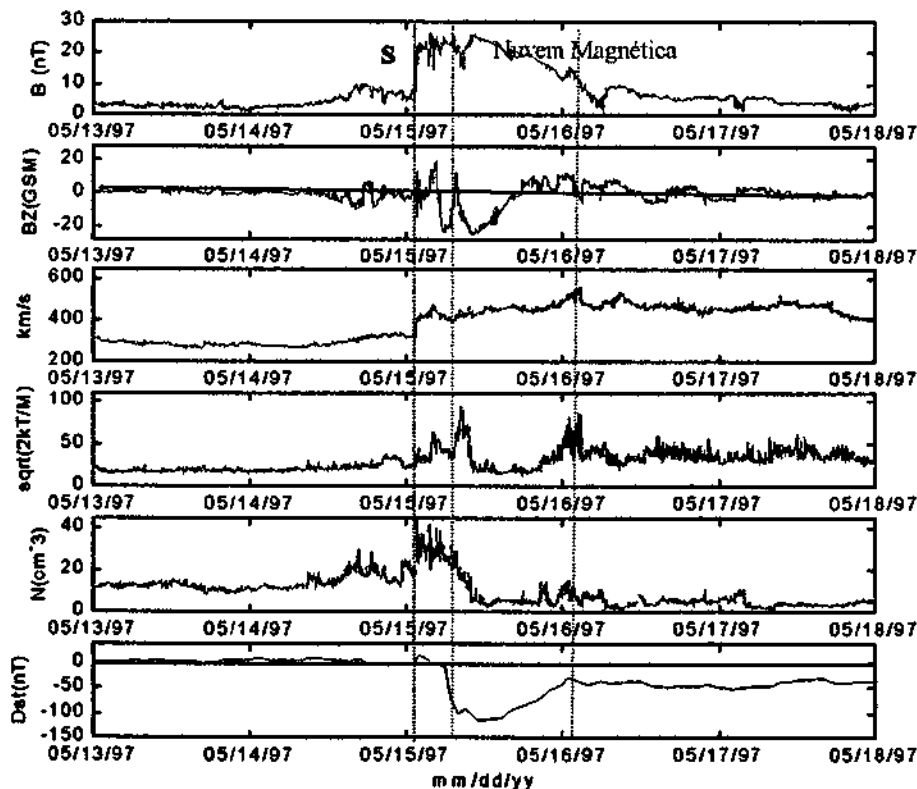
Este evento foi coberto pelos satélites IMP-8 e WIND. A Tabela 4.2 apresenta os principais parâmetros para este evento. A Figura 4.2 (a) apresenta os parâmetros do satélite IMP-8 e a (b) os parâmetros observados com dados do satélite WIND.

Tabela 4.2 – Análise do evento 15/05/97

Parâmetro	Comentário
índice Kp	6.7
índice Dst pico:	~ -130 nT (~ 12:00 UT do dia 15/05/97)
classificação da tempestade	tempestade intensa
SSC	~ 05:00 UT do dia 15/05/97
chegada do choque :	~ 02:00 UT do dia 15/05/97
campo B _z precedente -choque	oscilante, mas predominantemente sul
mecanismo responsável pela fase principal da tempestade:	nuvem magnética + choque: rotação existente na componente B _z e também baixa densidade de prótons. A inclinação do eixo da nuvem em relação ao satélite é de 27 % e o fator de assimetria é de 4.7 % (WIND)
cobertura dos Detectores de Múons para a tempestade:	EV - variação intensificada no pitch angle à aproximadamente 9 horas antes do (SSC)
pico do vento solar (logo após o início da nuvem):	~500 km/s (velocidade não diminui durante o período correspondente à nuvem por se tratar de uma estrutura velha que não apresenta expansão)



(a)



(b)

Figura 4.2 - (a) Parâmetros medidos com o satélite IMP-8 e (b) dados observados com o satélite WIND. Evento de Tempestade Geomagnética originada por Nuvem Magnética.

A Figura 4.3 apresenta o tipo de anisotropia precursora de raios cósmicos observada durante este evento pela rede de telescópios de Múons. A aproximadamente 9 horas antes do início da tempestade é observado uma forte supressão da intensidade de raios cósmicos, porém não claramente alinhada a direção do CMI desde que o pitch angle (ângulo de pitch) se mantém variável. Este tipo de anisotropia pode ser então caracterizada como um aumento ou deficiência da intensidade, não sendo descrita como uma função sistemática do pitch angle. Os círculos abertos e sólidos representam, respectivamente, um excesso e uma deficiência na intensidade de raios cósmicos.

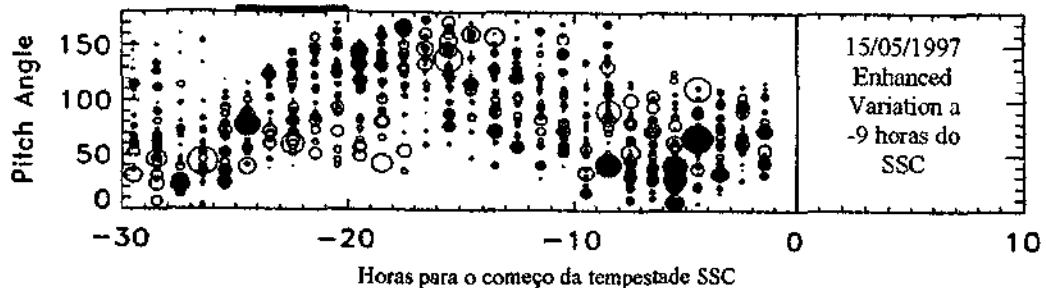


Figura 4.3 –Tipo de anisotropia precursora para o evento. FONTE: Munakata et. al 2000.

4.1.3 Evento do dia 06 de Novembro de 1997

Este evento foi coberto somente pelo satélite WIND. A Tabela 4.3 apresenta os principais parâmetros para este evento. A Figura 4.4 mostra o comportamento dos dados.

Tabela 4.3 – Análise do evento 06/11/97

Parâmetro	Comentário
Índice Kp	7.0
Índice Dst pico:	~ -110 nT (~ 04:00 UT do dia 17/11/97)
classificação da tempestade	tempestade intensa
SSC	~ 23:00 UT do dia 06/11/97
chegada do choque :	~ 22:00 UT do dia 06/11/97
campo B _z precedente ao choque	predominante sul
mecanismo responsável pela fase principal da tempestade:	nuvem magnética: rotação existente na componente B _z e também baixa densidade de prótons. A inclinação do eixo da nuvem em relação ao satélite é de 25 % e o fator de assimetria é de 28.8 % (de acordo com o WIND)
cobertura dos Detectores de Múons para a tempestade:	NP (no precursor), nenhum precursor foi observado para este evento
pico B _z sul (após o início da nuvem):	~ -17 nT (~05:00 UT do dia 07/11/97)
pico do vento solar (logo após início da nuvem):	~ 450 km/s (velocidade não diminui durante o período correspondente a nuvem por se tratar de uma estrutura velha que já não apresenta expansão)

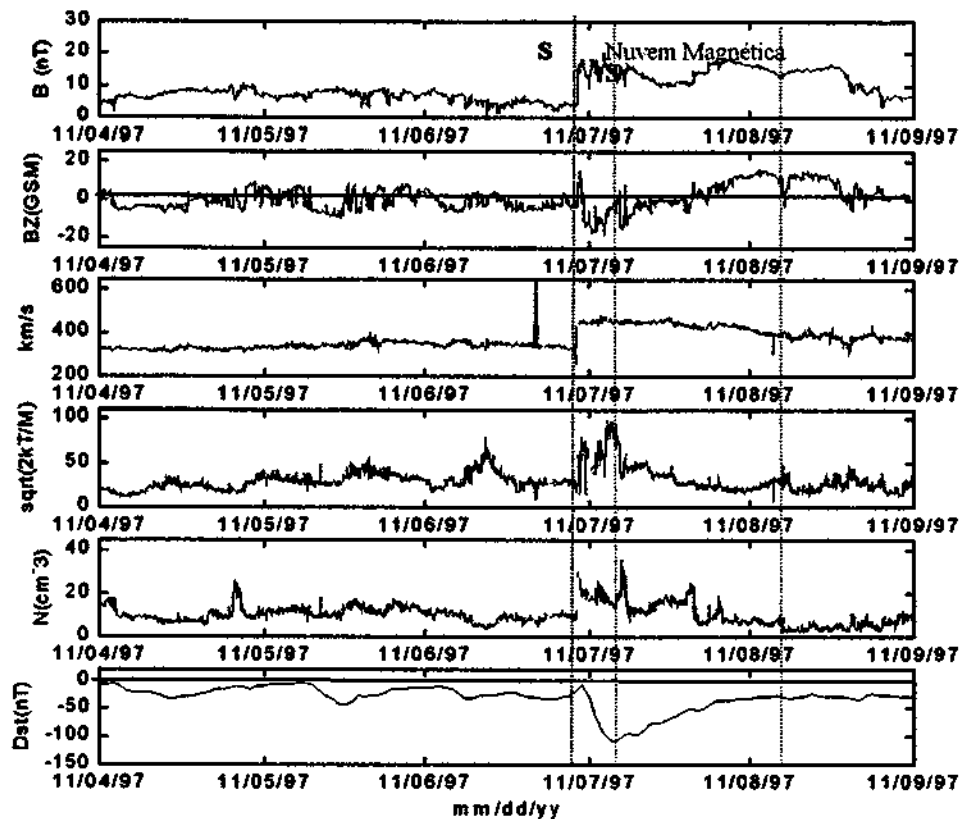


Figura 4.4 – Visualização dos dados do satélite WIND. Uma estrutura Nuvem Magnética foi observada como o mecanismo responsável pelo desenvolvimento da Tempestade.

A Figura 4.5 apresenta a distribuição dos valores do pitch angle para o evento. É possível visualizar o comportamento aleatório dos valores quando anisotropias precursoras não são observadas.



Figura 4.5 – Tipo de anisotropia precursora para o evento. FONTE: Munakata et. al 2000.

4.1.4 Evento do dia 22 de Novembro de 1997

Este evento foi coberto somente pelo satélite WIND. A Tabela 4.4 apresenta os principais parâmetros para este evento e a Figura 4.6 apresenta o comportamento dos dados.

Tabela 4.4 – Análise do evento 22/11/97

Parâmetro	Comentário
índice Kp	7.0
índice Dst pico:	~ -110 nT (~ 06:00 UT do dia 23/11/97)
classificação da tempestade	tempestade intensa
SSC	~ 11:00 UT do dia 22/11/97
chegada do choque :	~ 09:30 UT do dia 22/11/97
campo B _z precedente ao choque	sul
mecanismo responsável pela fase principal da tempestade:	nuvem magnética: rotação existente na componente B _z e também baixa densidade de prótons. A inclinação do eixo da nuvem em relação ao satélite é de 17 % e o fator de assimetria é de 3.4 % (de acordo com WIND)
cobertura dos Detectores de Múons para a tempestade:	PC (poor coverage), cobertura pobre da componente sul do campo magnético interplanetário
pico B _z sul (após o início da nuvem):	~ -17 nT (~ 01:00 UT do dia 23/11/97)
pico do vento solar (logo após o início da nuvem):	500 km/s (a velocidade não diminui durante o período correspondente a passagem da nuvem por se tratar de uma estrutura velha que não apresenta expansão)

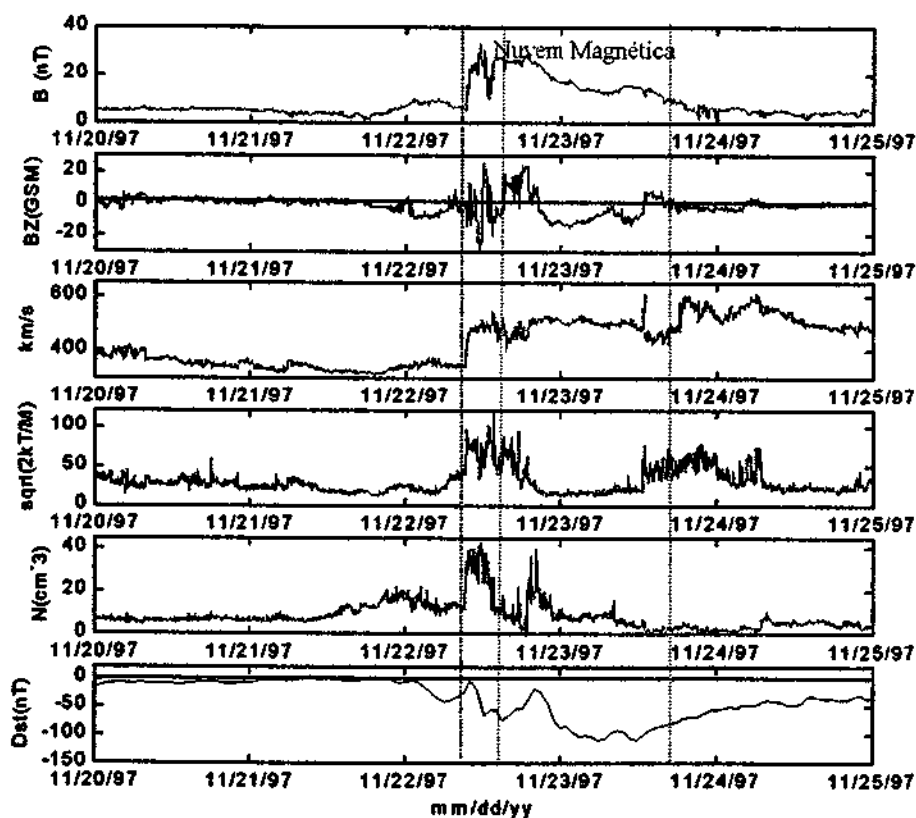


Figura 4.6 – Dados do satélite WIND para o evento 22/11/97. Nuvem Magnética é observada como o mecanismo responsável pela fase principal da Tempestade

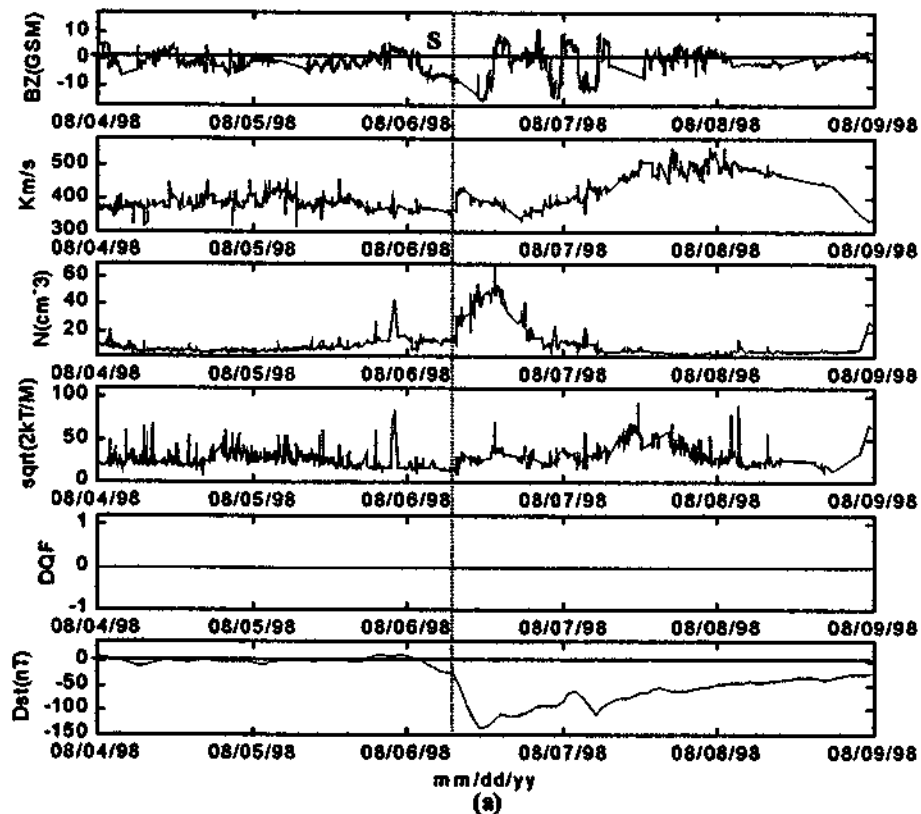


4.1.5 Evento do dia 06 de Agosto de 1998

Este evento foi coberto pelos satélites IMP-8, WIND e ACE. A Tabela 4.5 apresenta os principais parâmetros para este evento. A Figura 4.7 (a) apresenta os parâmetros do satélite IMP-8, (b) representa os parâmetros do satélite WIND e (c) dados do satélite ACE.

Tabela 4.5 – Análise do evento 06/08/98

Parâmetro	Comentário
Índice Kp	7.3
Índice Dst pico:	~ -130 nT (~11:00 UT do dia 06/08/98)
classificação da tempestade	tempestade intensa
SSC	~ 07:36 do dia 06/08/98
chegada do choque :	~ 07:36 do dia 06/08/98
campo B_z precedente ao choque	sul
mecanismo responsável pela fase principal da tempestade:	choque (a fase principal ocorre muito próxima à chegada do choque)
cobertura dos Detectores de Múons para a tempestade:	PC (poor coverage), cobertura pobre da componente sul do campo magnético interplanetário
pico B_z sul (após o choque):	~ -19 nT
pico do vento solar:	~ 450 km/s



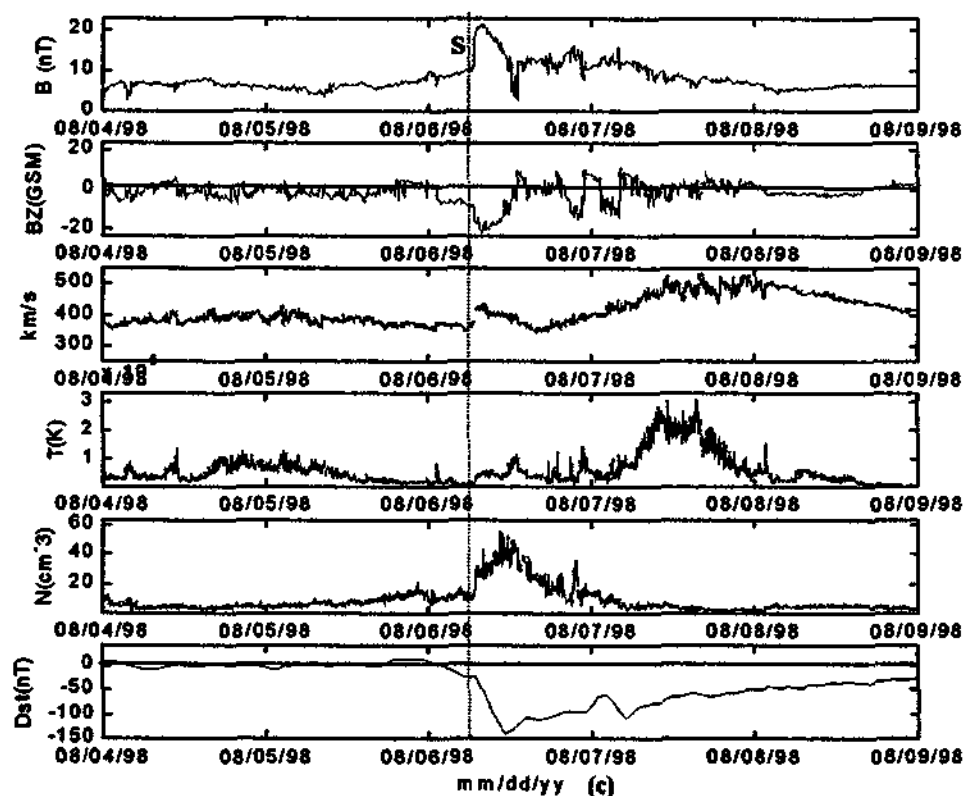
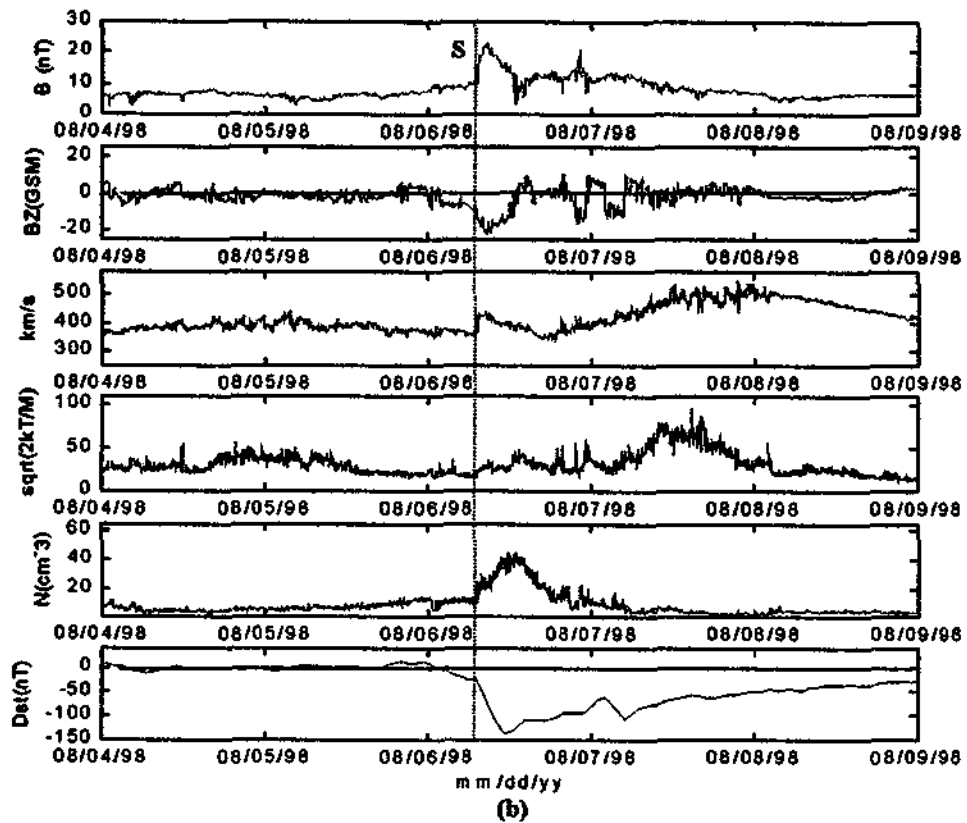


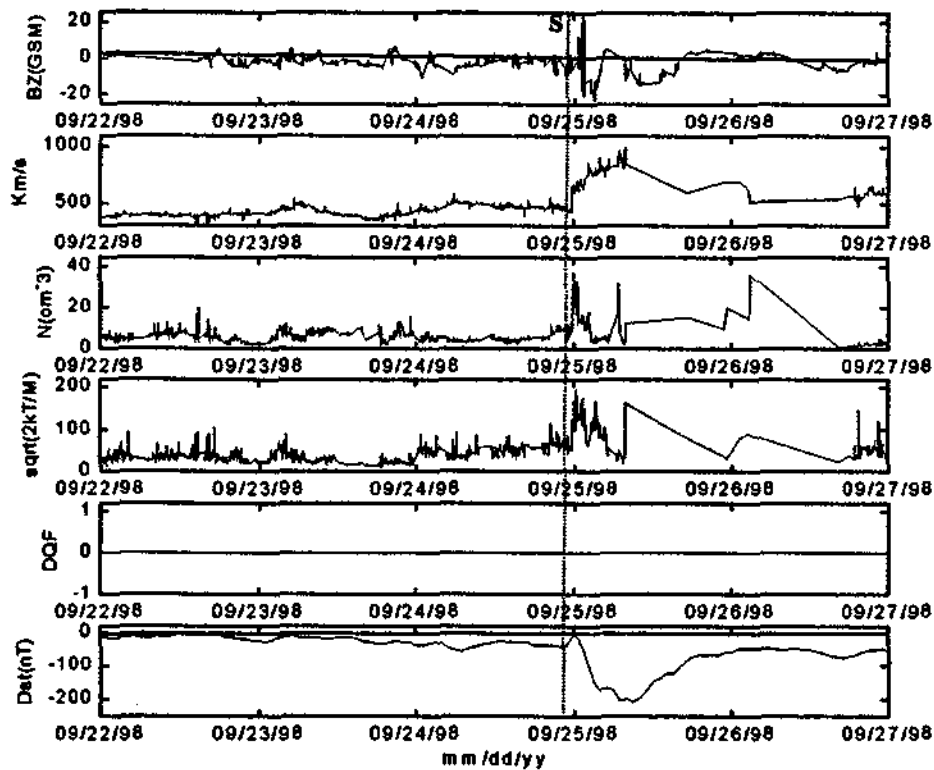
Figura 4.7 – (a) parâmetros observados com o IMP-8, (b) dados do WIND e (c) parâmetros do ACE. Um choque foi o mecanismo responsável pelo desenvolvimento da Tempestade.

4.1.6 Evento do dia 24 de Setembro de 1998

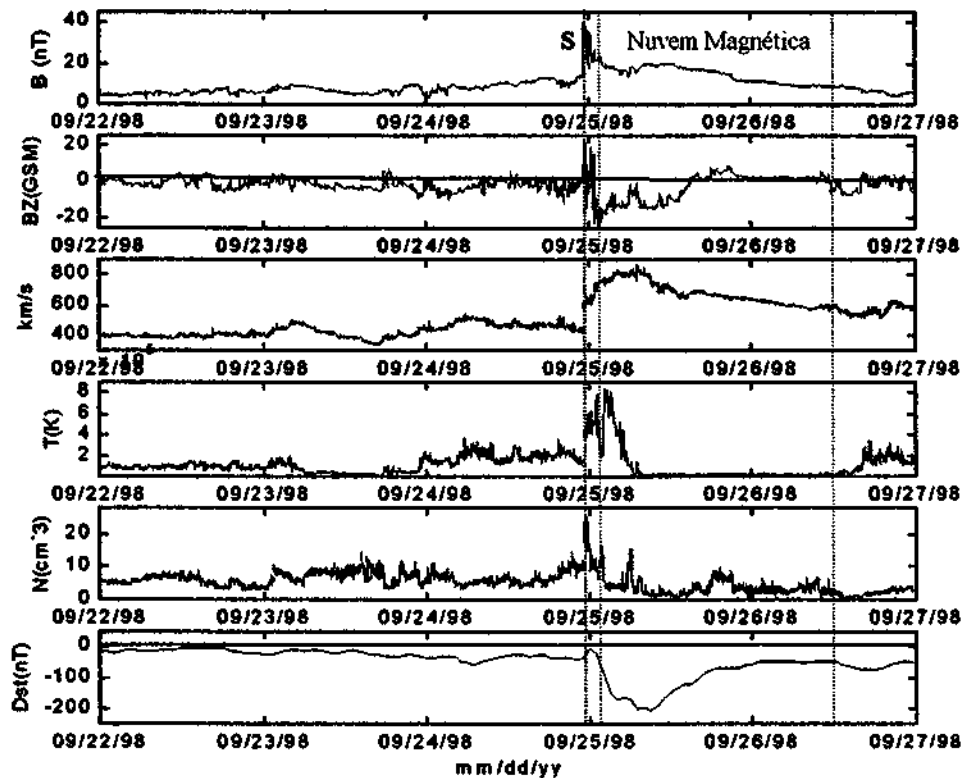
Este evento foi coberto pelos satélites IMP-8 e ACE. A Tabela 4.6 apresenta as principais características do evento e a Figura 4.8 apresenta a visualização dos dados (a) do satélite IMP-8 e (b) do satélite ACE.

Tabela 4.6 – Análise do evento 24/08/98

Parâmetro	Comentário
índice Kp	8.3
índice Dst pico:	~ -200 nT (~09:00 UT do dia 25/09/98)
classificação da tempestade	tempestade intensa
SSC	~ 24:00 UT do dia 24/09/98
chegada do choque :	~ 23:00 UT do dia 24/09/98
campo B _z precedente - choque	flutuante
mecanismo responsável pela fase principal da tempestade:	nuvem magnética: ocorre giro de sul para norte, acompanhado por uma baixa densidade de prótons e intenso e suave campo magnético. A inclinação do eixo da nuvem em relação ao satélite é de 58 % e o fator de assimetria é de 6.7 % (de acordo com WIND)
cobertura dos Detectores de Múons para a tempestade:	LC (Loss Cone), cone de perda a 3,5 horas antes da chegada do choque
pico B _z sul (após a nuvem):	~ -20 nT
pico do vento solar:	~ 850 km/s. Velocidade da nuvem é decrescente, pois está perdendo energia devido à expansão.



(a)



(b)
Figura 4.8 – (a) dados do satélite IMP-8, é possível verificar que os dados não apresentam estabilidade, não sendo possível a identificação da nuvem magnética responsável por originar a Tempestade, (b) dados obtidos com o satélite ACE.

A Figura 4.9 apresenta a distribuição dos valores de pitch angle para a anisotropia precursora observada para este evento, (LC). Há aproximadamente 3 horas e 30 minutos antes do (SSC) é observada uma intensa supressão na intensidade de raios cósmicos ao redor de valores de pitch angle 0° . Esta configuração de anisotropia pode ser caracterizada como uma função sistemática do pitch angle, apresentando uma intensa deficiência em valores em torno de 0° , devido os efeitos do loss cone (cone de perda).

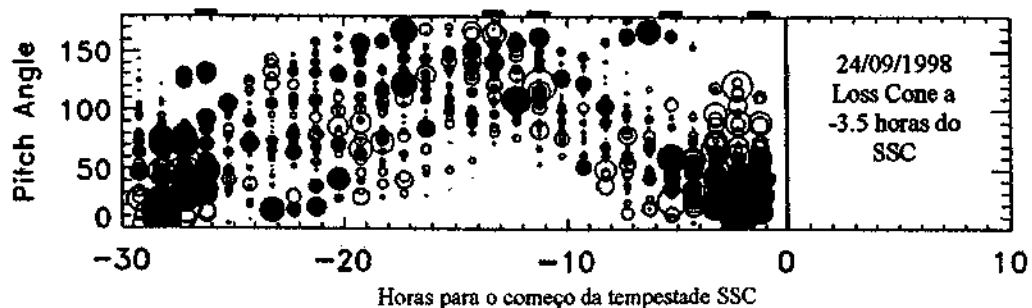


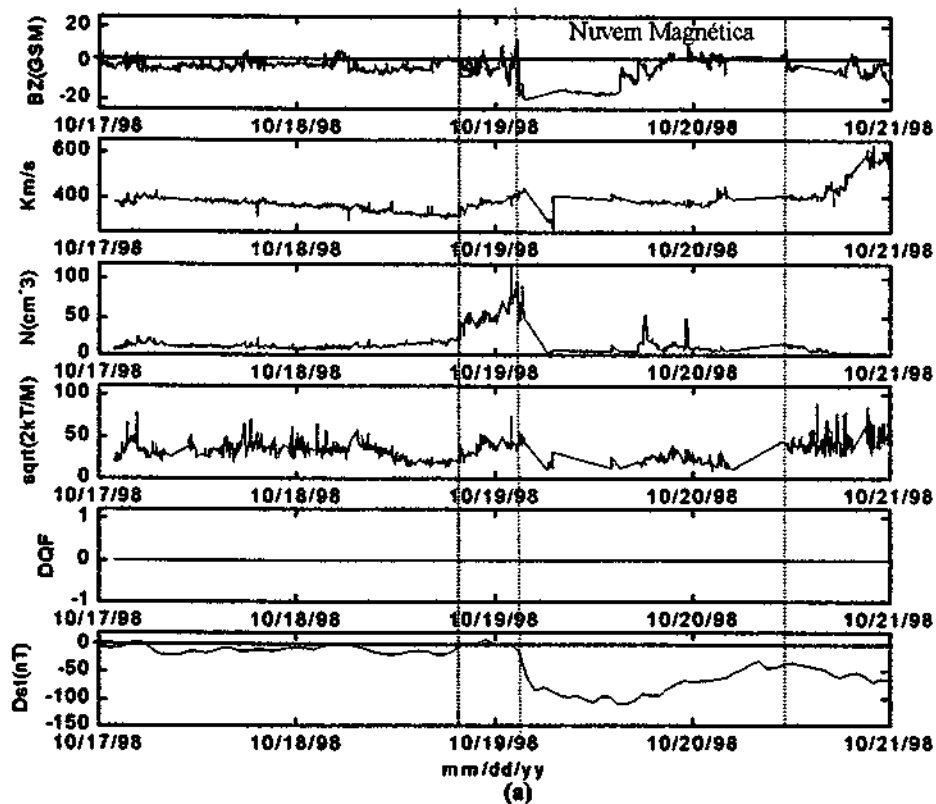
Figura 4.9 –Tipo de anisotropia precursora para o evento. FONTE: Munakata et. al 2000.

4.1.7 Evento do dia 18 de Outubro de 1998

Este evento foi coberto pelos satélites IMP-8 e WIND. A Tabela 4.7 apresenta as principais características do evento e a Figura 4.10 a visualização dos dados (a) do satélite IMP-8 e (b) do satélite WIND.

Tabela 4.7 – Análise do evento 18/10/98

Parâmetro	Comentário
índice Kp	6.7
índice Dst pico:	~ -110 nT (~ 15:00 UT do dia 19/10/98)
classificação da tempestade	tempestade intensa
SSC	~ 02:00 UT do dia 19/10/98
chegada do choque :	~ 20:00 UT do dia 18/10/98
campo B _z precedente ao choque	sul, seguido de uma rápida rotação para norte
mecanismo responsável pela fase principal da tempestade:	nuvem magnética: baixa densidade de prótons e rotação da componente B _z que ocorre próximo a fase principal da tempestade. A inclinação do eixo da nuvem em relação ao satélite é de 39 % e o fator de assimetria é de 3.7 % (de acordo com o WIND)
cobertura dos Detectores de Múons para a tempestade:	PC (poor coverage), cobertura pobre da componente sul do campo magnético interplanetário
pico B _z sul (após a nuvem):	~ -20 nT (~03:00 UT do dia 19/10/98)
pico do vento solar:	~400 km/s (mantendo-se aproximadamente constante durante todo o período correspondente a nuvem)



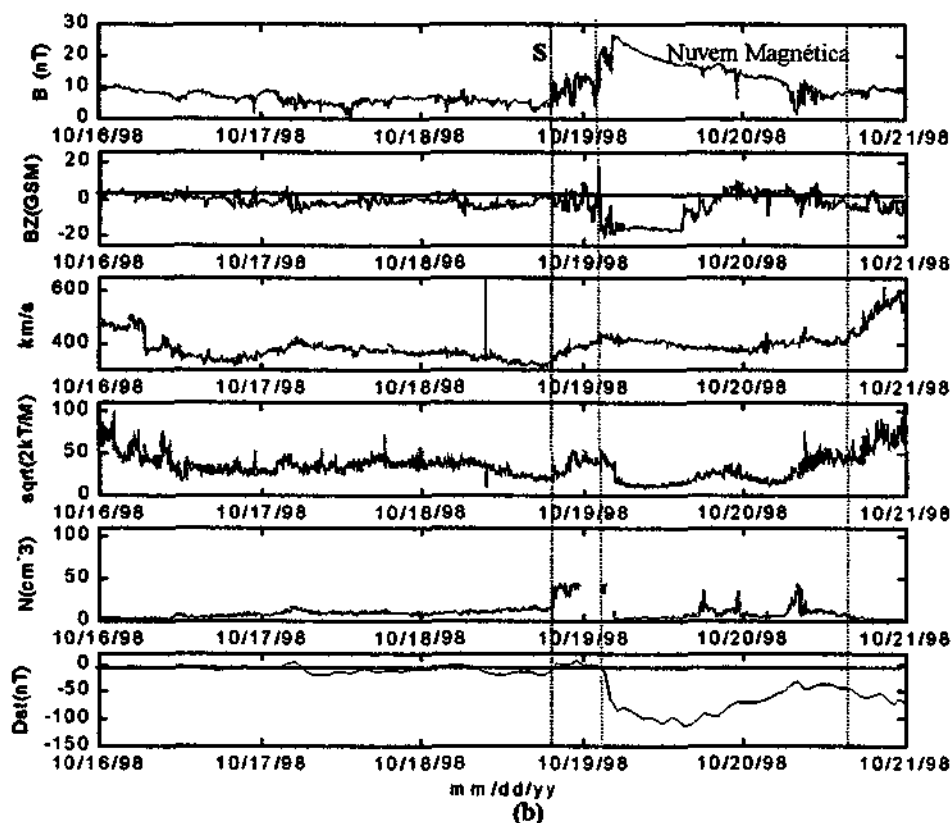


Figura 4.10 - (a) dados do satélite IMP-8 e (b) parâmetros observados com o satélite WIND. O mecanismo para o desenvolvimento desta Tempestade é Nuvem Magnética.

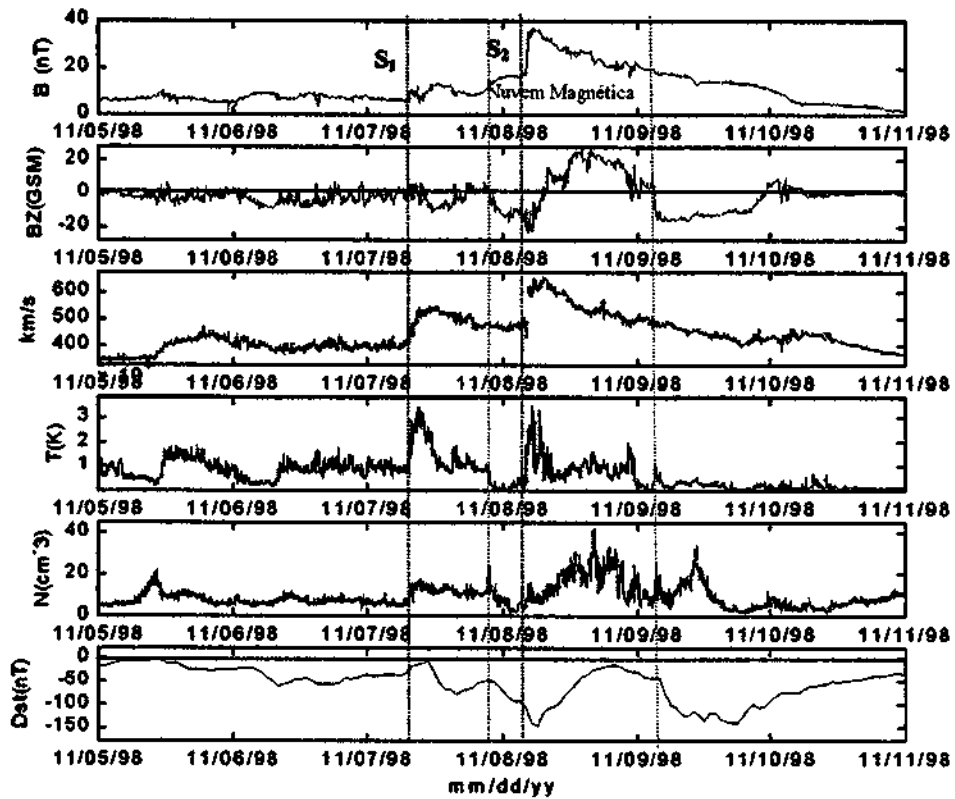
4.1.8 Evento do dia 07 de Novembro de 1998

Evento coberto pelos satélites WIND e ACE. A Tabela 4.8 apresenta as principais características do evento e a Figura 4.11 a visualização dos dados (a) do satélite WIND e (b) do satélite ACE. Tanto o satélite WIND como o ACE, para este evento específico, apresentaram uma boa qualidade nos dados. O satélite ACE apresenta uma vantagem em relação aos dados do WIND porque disponibiliza o parâmetro temperatura de prótons T(K) que é de grande importância na identificação de Nuvens Magnéticas, devendo manter baixos valores durante a passagem de tal estrutura.

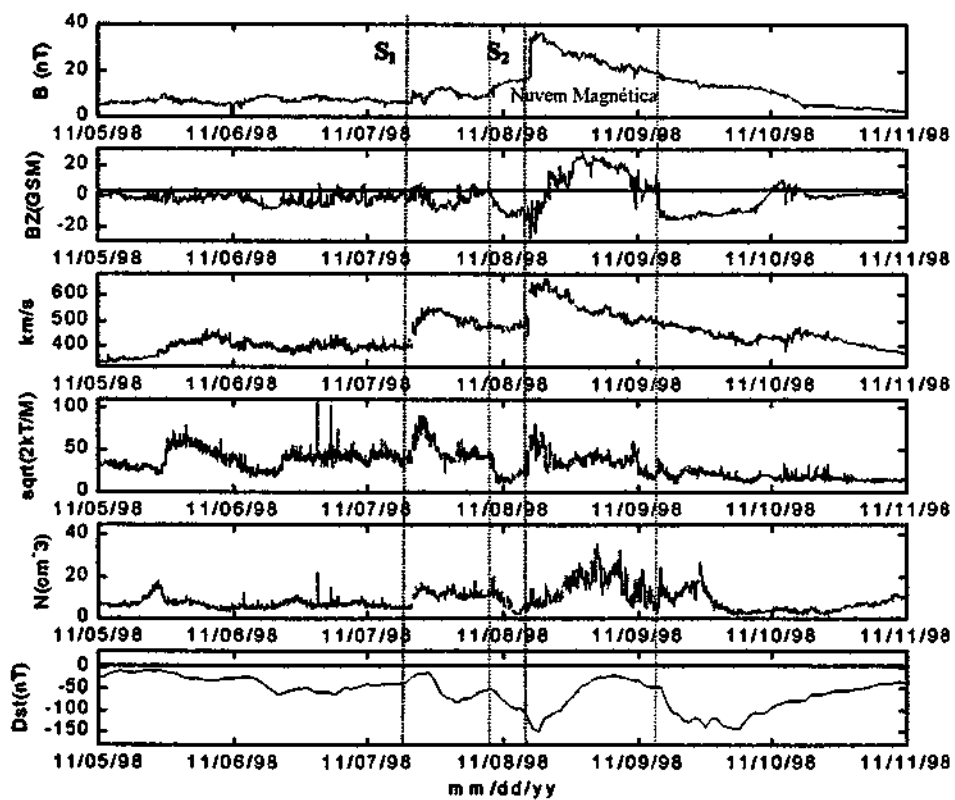


Tabela 4.8 – Análise do evento 18/10/98

Parâmetro	Comentário
índice Kp:	7.7
índice Dst pico:	~ -150 nT (~ 05:30 UT do dia 08/11/98)
classificação da tempestade:	tempestade intensa desenvolvida em duas fases, na primeira fase Dst ~ -80 nT (tempestade moderada)
SSC:	~ 10:30 UT do dia 07/11/98
chegada do choque (S ₁):	~ 07:00 UT do dia 07/11/98
chegada do choque (S ₂):	~ 03:30 UT do dia 08/11/98
campo B _z precedente ao choque (S ₂):	seguido de uma rápida rotação para norte antes da chegada da nuvem magnética. Esta configuração é típica de uma dupla estrutura de campo magnético e está associado a uma tempestade cuja fase principal se desenvolveu em duas etapas
mecanismo responsável pela fase principal da tempestade (2° fase):	nuvem magnética: o início desta 2° fase é acompanhado pelo início da nuvem magnética e a rotação da componente B _z ocorre quase que simultaneamente a fase principal da tempestade. Esta estrutura é acompanhada na parte traseira por um choque (S ₂) que eleva o campo magnético interno da nuvem a aproximadamente 35 nT, aumentando a temperatura e densidade de prótons. A inclinação do eixo da nuvem em relação ao satélite é de 10% e o fator de assimetria é de 3.9 % (de acordo com WIND)
cobertura dos Detectores de Múons para a tempestade:	PC (poor coverage), cobertura pobre da componente sul do campo magnético interplanetário
pico B _z sul (primeira fase):	~ -10 nT (~11:00 UT do dia 07/11/98)
pico B _z sul (segunda fase):	~ -20 nT
pico do vento solar:	~500 km/s, no momento da chegada do S ₂ eleva-se a aproximadamente 650 km/s. Observa-se que a velocidade da nuvem é decrescente, pois está perdendo energia devido a expansão



(a)



(b)

Figura 4.11 - (a) parâmetros do satélite ACE e (b) parâmetros do WIND.



4.1.9 Discussão de resultados

Os resultados anteriormente descritos mostram que os eventos de Tempestades Geomagnéticas em estudo não apresentaram uma característica interplanetária predominante quando estas não foram identificadas pela rede de telescópios (NP), apresentando componente Bz variável e sendo causadas por estruturas interplanetárias diferenciadas nos 2 eventos estudados. Porém quando anisotropias de raios cósmicos foram claramente observadas, (LC e EV), verificou-se que estruturas interplanetárias do tipo Nuvens Magnéticas foram o mecanismo responsável pelo desenvolvimento da fase principal das tempestades. Uma das maiores dificuldades encontradas na realização das análises foi o fato de que na maioria dos eventos de tempestades geomagnéticas, 50%, a rede de detectores de Múons apresentou uma cobertura pobre (PC) da direção do CMI, sendo que para este caso os tipos de precursores não puderam ser identificados, não havendo conclusões significativas a respeito destes eventos, sendo possível apenas a identificação de suas estruturas interplanetárias. É importante salientar que a atual rede possui um gap que deverá ser preenchido com a inclusão de um Telescópio em São Martinho da Serra, ou melhor com a expansão do protótipo 2x2 para um 6x6.

Outro ponto importante apresentado pelos eventos é que os valores dos índices Kp apresentaram-se mais baixos para aqueles eventos não identificados pela rede. Estes resultados podem estar relacionados ao fato de que pequenos precursores, não identificados, estão relacionados a tempestades pequenas ou moderadas, porém análises mais detalhadas devem ser desenvolvidas para confirmar tais evidências. O mais alto valor do índice Kp (8.3) foi atingido quando a anisotropia precursora do tipo (LC) foi observada, indicando que a incidência de precursores aumenta com o aumento da tempestade. Porém este não é um fato inesperado, desde que existem alguns fatores comuns afetando o tamanho da tempestade, tais como o tamanho e velocidade de uma ejeção solar (EMC) e a intensidade do campo magnético oposto ao fluxo.

O estudo realizado abrange um conjunto pequeno de tempestades e um período mais longo de observações é necessário para confirmar tais tendências assim como verificando a habilidade da rede de detectores em prever a chegada de diversos tipos de estruturas. O objetivo e a importância da realização destes estudos é a determinação de métodos de previsão de tempestades através da relação existente entre tipos de anisotropias precursoras de raios cósmicos, horas antes do SSC, e a chegada de estruturas interplanetárias que desencadearão Tempestades Geomagnéticas.



CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES FINAIS

Estruturas interplanetárias são elementos importantes em estudos relacionados à variabilidade do Clima Espacial, uma vez que o conhecimento de sua chegada e ação no meio interplanetário fornece informações significativas a respeito do desenvolvimento de Tempestades Geomagnéticas cujos efeitos, como discutido em capítulos anteriores, ocorrem de maneiras diversas sobre o ambiente terrestre. Portanto, o monitoramento contínuo de seus parâmetros é necessário para um melhor entendimento e previsão do chamado Clima Espacial.

O desenvolvimento deste projeto de iniciação científica foi de relevante importância, pois possibilitou estudos teóricos sobre dinâmica solar, meio interplanetário, Tempestades Geomagnéticas e métodos atualmente utilizados para a previsão do Clima Espacial. A metodologia empregada na redução e visualização dos parâmetros de plasma e campo magnético interplanetário favoreceu o contato com uma linguagem de programação. O tratamento de dados possibilitou maior compreensão sobre a dinâmica do meio interplanetário e os fatores que acarretam a sua variabilidade, assim como a relação existente entre sol-meio interplanetário-magnetosfera terrestre.

Durante este período diversos trabalhos foram desenvolvidos e apresentados em congressos nacionais de iniciação científica, como também durante eventos internacionais. Os resumos/paper e os respectivos eventos estão listados no Anexo 2. Também é importante mencionar a participação do bolsista como membro do grupo brasileiro durante o simpósio organizado e financiado pelas Nações Unidas: Symposium on Enhancing the Participation of Youth in Space Activities – Implementing Recommendations of UNISPACE III; United Nations / Austria / European Space Agency – Co-sponsored and hosted by the Government of Austria – Graz, Áustria - 09 a 12 de Setembro de 2002.

Os eventos em análise foram escolhidos com o objetivo de favorecer um estudo completo dos eventos de Tempestades Geomagnéticas previamente verificadas por



Munakata et. al 2000, que utilizou anisotropias precursoras de raios cósmicos observadas com a rede de telescópios de Múons. Foram avaliados e catalogados os parâmetros das estruturas interplanetárias responsáveis pelo desenvolvimento de Tempestades Geomagnéticas identificadas e não identificadas pelos precursores raios cósmicos.

Como um resultado inicial verificou-se que os eventos de Tempestades Geomagnéticas não identificadas por precursores, (NP), não apresentaram uma característica interplanetária padrão, sendo causadas por estruturas interplanetárias diferenciadas. Entretanto, quando anisotropias precursoras foram detectadas, estruturas do tipo Nuvem Magnética foram observadas ser o mecanismo interplanetário responsável pelo desenvolvimento de Tempestades Geomagnéticas.

O presente estudo envolveu um conjunto específico de tempestades intensas, podendo ser sugerido como análise futura, a identificação dos parâmetros interplanetários de tempestades moderadas e fracas que foram identificadas pelos raios cósmicos precursores. O conhecimento das origens solares de tais eventos de Tempestades Geomagnéticas também é necessário, complementando desta forma, as observações interplanetárias.



AGRADECIMENTOS

Agradecimentos ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq - Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica - PIBIC/INPE/CNPq pelo consentimento da bolsa de Iniciação Científica e por todas as oportunidades que foram geradas através desta. Agradecimentos a todos os alunos que fazem parte do Laboratório de Raios Cósmicos e Tempestades Geomagnéticas CRSPE/INPE pelo apoio no desenvolvimento destas atividades e realização de diversos outros trabalhos. Agradecimento ao meu orientador, Dr. Walter D. Gonzalez pelas correções e sugestões de trabalhos, um agradecimento especial ao Dr. Nelson Jorge Schuch que orientou não somente a realização destas atividades como possibilitou também diversas interações e oportunidades. Agradecimentos também a Alisson Dal Lago pela constante atenção, sugestões e orientação no desenvolvimento de diversos estudos.



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Bieber, J. W.; Evenson P. CME geometry in relation to cosmic ray anisotropy. **Geophys. Res. Lett.**, v.25, p.2955-2958, 1998.
2. Bieber, J. W.; Clem, J.; Duldig, M.L.; Evenson P.; Humble, J. E.; Pyle, R. A continuing yearly neutron monitor latitude survey: preliminary results from 1994 – 2001. **Internat. Cosmic Ray Conf.**, v.10, p.4087-4090, 2001.
3. Burlaga, L. F.; Hundhausen, A. J.; Zhao, X.-P. The coronal and interplanetary current sheet in the early 1976. **J. Geophys. Res.**, v.86, n.11, p.8893-8898, Oct. 1981a.
4. Burlaga, L.F.; Lepping, R.P.; Jones, J. In: **Physics of Flux Ropes**, ed. Russell, C.T.; Priest R.; Lee, L. C. AGU Monograph 58, Washington, D.C. 373, 1990.
5. Chapman, S.; Bartels, J. **Geomagnetism**, v.1 chap. IX, Clarendon, Oxford, 1940.
6. Daglis, I. A. **Space storms and space hazards**. Editor and author of chapter 1, NATO Sciences Series II, Mathematics, Physics and Chemistry, v.38, Kluwer Academic publisher, Dordrecht, 2001.
7. Dal Lago, A. **Estudo de nuvens geomagnéticas geofetivas no meio interplanetário**. São José dos Campos. 112 p. (INPE-7263-TDI/705). Tese (Doutoramento em Ciência Espacial/Geofísica Espacial) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1998.
8. Dungey, J.W. Interplanetary magnetic field and the auroral zones. **Phys. Rev. Lett.**, v.6, 47, p.5771-5792, 1961.
9. Fujimoto, K.; Inoue, A.; Murakani, K.; Nagashina, K. **Coupling coefficients of cosmic ray daily variations for meson telescopes**. Rep. 9, Cosmic Rays Res. Lab., Nagoya, Japan, 1984.
10. Gonzalez, W.D.; 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.



11. Gonzalez, W.D.; Tsurutani, B.T.; Clúa de Gonzalez, A.L.; Tang, F.; Smith, E.J.; Akasofu, S.I. Solar wind-magnetosphere coupling during intense geomagnetic storms (1978-1979). **J. Geophys. Res.**, v.94, 883, 1989.
12. Gonzalez, W.D.; Joselyn, J.A.; Kamide, Y.; Kroehl, H.W.; Rostocker, G.; Tsurutani, B.T.; Vasyliunas, V.M. What is a geomagnetic storm? **J. Geophys. Res.**, v.99, n.A4, p.5771-5792, Apr. 1994.
13. Gonzalez, W. D.; Tsurutani, B.T.; Clúa de Gonzalez, A. L. Interplanetary origin of geomagnetic storms. **Space Sci. Rev.**, 88, 529-562, Mar. 1999.
14. Gosling, J.T. Coronal Mass Ejections: An Overview. In: Crooker, N.; Joselyn J.A.; Feynman, J. ed. **Coronal mass ejections**, Washington, DC: AGU, 1997. v.99, p.9-16
15. Gosling, J.T. Coronal mass ejections and magnetic flux ropes in interplanetary space. In: Russell, C.T. Priest, E.N., e Lee, L.C. ed. **Physics on magnetic flux ropes**. Washington, DC: AGU, 1990. v.58, p.343-364.
16. Hewish, A.; Bravo, S. The sources of large-scale heliospheric disturbances. **Solar Phys.**, v.106, p.185-200, Apr. 1986.
17. Klein, L. W.; Burlaga, L. F. Interplanetary magnetic clouds at 1AU. **J. Geophys. Res.**, v.87, n.A2, p.613-624, Feb. 1982.
18. Kivelson, M.G.; Russell, C.T. **Introduction to space physics**. Los Angeles: Cambridge University press, 1995. 568p.
19. Lepping, R. P., Jones, J. A.; Burlaga, L. F. Magnetic field structure of interplanetary magnetic clouds at 1 AU, **J. Geophys. Res.**, v.95, 1990.
20. Munakata K.; Bieber, J. W.; Yasue, S.; Kato, C.; Koyanma, M.; Akahane, S.; Fujimoto, K.; Fujii, Z.; Humble, J.E.; Duldig, M.L. Precursors of geomagnetic storms observed by the muon detector network. **J. Geophys. Res.**, v.105, n.A12, p.457-468, Dec. 2000.
21. Nagashina, K.; Fujimoto, K.; Morishita, I. Interplanetary magnetic field collimated cosmic ray flow across magnetic shock from inside of forbush decrease, observed as local-



time-dependent precursory decrease on the ground. **J. Geophys. Res.**, v.99, p.419-427, 1994.

22. 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. Coronal mass ejections**. Washington, DC: AGU, 1997. v.99, p.245-251.

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

24. Schultz, M. Interplanetary sector structure and heliomagnetic equator. **Astrophys. Space Sci.**, v.24, p.371-383, May 1973.

25. Simpson, J. A., Fonger, W. and Treiman, S. B., *Phys. Rev.* 90, 934 (1953).

26. 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.

27. 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, D.C: AGU, 1997. v.98, p.77-89.

28. Tsurutani, B.T.; Gonzalez, W.D. **Magnetic Storms**. From the Sun: Auroras, Magnetic Storms, Solar Flares and Cosmic Rays. In: Steven, T. S.; Tsurutani, B.T ed. p. 58-66, AGU Books Board, 1998.

29. Tsurutani, B.T.; Gonzalez, W.D.; Tang, F.; Akasofu, S.-I.; Smith, E.J. Origin of interplanetary southward magnetic fields responsible for major magnetic storms near solar maximum (1978-1979). **J. Geophys. Res.**, 8519, 1988a.

30. Zwan, B.J.; Wolf, R.A.; Depletion of the solar wind plasma near a planetary boundary. **J. Geophys. Res.**, 81, 1636, 1976.



ANEXOS

ANEXO 1 - Programas

O anexo 1 contém os programas fontes para leitura e visualização dos dados dos satélites ACE, WIND e IMP-8.

%Este programa gera o arquivo reduzido ".red" do arquivo MFI do satélite ACE

```
clear;
%entrar com o nome do arquivo
fname = input('Nome do Arquivo ACE: ','s');
fnameout = input('Nome do Arquivo Saida ACE: ','s');
%vai abrir o arquivo para leitura
fid = fopen(fname,'r');
fidout = fopen(fnameout,'w');
%este é um loop para ler as 9 linhas do cabeçalho do arquivo ACE MFI
for i=1:9,
    header = fgets(fid);
end
cont = 1;
%agora começa a ler os dados
while(feof(fid) ~= 1),
    %pega os dados da linha
    dados = fgets(fid);
    %divide em cada tipo
    dia = str2num(dados(1,1:2));
    mes = str2num(dados(1,4:5));
    ano = str2num(dados(1,7:10));
    hora = str2num(dados(1,12:13));
    minuto = str2num(dados(1,15:16));
    segundo = str2num(dados(1,18:19));
    tempo(cont,1) = datenum(ano,mes,dia,hora,minuto,segundo);
    B(cont,1) = str2num(dados(1,31:37));
    BXGSE(cont,1) = str2num(dados(1,42:51));
    BYGSE(cont,1) = str2num(dados(1,57:65));
    BZGSE(cont,1) = str2num(dados(1,73:79));
    BXGSM(cont,1) = str2num(dados(1,85:93));
    BYGSM(cont,1) = str2num(dados(1,100:107));
    BZGSM(cont,1) = str2num(dados(1,114:121));
    cont = cont+1;
end
fclose(fid);
j = find(B==0);
B(j) = NaN;
j = find(BXGSE==0);
BXGSE(j) = NaN;
j = find(BYGSE==0);
BYGSE(j) = NaN;
j = find(BZGSE==0);
BZGSE(j) = NaN;
j = find(BXGSM==0);
BXGSM(j) = NaN;
j = find(BYGSM==0);
BYGSM(j) = NaN;
j = find(BZGSM==0);
BZGSM(j) = NaN;
j = find(BYGSM >100);
BYGSM(j) = NaN;
j = find(BZGSM >100);
BZGSM(j) = NaN;
for i=1:(cont-1),
    fprintf(fidout,'%f\t%f\t%f\t%f\t%f\t%f\t%f\t%f\t%f\t%f\t%f\n',tempo(i),B(i),BXGSE(i),BYGSE(i),B
ZGSE(i),BXGSM(i),BYGSM(i),BZGSM(i));
end
fclose(fidout);
```

Este programa gera o arquivo reduzido ".red" do arquivo SW do satélite ACE

```
clear;
%entrar com o nome do arquivo
fname = input('Nome do Arquivo ACE: ','s');
fnameout = input('Nome do Arquivo Saida ACE: ','s');
%vai abrir o arquivo para leitura
fid = fopen(fname,'r');
fidout = fopen(fnameout,'w');
%este é um loop para ler as 9 linhas do cabeçalho do arquivo ACE SW
for i=1:9
    header = fgets(fid);
end;
cont = 1;
%agora começa a ler os dados
while(feof(fid) ~= 1),
    %pega os dados da linha
    dados = fgets(fid);
    %divide em cada tipo
    dia = str2num(dados(1,1:2));
    mes = str2num(dados(1,4:5));
    ano = str2num(dados(1,7:10));
    hora = str2num(dados(1,12:13));
    minuto = str2num(dados(1,15:16));
    segundo = str2num(dados(1,18:19));
    tempo(cont,1) = datenum(ano,mes,dia,hora,minuto,segundo);
    cc(cont,1) = str2num(dados(1,31:37));
    kms(cont,1) = str2num(dados(1,44:51));
    kelvin(cont,1) = str2num(dados(1,59:65));
    cont = cont+1;
end
fclose(fid);

j = find(kms==0);
kms(j) = NaN;
j = find(cc==0);
cc(j) = NaN;
j = find(kelvin==0);
kelvin(j) = NaN;

for i=1:(cont-1),
    fprintf(fidout,'%f\t%f\t%f\t%f\n',tempo(i),cc(i),kms(i),kelvin(i));
end

fclose(fidout);
```

%Este programa gera o plot com os dados dos arquivos ACE (MFI e SW)

%arquivos a serem plotados

```
load acmfi.red;  
load acsw.red  
load dst.red  
clc;
```

%gera um plot de seis layers

```
a = subplot(6,1,1);  
%plota a segunda coluna (primeira de dados - B(nT))  
plot(acmfi(:,1),acmfi(:,2));  
set(a,'YTickLabel',[0 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55 60],'YTick',[0 5 10 15 20 25  
30 35 40 45 50 55 60]);
```

%gera labels

```
plot(acmfi(:,1),acmfi(:,2));  
datetick('x',2);  
ylabel('B (nT)');
```

subplot(6,1,2);

%plota a oitava coluna (sétima de dados - Bz)

```
plot(acmfi(:,1),acmfi(:,8));  
%gera labels  
datetick('x',2);  
ylabel('Bz (GSM)');
```

subplot(6,1,3)

%plota a terceira coluna (segunda de dados)

```
plot(acsw(:,1),acsw(:,3));  
datetick('x',2);  
ylabel('km/s');
```

subplot(6,1,4);

%plota a quarta coluna (terceira de dados - kelvin)

```
plot(acsw(:,1),acsw(:,4));  
%gera labels  
datetick('x',2);  
ylabel('T(K)');
```

subplot(6,1,5);

%plota a segunda coluna (primeira de dados - cc)

```
plot(acsw(:,1),acsw(:,2));  
%gera labels  
datetick('x',2);  
ylabel('N(cm^-3)');
```

subplot(6,1,6);

%plota a segunda coluna (primeira de dados - Dst)

```
plot(dst(:,1),dst(:,2));  
%gera labels  
datetick('x',2);  
xlabel('mm/dd/yy');  
ylabel('Dst(nT)');
```

%Este programa gera o arquivo reduzido ".red" do arquivo MFI do satélite WIND

```
clear;
%entrar com o nome do arquivo
fname = input('Nome do Arquivo wind: ','s');
fnameout = input('Nome do Arquivo Saida wind: ','s');
%vai abrir o arquivo para leitura
fid = fopen(fname,'r');
fidout = fopen(fnameout,'w');

%este é um loop para ler as 8 linhas do cabeçalho do arquivo WIND MFI
for i=1:8,
    header = fgets(fid);
end
cont = 1;
%agora começa a ler os dados
while(feof(fid) ~= 1),
    %pega os dados da linha
    dados = fgets(fid);
    %divide em cada tipo
    dia = str2num(dados(1,1:2));
    mes = str2num(dados(1,4:5));
    ano = str2num(dados(1,7:10));
    hora = str2num(dados(1,12:13));
    minuto = str2num(dados(1,15:16));
    segundo = str2num(dados(1,18:19));
    tempo(cont,1) = datenum(ano,mes,dia,hora,minuto,segundo);
    B(cont,1) = str2num(dados(1,31:37));
    BXGSM(cont,1) = str2num(dados(1,42:51));
    BYGSM(cont,1) = str2num(dados(1,55:65));
    BZGSM(cont,1) = str2num(dados(1,70:79));

    cont = cont+1;

end
fclose(fid);

j = find(B==0);
B(j) = NaN;
j = find(BXGSM==0);
BXGSM(j) = NaN;
j = find(BYGSM==0);
BYGSM(j) = NaN;
j = find(BZGSM==0);
BZGSM(j) = NaN;
j = find(B>100);
B(j) = NaN;
j = find(BXGSM >100);
BXGSM(j) = NaN;
j = find(BYGSM >100);
BYGSM(j) = NaN;
j = find(BZGSM >100);
BZGSM(j) = NaN;

for i=1:(cont-1),
    fprintf(fidout,'%f\t%f\t%f\t%f\t%f\n',tempo(i),B(i),BXGSM(i),BYGSM(i),BZGSM(i));
end

fclose(fidout);
```

```

%Este programa gera o arquivo reduzido ".red" do arquivo SW do satélite WIND
clear;
%entrar com o nome do arquivo
fname = input('Nome do Arquivo wind: ','s');
fnameout = input('Nome do Arquivo Saida wind: ','s');
fid = fopen(fname,'r');
fidout = fopen(fnameout,'w');
%este é um loop para ler as 10 linhas do cabeçalho do arquivo WIND SW
for i=1:10,
    header = fgets(fid);
end
cont = 1;
%agora começa a ler os dados
while(feof(fid) ~= 1),
    %pega os dados da linha
    dados = fgets(fid);
    %divide em cada tipo
    dia = str2num(dados(1,1:2));
    mes = str2num(dados(1,4:5));
    ano = str2num(dados(1,7:10));
    hora = str2num(dados(1,12:13));
    minuto = str2num(dados(1,15:16));
    segundo = str2num(dados(1,18:19));
    tempo(cont,1) = datenum(ano,mes,dia,hora,minuto,segundo);
    SWVTH(cont,1) = str2num(dados(1,31:37));
    IONn(cont,1) = str2num(dados(1,45:51));
    VXGSM(cont,1) = str2num(dados(1,58:65));
    VYGSM(cont,1) = str2num(dados(1,73:79));
    VZGSM(cont,1) = str2num(dados(1,86:93));
    Flowsppped(cont,1) = str2num(dados(1,101:107));
    EwflowGSE(cont,1) = str2num(dados(1,115:121));
    NsflowGSE(cont,1) = str2num(dados(1,128:135));
    cont = cont+1;
end
fclose(fid);
j = find(SWVTH==0);
SWVTH(j) = NaN;
j = find(IONn==0);
IONn(j) = NaN;
j = find(IONn>45);
IONn(j) = NaN;
j = find(VXGSM==0);
VXGSM(j) = NaN;
j = find(VYGSM==0);
VYGSM(j) = NaN;
j = find(VZGSM==0);
VZGSM(j) = NaN;
j = find(Flowsppped==0);
Flowsppped(j) = NaN;
j = find(Flowsppped>800);
Flowsppped(j) = NaN;
j = find(EwflowGSE==0);
EwflowGSE(j) = NaN;
j = find(NsflowGSE==0);
NsflowGSE(j) = NaN;
for i=1:(cont-1),
    fprintf(fidout,'%f\t%f\t%f\t%f\t%f\t%f\t%f\t%f\n',tempo(i),SWVTH(i),IONn(i),VXGSM(i),VYGSM(i),VZGSM(i),Flowsppped(i),EwflowGSE(i),NsflowGSE(i));
end
fclose(fidout);

```


%Este programa gera o plot com os dados dos arquivos WIND (MFI e SW)

%arquivos a serem plotados

load wimfi.red;

load wisw.red;

load dst.red

clc;

%gera um plot de seis layers

a = subplot(6,1,1);

%plota a segunda coluna (primeira de dados - B(nT))

plot(wimfi(:,1),wimfi(:,2));

set(a,'YTickLabel',[0 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55 60],'YTick',[0 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55 60]);

%gera labels

plot(wimfi(:,1),wimfi(:,2));

datetick('x',2);

ylabel('B (nT)');

subplot(6,1,2);

%plota a quinta coluna (quarta de dados - BZ)

plot(wimfi(:,1),wimfi(:,5));

%gera labels

datetick('x',2);

ylabel('BZ (GSM)');

subplot(6,1,3);

%plota a sétima coluna (sexta de dados - BZ)

plot(wisw(:,1),wisw(:,7));

datetick('x',2);

ylabel('km/s');

subplot(6,1,4);

%plota a segunda coluna (primeira de dados - km/s)

plot(wisw(:,1),wisw(:,2));

%gera labels

datetick('x',2);

ylabel('sqrt(2kT/M)');

subplot(6,1,5);

%plota a terceira coluna (segunda de dados - cc)

plot(wisw(:,1),wisw(:,3));

%gera labels

datetick('x',2);

ylabel('N(cm⁻³)');

subplot(6,1,6);

%plota a segunda coluna (primeira de dados - Dst)

plot(dst(:,1),dst(:,2));

%gera labels

datetick('x',2);

xlabel('mm/dd/yy');

ylabel('Dst (nT)');


```

%Este programa gera o arquivo reduzido ".red" do arquivo SW do satélite IMP-8
clear;
%entrar com o nome do arquivo
fname = input('Nome do Arquivo IMP8: ','s');
fnameout = input('Nome do Arquivo Saida IMP8: ','s');
%vai abrir o arquivo para leitura
fid = fopen(fname,'r');
fidout = fopen(fnameout,'w');
%este é um loop para ler as 10 linhas do cabeçalho do arquivo IMP SW
for i=1:10,
    header = fgets(fid);
end
cont = 1;
%agora começa a ler os dados
while(feof(fid) ~= 1),
    %pega os dados da linha
    dados = fgets(fid);
    %divide em cada tipo
    dia = str2num(dados(1,1:2));
    mes = str2num(dados(1,4:5));
    ano = str2num(dados(1,7:10));
    hora = str2num(dados(1,12:13));
    minuto = str2num(dados(1,15:16));
    segundo = str2num(dados(1,18:19));
    tempo(cont,1) = datenum(ano,mes,dia,hora,minuto,segundo);
    Dens(cont,1) = str2num(dados(1,35:41));
    sqrt(cont,1) = str2num(dados(1,49:55));
    DQF(cont,1) = str2num(dados(1,69:70));
    VXGSE(cont,1) = str2num(dados(1,77:84));
    VYGSE(cont,1) = str2num(dados(1,90:98));
    VZGSE(cont,1) =str2num(dados(1,105:112));
    SW(cont,1) =str2num(dados(1,120:126));
    FLW(cont,1) = str2num(dados(1,138:146));
    FLS(cont,1) = str2num(dados(1,158:166));
    cont = cont+1;
end
fclose(fid);
j = find(Dens==0);
Dens(j) = NaN;
j = find(sqrt==0);
sqrt(j) = NaN;
j = find(VXGSE==0);
VXGSE(j) = NaN;
j = find(VYGSE==0);
VYGSE(j) = NaN;
j = find(VZGSE==0);
VZGSE(j) = NaN;
j = find(SW==0);
SW(j) = NaN;
j = find(FLW==0);
FLW(j) = NaN;
j = find(FLS==0);
FLS(j) = NaN;
for i=1:(cont-1),
    fprintf(fidout, '%f\t%f\t%f\t%f\t%f\t%f\t%f\t%f\t%f\t%f\n', tempo(i), Dens(i), sqrt(i),
    DQF(i), VXGSE(i), VYGSE(i), VZGSE(i), SW(i), FLW(i), FLS(i));
end

fclose(fidout);

```

%Este programa gera o plot com os dados do arquivo IMP (SW e MFI)

%arquivo a ser plotado

```
load impmfi.red;  
load impsw.red;  
load dst.red;
```

clc;

%gera um plot de seis layers

```
a = subplot(6,1,1);  
%plota a nona coluna (oitava de dados - BZ(GSM))  
plot(impmfi(:,1),impmfi(:,9));  
set(a,'YTickLabel',[-40 -30 -20 -10 0 10 20 30 40],'YTick',[-40 -30 -20 -10 0 10 20  
30 40]);
```

```
plot(impmfi(:,1),impmfi(:,9));
```

```
%gera labels  
datetick('x',2);  
ylabel('BZ(GSM)');
```

```
subplot(6,1,2);  
plot(impsw(:,1),impsw(:,8));  
datetick('x',2);  
ylabel('Km/s');
```

```
subplot(6,1,3);  
%plota a segunda coluna (primeira de dados - Próton density)  
plot(impsw(:,1),impsw(:,2));  
%gera labels  
datetick('x',2);  
ylabel('N(cm-3)');
```

```
subplot(6,1,4);  
%plota a terceira coluna (segunda de dados - sqrt(2kT/M))  
plot(impsw(:,1),impsw(:,3));  
%gera labels  
datetick('x',2);  
ylabel('sqrt(2kT/M)');
```

```
subplot(6,1,5);  
%plota a quarta coluna (terceira de dados - DQF)  
plot(impsw(:,1),impsw(:,4));  
%gera labels  
datetick('x',2);  
ylabel('DQF');
```

```
subplot(6,1,6);  
%plota a segunda coluna (primeira de dados - DST)  
plot(dst(:,1),dst(:,2));  
%gera labels  
datetick('x',2);  
xlabel('mm/dd/yy');  
ylabel('Dst(nT)');
```



ANEXOS

ANEXO 2 – Títulos dos Trabalhos Apresentados

O anexo 2 contém os resumos (de autoria do bolsista) dos trabalhos desenvolvidos e apresentados em congressos nacionais de iniciação científica e também durante eventos internacionais, correspondentes ao período vigente à bolsa.

A seguir, são listadas informações a respeito dos congressos nos quais trabalhos foram submetidos.

Evento: Eleventh UN/ESA Workshop on Basic Space Science: The World Space Observatory in the Era of 10 m Telescopes, Córdoba, Argentina, September 9-13 2002

M. R. Silva, D. B. Contreira, S. Monteiro, N. B. Trivedi, M. C. D'Ornellas, K. Munakata, T. Kuwabara, N. J. Schuch; **Cosmic Ray Muon Observation at Southern Space Observatory – SSO (29° S, 53°W);**

Evento: XVII Jornada Acadêmica Integrada – XVII JAI – UFSM; UFSM – Santa Maria - RS; 02, 03 e 04 de Outubro de 2002

Danieli B. Contreira, Nelson J. Schuch, Marlos R. da Silva, Sheron de O. Monteiro, Maiquel Canabarro, Walter D. Gonzalez; **O Sol e a Origem das Tempestades Geomagnéticas;**

Maiquel Canabarro, Nelson J. Schuch, Danieli B. Contreira, Marlos R. da Silva, José V. Bageston, Rafael Krummenauer; **Instrumentação na Banda de HF para Monitoramento Ionosférico no Observatório Espacial do Sul;**

Marlos R. da Silva, Nelson J. Schuch, Priscila P. Machado, Danieli B. Contreira, Maiquel Canabarro, Rafael Krummenauer; **Importância da Implementação da Rede de Plataformas de Coleta de Dados Meteorológicos no Rio Grande do Sul.**

Evento: PSMOS (Planetary Scale Mesopause Observing System) 2002- International Symposium on Dynamics and Chemistry of the MLT Region, Foz do Iguaçu, Brazil, October 4 - 8, 2002

S. O. Monteiro, F. S. Rodrigues, D. Gobbi, H. Takahashi, E. R. de Paula, K. Makita, N. J. Schuch, M. R. Silva, G. R. Wrasse, J. V. Bageston, M. Landerdahl, D. B. Contreira; **Airglow Depletions and GPS Scintillations over the Southern Space Observatory – SSO (29°s, 53°w, ~20° Dip Latitude).**

Relatório Final de Atividades 2003



Evento: 34th COSPAR SCIENTIFIC ASSEMBLY - The Second World Space Congress, Houston, Tx, USA, October, 10-19 2002

D. B. Contreira, F. S. Rodrigues, K. Makita, C. G. M. Brum, W. Gonzalez, E. R. de Paula, M. R. da Silva¹ and N. J.; **An experiment to Study the Solar Flares Effects on Radiocommunication Signals;**

Evento: XVII Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnológica em Engenharia e III Feira de Protótipos – XVII CRICTE; Universidade de Passo Fundo – UPF, Passo Fundo– RS; 23 a 25 de Outubro de 2002

Danieli B. Contreira, Maiquel Canabarro, Sheron de O. Monteiro, Marlos R. da Silva, Rafael Krummenauer, José V. Bageston, Marcos R. Signore, Fabiano Rodrigues, Kazuo Makita, Nelson J. Schuch, Walter D. Gonzalez; **Efeitos de Explosões Solares Observados em Sinais de Rádio Comunicação no Observatório Espacial do Sul OES/CRSPE/INPE (29° S, 53° O);**

Danieli B. Contreira, Maiquel Canabarro, Sheron Monteiro, Marlos R. da Silva, Rafael Krummenauer, José V. Bageston, Marcos R. Signore, Alisson Dal Lago, Nelson J. Schuch, Walter D. Gonzalez; **Observação de Parâmetros do Meio Interplanetário Responsáveis pela Origem da Tempestade Geomagnética de 17 de Abril de 2002;**

Marlos R. da Silva, Maiquel Canabarro, Danieli B. Contreira, Sheron Monteiro, Rafael Krummenauer, José V. Bageston, Nelson J. Schuch e Walter D. Gonzalez; **Importância dos Raios Cósmicos na Previsão do Clima Espacial;**

Marlos R. da Silva, Maiquel Canabarro, Danieli B. Contreira, Sheron Monteiro, Rafael Krummenauer, José V. Bageston, Nelson J. Schuch e Walter D. Gonzalez; **Observações de Raios Cósmicos no Observatório Espacial do Sul– OES (29°S, 53°O);**

Rafael Krummenauer, Marcos R. Signori, Maiquel Canabarro, José V. Bageston, Sheron Monteiro, Danieli B. Contreira, Marlos R. da Silva, Fabiano S. Rodrigues, Nelson J. Schuch; **Estudo das Cintilações em Sinais de Satélites GPS;**

José V. Bageston, Sheron de O. Monteiro, Danieli B. Contreira, Marlos R. da Silva, Rafael Krummenauer, Marcos R. Signori, Maiquel Canabarro, Nelson J. Schuch, Delano Gobbi, Hisao Takahashi; **Estudo da Aeroluminescência na Região da Anomalia Magnética do Atlântico Sul usando um Espectro Imageador de Varredura Meridional;**

Maiquel Canabarro, Danieli B. Contreira, Marlos R. da Silva, Rafael Krummenauer, Marcos R. Signori, Noli J. Kozenieski, José V. Bageston, Kazuo Makita, Nelson J. Schuch; **Instrumentação Aplicada para Monitoramento Ionosférico no Observatório Espacial do Sul;**

Paper submetido para publicação dos trabalhos apresentados durante 34th COSPAR SCIENTIFIC ASSEMBLY: An Experiment to Study Solar Flare's Effects on Radio-communication Signals

Relatório Final de Atividades 2003

O SOL E A ORIGEM DAS TEMPESTADES GEOMAGNÉTICAS¹

Danieli B. Contreira², Nelson J. Schuch³, Marlos R. da Silva⁴, Sheron de O. Monteiro⁴,
Maiquel Canabarro⁵, Walter D. Gonzalez⁶

Do ponto de vista dos seres humanos a Terra e o Sol são os astros mais importantes do Sistema Solar. O primeiro por se tratar de nossa casa, e o segundo por fornecer energia para os processos que ocorrem na superfície terrestre. O objetivo deste trabalho é realizar uma abordagem sobre tópicos de Física Solar e analisar as origens solares das Tempestades Geomagnéticas utilizando dados dos satélites, ACE, SOHO e GOES. A energia solar é gerada no núcleo dentro de enormes quantidades de calores e pressões, sendo transportada para as camadas externas por processos de radiação e convecção. A radiação solar apresenta variações de longos e curtos períodos. As variações transientes são associadas ao ciclo de manchas solares, e as variações recorrentes ao período de rotação solar de 27 dias. A estrutura interna é caracterizada por regiões denominadas: Núcleo, Zona Radiativa e Convectiva, sendo a Atmosfera Solar composta por: Fotosfera, Cromosfera e Corona. Na Fotosfera encontram-se as manchas solares, regiões escuras e frias, as quais o ritmo de surgimento determina as condições da Atmosfera Solar. Os campos magnéticos intensos associados a pares de manchas solares aprisionam altas energias eletromagnéticas que podem ser liberadas em períodos de instabilidades na forma de explosões solares. A Corona é a região de maior importância para os fenômenos físicos do Meio Interplanetário, pois através da evaporação de seu material constitui o Vento Solar, um fluxo constante de partículas carregadas a velocidades de 350 a 2000 km/s. Ejeções de massa coronal lançam a altas velocidades grandes quantidades de material constituinte da Corona, podendo atingir a Terra e originar as chamadas Tempestades Geomagnéticas cujos efeitos vão desde danos nas comunicações via satélites até a produção de "blecautes". Estas ejeções têm sido observadas através de coronógrafos a bordo do satélite SOHO e suas propriedades físicas e influências têm sido largamente estudadas. Como as atividades humanas estão cada vez mais dependentes de alta tecnologia que são muito sensíveis à atividade solar, a investigação científica das origens desta atividade e seus possíveis efeitos na Terra tomam-se de grande valia.

- 1 - Trabalho desenvolvido no Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRSPE/INPE
- 2 - Apresentador: Acadêmica do Curso de Engenharia Química – CT/UFSM
- 3 - Orientador: Dr. Nelson Jorge Schuch – Chefe da Unidade Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRSPE/INPE
- 4 - Co-Autores: Acadêmicos do curso de Física – CCNE/UFSM
- 5 - Co-Autor: Acadêmico do curso de Engenharia Elétrica – CT/UFSM
- 6 - Co-Autor: Dr. Walter D. Gonzalez – INPE

XVII Jornada Acadêmica Integrada, UFSM, 02,03 e 04 de outubro de 2002

**EFEITOS DE EXPLOSÕES SOLARES OBSERVADOS EM SINAIS DE RÁDIO
COMUNICAÇÃO NO OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL
OES/CRSPE/INPE (29° S, 53° O)**

**Danieli B. Contreira, Maiquel Canabarro, Sheron de O. Monteiro, Marlos R. da Silva,
Rafael Krummenauer, José V. Bageston, Marcos R. Signore, Fabiano Rodrigues, Kazuo
Makita, Nelson J. Schuch, Walter D. Gonzalez**

Universidade Federal de Santa Maria – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
LACESM/CT/UFSM – OES/CRSPE/INPE

Av. Roraima – Bairro Camobi – Caixa Postal 5021 – 97110-970 – Santa Maria –RS – Brasil
danieli@lacesm.ufsm.br, gonzalez@dge.inpe.br

A Ionosfera é a região da Atmosfera localizada entre 50 e 1000 Km em relação à superfície terrestre, é caracterizada pela grande concentração eletrônica e por ser responsável pela reflexão das ondas de rádio que usam esta camada como meio de propagação. As partículas carregadas são produzidas, sobretudo pela radiação ultravioleta (EUV) e por raios-x solares. Eventos de explosões solares são caracterizados pela intensificação do fluxo de raios-x, causando aumento abrupto de ionização na mais baixa Ionosfera e a conseqüente absorção de ondas de rádio. Estes eventos de absorção são observados como eventos de desvanecimento de rádio sinais e apresentam uma importante influência no desempenho de sistemas de rádio-comunicação. Este trabalho tem como objetivo estudar a ocorrência de desvanecimento de rádio sinais associados a explosões solares de raios-x, utilizando um sistema rádio receptor para sinais de amplitude modulada (AM) na faixa de altas frequências (HF). O sistema consiste de um rádio receptor, modelo NRD-535 da JRC (Japan Radio Company), com interface serial RS-232, que possibilita o controle do rádio por um computador dedicado. O software de controle e aquisição de dados muda automaticamente as frequências de recepção e adquire os valores de potência do sinal recebido. Os sinais de 4 diferentes estações têm sido continuamente monitorados pelo sistema receptor que está implementado e em operação contínua no Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE, localizado no município de São Martinho da Serra (29.43°S, 53.8°O). Foram analisados dados de potência do sinal AM, (6 MHz), transmitido pela estação de rádio Guaíba de Porto Alegre – RS, (30.02°S, 51.13°O) e dados de fluxo de raios-x proveniente do satélite GOES-8 para o ano de 2001. Verificou-se que grande parte dos eventos estudados neste período, entre 05 e 21 horas locais, foram correlacionados a explosões solares de raios-x, nas classes C ($10^{-6} \text{ W/m} \leq \text{Fluxo máximo} \leq 10^{-5} \text{ W/m}^2$) e M ($10^{-5} \text{ W/m} \leq \text{Fluxo máximo} \leq 10^{-4} \text{ W/m}^2$). O efeito imediato da explosão solar pode ser verificado causando perdas na intensidade do sinal com duração total de mais de 1 hora na maioria dos casos observados. A partir dos resultados verificou-se que o sistema permite o monitoramento da variação diária de ionização da baixa Ionosfera, e também a possibilidade de estimar a magnitude de absorção do sinal durante eventos de explosões solares. Um longo período de observações pode prover informações estatísticas sobre a relação existente entre explosões solares de raios-x e o fenômeno que produz ionização anômala nas camadas da baixa Ionosfera e absorção de ondas de rádio.

Entidades Financiadoras: MMA, (AEB, FINEP, CNPq, INPE)/MCT, FAPESP, FAPERGS, UFSM

**OBSERVAÇÃO DE PARÂMETROS DO MEIO INTERPLANETÁRIO
RESPONSÁVEIS PELA ORIGEM DA TEMPESTADE GEOMAGNÉTICA DE
17 DE ABRIL DE 2002**

Danieli B. Contreira, Maiquel Canabarro, Sheron Monteiro, Marlos R. da Silva, Rafael Krummenauer, José V. Bageston, Marcos R. Signore, Alisson Dal Lago, Nelson J. Schuch, Walter D. Gonzalez

Universidade Federal de Santa Maria – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
LACESM/CT/UFSM – OES/CRSPE/INPE
Av. Roraima – Bairro Camobi – Caixa Postal 5021 – 97110-970 – Santa Maria –RS – Brasil
danieli@lacesm.ufsm.br, gonzalez@dge.inpe.br

A cada intervalo de 11 anos o Sol entra em intensa atividade, período denominado máximo solar, apresentando regiões de instabilidades que podem liberar a altas velocidades grandes quantidades de matéria e energia eletromagnética na forma de ejeções de massa coronal (EMC) e explosões solares, respectivamente. Estas manifestações de intensa atividade atingem o meio interplanetário e os planetas, podendo dar lugar na Magnetosfera Terrestre às chamadas Tempestades Geomagnéticas. O principal parâmetro para o desenvolvimento das Tempestades Geomagnéticas está associado a estruturas interplanetárias com intensa e de longa duração componente do campo magnético interplanetário (CMI), na direção antiparalela a do campo geomagnético, os quais se interconectam ocorrendo um transporte efetivo de energia para a Magnetosfera. Como consequência é verificado um aumento na densidade de partículas que circundam a Terra, distúrbios nas altas camadas da Atmosfera, influência nas telecomunicações e até mesmo “blackouts”. O campo magnético da Magnetosfera Terrestre é de grande importância para os seres humanos uma vez que protege a Terra contra a entrada de partículas altamente energéticas (prótons e elétrons) e da ação direta do vento solar. O objetivo deste trabalho é analisar as estruturas interplanetárias responsáveis pela origem da Tempestade Geomagnética observada no dia 17 de abril de 2002, e avaliar os diversos parâmetros que permitem a detecção de uma Tempestade Magnética. Para a realização deste estudo foram utilizados dados de plasma (velocidade do vento solar, densidade e temperatura de prótons) e campo magnético interplanetário (componentes B , B_x , B_y , B_z), provenientes dos satélites WIND e ACE, que estão em operação desde os anos de 1995 e 1997, respectivamente, produzindo dados que permitem o monitoramento diário da dinâmica do meio interplanetário. Dados do índice Dst foram usados para a identificação da Tempestade Geomagnética. Este índice é construído a partir de médias globais da variação da componente horizontal (H) do campo magnético terrestre que se torna menos intenso durante a manifestação de uma Tempestade Geomagnética, propiciando valores negativos do índice Dst. Tempestades Geomagnéticas são classificadas como intensas quando $Dst < -100$ nT. Para o evento em estudo verificou-se que na fase principal da Tempestade, o índice Dst atingiu o valor de -105 nT, sendo esta fase acompanhada por valores da componente B_z do CMI em torno de -22 nT. Durante a chegada da estrutura responsável pela fase inicial da Tempestade, observou-se um aumento na magnitude do campo magnético, densidade e velocidade do vento solar, atingindo valores em torno de 500 km s^{-1} (aumento de aproximadamente 160 km s^{-1}) em comparação ao período anterior. Estes parâmetros são de significativa importância permitindo o *monitoramento contínuo do Clima Espacial, propiciando informações a respeito das condições do meio interplanetário e atividade solar e o possível desenvolvimento de Tempestades Geomagnéticas, cujos efeitos podem ser sentidos no ambiente terrestre.*

Entidades Financiadoras: MMA, (AEB, FINEP, CNPq, INPE)/MCT, FAPESP, FAPERGS, UFSM.

AN EXPERIMENT TO STUDY THE SOLAR FLARES EFFECTS ON RADIOCOMMUNICATION SIGNALS

D. B. Contreira¹, F. S. Rodrigues², K. Makita³, C. G. M. Brum², W. Gonzalez², E. R. de Paula², M. R. da Silva¹ and N. J. Schuch¹

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

(2) INPE, São José dos Campos – SP, Brazil

(3) Takushoku University, Faculty of Engineering, Tokyo, Japan.

danieli@lancesm.ufsm.br

The occurrence of fading events of radio signals caused by ionospheric absorption plays an important role on performance of radiocommunication systems. It is necessary to know the magnitude and time-scale of such events in order to specify the communication system to be used. Generally, fading events are associated to solar flares, which are characterized by an increasing of the solar x-ray flux causing an increase on the lower ionosphere ionization. The abrupt increase of ionization causes the absorption of ionospheric radio waves observed as radio signal fading events. An experiment to detect fading events has been carried out at the Southern Space Observatory – SSO/INPE (29.43°S, 53.8°W), located in the South area of Brazil. The experiment consists on a computer controlled radio receiver able to measure and acquire automatically the received strength of radio signals on High Frequencies (HF) range. The monitored 6 MHz beacon signal have been transmitted by a broadcasting amplitude modulated (AM) radio station located about 400 km far from the observation site. In this work we analyzed fading cases observed by the experiment during 2001. Data from GOES-8 were also used to identify x-ray solar bursts associated to solar flares. A statistical analysis of fading occurrence and correlation between such events and solar flares will be presented and their physical implications discussed.

AN EXPERIMENT TO STUDY SOLAR FLARE'S EFFECTS ON RADIO-COMMUNICATION SIGNALS

D. B. Contreira¹, F. S. Rodrigues², K. Makita³, C. G. M. Brum², W. Gonzalez²,
N. B. Trivedi¹, M. R. da Silva¹ and N. J. Schuch¹

¹*Southern Regional Space Research Center – INPE, Santa Maria-RS, 97110-970, Brazil*

²*INPE-DAE, CP 515, São José dos Campos - SP, Brazil*

³*Tokushoku University, Faculty of Engineering, 815-1, Tatemachi, Hachioji-shi, Tokyo 193-0985, Japan*

ABSTRACT

The occurrence of radio signal fading events caused by ionospheric absorption plays an important role in the performance of radio-communication systems. It is necessary to know the magnitude and time-scale of such events in order to specify technical parameters of the communication system to be used. Generally, fading events are associated with solar flares, which are characterized by sudden increase in the solar x-ray flux that causes an increase in the ionization in the lower ionosphere. The abrupt increase of ionization causes the absorption of radio waves propagating in the Earth-ionosphere wave-guide and are reported as radio signal fading events. A simple experiment to monitor the behavior of lower ionosphere has been carried out at the Southern Space Observatory – SSO/INPE (29.43°S, 53.8°W), located in the Southern Brazil. The experiment is basically a computer controlled radio receiver that records the received signal strength of Amplitude Modulated (AM) radio signals in the HF (High Frequencies) range. We analyzed data of the 6 MHz beacon signal that has been transmitted by a broadcasting radio station located about 400 km far from the observation site. In this work we present initial results about daily variation of the received signal strength and fading events associated with solar flares observed in the 6 MHz signal monitored by the experiment during 2001. X-ray solar flux data from GOES-8 satellite were used to identify x-ray solar bursts associated with solar flares. Based on the one-year data collected by the experiment, a statistical summary of fading occurrences and their correlation with solar flares as well as the distributions of time-scales and magnitudes of such events are presented.

INTRODUCTION

The Earth's ionosphere is very important for communication signals in the HF range that covers signals with frequencies between 3 and 30 MHz. The lower frequencies in the HF range propagate mainly by ionospheric reflection and they are subject to absorption by the lower ionosphere (mainly D layer). The effectiveness of the ionosphere as a radio reflector depends on the radio wave frequency of the transmitted signal and the properties of the ionosphere, which can change over a time scale of minutes (Hargreaves, 1992). So, the radio wave absorption depends on the electron density and it is much stronger during the daytime because the enhanced ionization in the lower ionosphere by the solar radiation (Richmond, 1998; Stauning, 1996). The ionospheric absorption may also suffer sudden increase during anomalous ionization enhancements associated mainly to x-ray solar flare events, modifying the properties of radio wave reflection (Lin, 1998; Davies, 1990; ITU, 1998). During intense solar flares, which can occur at the rate of several per day in high solar activity years, all HF radio waves reaching the daytime ionosphere are absorbed during the flare occurrence (Joselyn, 1998). These absorption events are well known as radio fading events and they are characterized by a sharp decrease in signal amplitude caused by variations in the

electron density of absorbing regions (specially D layer). Such changes in the signal amplitude may sometimes last longer than one hour (ITU, 1998; Joselyn, 1998).

A solar flare event may be defined as a transient brightening of a small region on the solar surface observed in the H α emission line (Campbell, 1997). Flares produce a burst of radiation across the electromagnetic spectrum, from radio waves to x-rays and gamma-rays (Rust, 1998; Lin, 1998). The x-ray solar flares may be classified according to their peak intensity in the 0.1-0.8 nm range as X, M or C classes (Davies, 1990). X-class flares (10^{-4} W/m 2 \leq Peak intensity $\leq 10^{-3}$ W/m 2) are major events that can trigger planet-wide radio blackouts and long-lasting radiation storms. M-class flares (10^{-5} W/m 2 \leq Peak intensity $\leq 10^{-4}$ W/m 2) are medium-size events that generally cause brief radio blackouts affecting specially Earth's polar regions. Minor radiation storms sometimes follow a M-class flare. Finally, C-class flares (10^{-6} W/m 2 \leq Peak intensity $\leq 10^{-5}$ W/m 2) are small events with small consequences on Earth's ionosphere and magnetosphere.

The main purpose of this work is to present the initial results of a HF receiver system for lower ionosphere monitoring and also analyzing the occurrences of fading events observed in the 6 MHz signal monitored by this system during 2001.

METHODOLOGY

Following the work of K. Nozaki (Communications Research Laboratory – CRL, Japan) we used a commercial MF-HF radio receiver (Japan Radio Company – Model NRD535) to monitor the ionosphere. The JRC receiver used by us has a serial communication (RS232) interface making possible the automatic control from a conventional personal computer (PC). We developed a very simple computer software that automatically changes the frequency to be tuned by the radio receiver and values of the received signal strength are sampled each 10 seconds. The sampled signal strength values are in arbitrary digital units corresponding to 40 different levels (from 57,5 to 1) of a S-Meter built in the receiver. The digital values are then received by the computer and recorded in daily text data files. During data reduction procedure we convert the raw digital data to S-Meter values and finally to dBm units ($\text{dBm} = 10 \cdot \log(\text{Power}_{\text{received}}/\text{1mW})$). The procedure of converting arbitrary units to S-Meter values is based on a conversion table available in the radio receiver manual (JRC, 1996).

At the moment, signal strength of 4 signals transmitted by different AM broadcasting stations have been monitored by our system. The number of the radio stations monitored as well as the sampling rate can be easily modified according with user's interest. The observation site (Southern Space Observatory - SSO/INPE, 29.43° S, 53.8° W), where the system is installed, is located far away from artificial noise sources and the antenna has a free field of view.

In our statistics, we associated fading events to solar flares when the signal strength decreased very sharply immediately after a sudden x-ray solar flux increase. We used solar x-ray flux data from GOES-8 satellite for the 0.1-0.8 nm wavelength range to identify x-ray solar flares.

The magnitude of the fading was estimated from the subtraction of the minimum signal strength value from the signal strength value in the beginning of the fading. The fading duration was considered from the beginning of the fading until its complete recovery to normal levels.

RESULTS AND DISCUSSION

Typical Daily Variation of Monitored Signals

The 6 MHz signal has been monitored and studied due to its systematic stability in comparison to other monitored frequencies. Figure 1(a) shows a typical daily variation of the received signal strength for the four frequencies monitored by the radio receiver and (b) shows the map with the locations of these transmitter stations. From Figure 1(a) we can see the typical daily variation for the 6 MHz signal and note that this signal is much more stable than others monitored by the system. Other signals have sudden both long and short time decreases in their amplitude that are caused by the unknown reasons (probably related to their transmitter stations). As expected, the signal strength is much lower during daytime than during nighttime because the enhanced ionization by solar radiation in the lower ionosphere.

From Figure 1(a) we can also identify the interval between 03:00 and 07:00 UT when the 6 MHz signal strength is very low. We call this period nighttime noise level and occurs when the radio station turns the transmitter off. The time, when the transmitter is turned off, changes along the year but always is between 03:00 and 10:00 UT.

The system has been operating since middle October 2000 and thus we have been able to monitor the lower ionosphere daily variation.

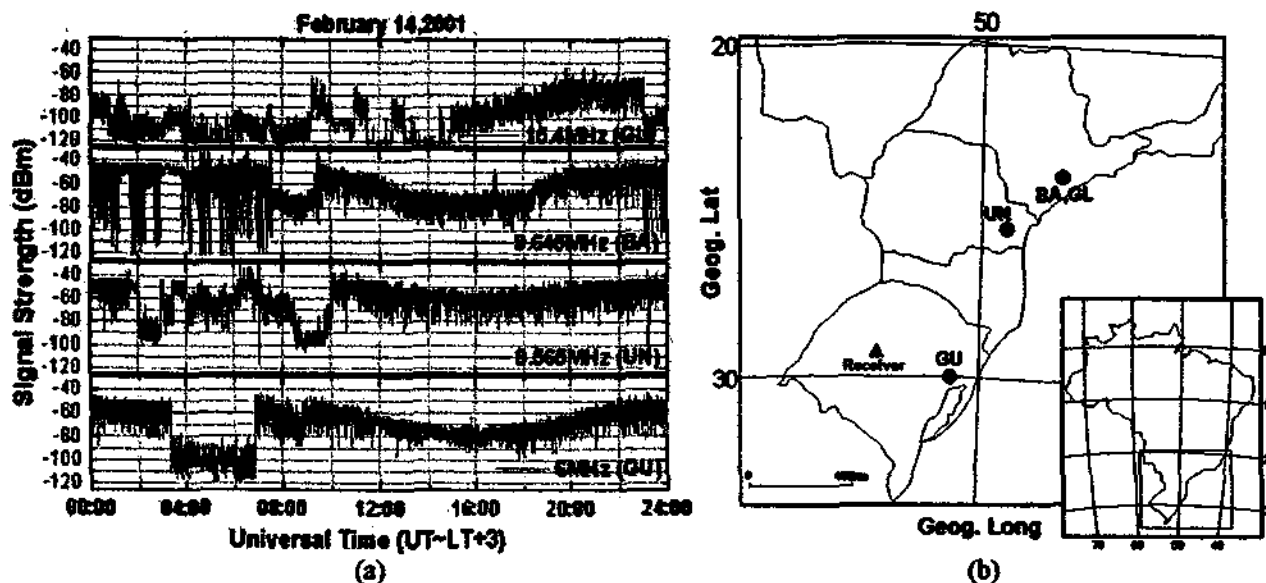


Fig. 1. (a) Example of a typical daily variation of the received signal strength for the 4 signals monitored by the HF radio receiver and (b) Map showing the location of the transmitter stations in Brazil.

Fading Events Related to X-ray Solar Flares

We analyzed 240 days of observation in 2001 out of which we found 69 days with at least 1 fading signature per day. Figure 2 shows examples of fading events caused by C, M and X solar flares. Each fading event in Figure 2 is shown with (a) the daily variation curve of the 6 MHz signal strength jointly with the monthly average curve; (b) x-ray flux data (0.1-0.8 nm and 0.5-4 nm) from GOES-8 and, (c) absorption curve computed by subtracting the daily curve from the monthly average curve. The immediate solar flare effect in the ionospheric ionization and consequent radio wave absorption can be easily observed in all cases shown in Figure 2. Immediately after a x-ray solar flux increase, the signal strength decreases very sharply (increasing the absorption level). Sometimes the fading is so deep that the signal strength reaches noise levels allowing radio blackouts, which may cause several damages on spacecraft and communication systems (Daglis, 2001). The arrow (→) in plots indicated days when radio receiver starts operating later (around 10:00 GMT).

Table 1 shows the number of 6 MHz fading events observed during each month of 2001 and the number of fading events that we considered caused by x-ray solar flares. For a fading event to be considered as caused by x-ray solar flare, the signal strength should vary simultaneously with the sudden x-ray solar flux increase. For 2001, 75% of the observed fading events were simultaneous to x-ray solar flares. Other events occurred with no signature of x-ray solar flare occurrence. These events may be related to geomagnetic disturbances and energetic particles precipitation in the South Atlantic Magnetic Anomaly (SAMA), however, this is only a speculation and further analyzes should be carried out to confirm this speculation. Data gaps in the July and August months are due absence of data caused by instrumental problems.

Table 1. 6 MHz fading events observed during 2001

Number	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Total
# of observation days	17	26	30	27	30	16	-	-	16	27	21	30	240
# of fading events	6	6	8	10	2	3	-	-	3	9	13	13	73
# of events associated to flares	4	3	7	8	1	1	-	-	2	7	11	11	55

Examples of Fading Events Observed During 2001

One example of fading event caused by a C-class flare is shown in Figure 2.a. Figure 2.b shows a fading case occurred at March 03 well correlated with a M-class solar flare. In this case we observed more accentuated absorption (< 30 dBm). In Nov. 08 (not shown here), a M-class solar flare occurred near the time of minimum solar zenith angle and we could observe that even M-class events can cause a complete loss of signal with the signal attaining noise levels for about 37 minutes. Finally, more significant absorption events were well associated to x-class solar flares. In Figure 2.c for Apr.15 is possible to observe the strong effect of such intense solar flares causing a complete loss of signal and with recovery time that usually exceed one hour. It is interesting to note that intense solar flares occurring even near the sunset sector can cause strong absorption as in the case of Dec. 28, shown in Figure 2.d.

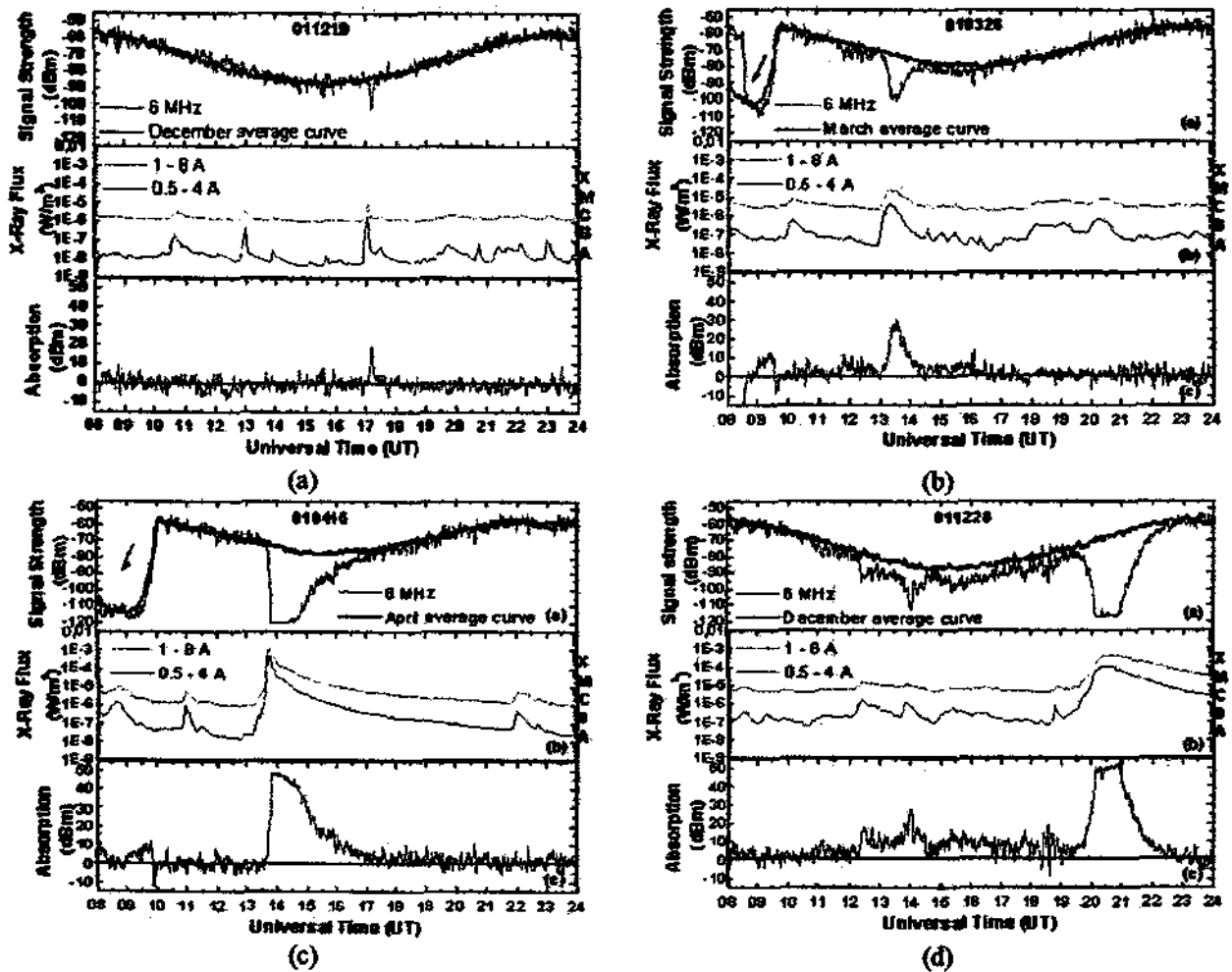


Fig. 2. Example of fading events associated to C-class (a), M-class (b) and X-class (c,d) solar flare events.

Statistics of the Magnitude and the Duration Time-scale of the Fading Events Associated to X-ray Solar Flares

Figure 3 (a) shows the magnitude distribution of the observed fading events that were well correlated with x-ray solar flares. According to our data, the magnitudes of the fading events are almost equally distributed. The events, that reached noise level, are represented by the right column in Figure 3 (a).

Figure 3 (b) shows the duration time-scale of the observed fading events that were well correlated with x-ray solar flares. From this Figure we can observe that most events last 60 to 90 minutes and the number of events decreases with increase of the time duration. We also observed 8 events with duration longer those 210 minutes. Generally, these events were well associated with long lasting x-class flares occurrence.

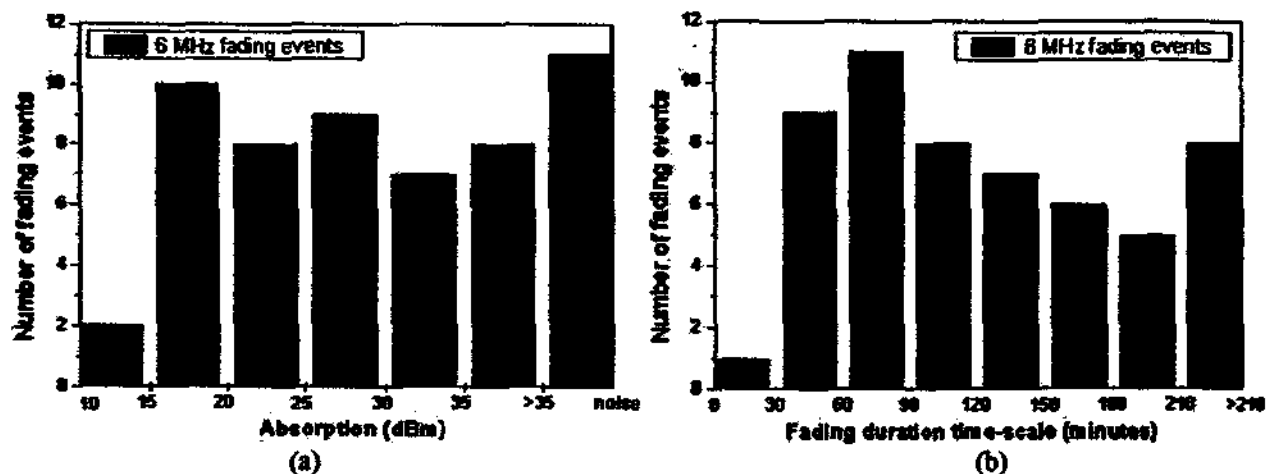


Fig. 3. (a) Magnitude distribution of fading events and (b) duration time-scale of the observed fading events.

CONCLUSIONS

We show in this work that the system is able to measure the daily variation of the lower ionosphere ionization as well as to identify fading events caused by x-ray solar flares. We observed 69 days with fading events during 2001, from which 75% were well correlated with x-ray solar flare bursts.

Fading events in the 6 MHz signal predominantly exceeded 15 dBm of magnitude and 30 minutes of duration. The distribution of magnitudes does not show any predominant magnitude but apparently the number of events roughly decrease with the increase of the magnitude. In several cases (11) the radio signal was completely lost.

Time duration of the observed fading events were predominantly longer than 30 minutes and the number of events decreased with the increase of the time duration very clearly. We also observed several fading cases with duration longer than 210 minutes.

The measurements show the dependence of the stability of radio links in HF range on the solar activity conditions and also that even small fluctuations in the ionospheric ionization process may lead amplitude fluctuations in 6 MHz received signal. Perhaps the more evident solar activity effect on humanity's technological achievements is the effect on telecommunications systems, this work is a typical example that shows these space weather effects.

ACKNOWLEDGEMENTS

This work is supported by Takushoku University, Japan and Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) in Brazil. D.B.C. acknowledges the financial support from Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq under Project N^o 102367/2002-7. C.G.M.B. is grateful to FAPESP for financial support under Project N^o 99/09230-0. The operation and data acquisition is managed by students of the Space Weather Laboratory –CRSPE/INPE. The authors also acknowledge the NOAA World Data Center for making GOES-8 x-ray data available.

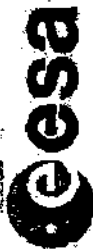
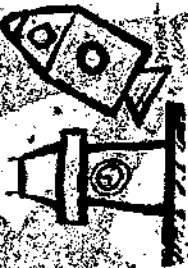
REFERENCES

- Campbell, W.H., *Introduction to Geomagnetic Fields*, Cambridge University Press, 1997.
- Daglis, I.A., Space storms, ring current and space-atmosphere coupling, *Space Storms and Space Weather Hazards*, editor and author of chapter 1, NATO Science Series II, Mathematics, Physics and Chemistry, 38, 1-42, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 2001.
- Davies, K., *Ionospheric Radio*, Peter Peregrinus, 1990.
- Hargreaves, J.K., *The Solar Terrestrial-Environment: An Introduction to Geospace-the Science of the Terrestrial Upper Atmosphere, Ionosphere and Magnetosphere*, Cambridge University Press, New York, USA, 1992.
- ITU, *The Ionosphere and its Effects on Radiowave Propagation*, International Telecommunications Union, Handbook –Radiocommunication Bureau, 1998.



UN/AUSTRIA / ESA SYMPOSIUM 2002 on

Enhancing the Participation of Youth in Space Activities



Certificate of Attendance

THIS IS TO CERTIFY THAT

Danieli Balbueno Contreira

participated in the
United Nations / Austria / European Space Agency
Symposium on
Enhancing the Participation of Youth in Space Activities

co-sponsored and hosted by the Government of Austria

Graz, Austria, 9-12 September 2002

on behalf of the sponsors:

Sergio Camacho

Officer in Charge
United Nations Office for Outer Space Affairs


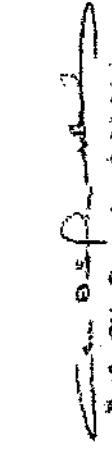
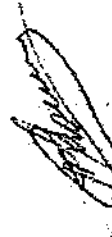

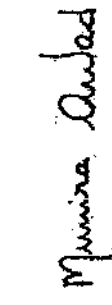
UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO
VICE-REITORIA DE EXTENSÃO E ASSUNTOS COMUNITÁRIOS
 FACULDADE DE ENGENHARIA E ARQUITETURA
 INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E GEOCIÊNCIAS

CERTIFICADO

Certificamos que **DANIELI BALBUENO CONTREIRA**, registro nº 0011, recebeu o prêmio "Trabalho Destaque - 2ª lugar", na área "Engenharia AeroEspacial", com o trabalho **"EFEITOS DE EXPLOÇÕES SOLARES OBSERVADOS EM SINAIS DE RÁDIO COMUNICAÇÃO NO OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL OES/CRSPE/INPE (29 S, 53 O)"** no XVII CONGRESSO REGIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA EM ENGENHARIA E III FEIRA DE PROTÓTIPOS CRICTE 2002, promovido pela Faculdade de Engenharia e Arquitetura e Instituto de Ciências Exatas e Geociências da Universidade de Passo Fundo, no período de 23 a 25 de outubro de 2002.

A programação foi aprovada pelo Consun em 5 de abril de 2002, ata nº 273.

Passo Fundo, 25 de outubro de 2002.

				
Prof. Dermeval Rosa dos Santos Diretor da Faculdade de Engenharia e Arquitetura	Prof. Clésia Bernadete S. N. Nunes Diretora do Instituto de Ciências Exatas e Geociências	Prof. Antônio Thomé Coordenador do Consun	Prof. Zacarias Chamberlain Coordenador do Consun	Munira Arabed Munira Arabed Coordenadora do Divisão de Extensão



ANEXOS

ANEXO 3 – Projeto

No anexo 3 está apresentado o projeto correspondente a bolsa de iniciação científica.

**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS
PROGRAMA INSTITUCIONAL DE BOLSAS DE
INICIAÇÃO CIENTÍFICA – PIBIC/CNPq
FORMULÁRIO PARA PROPOSTA DE PESQUISA**

Nome do Orientador: Walter Demétrio Gonzalez-Alarcon C.P.F. 739.508.238-91

Indicação do bolsista (Anexar formulário de inscrição, cópia do CIC e RG e histórico escolar)

Nome do Bolsista: Danieli Balbuena Contreira

Renovação Bolsa Nova X

Título do Projeto: Estudo das estruturas interplanetárias relacionadas às tempestades geomagnéticas intensas ocorridas no período de 1992 a 1998

Palavras-chaves

1. Tempestades geomagnéticas	2. Meio interplanetário	3. Clima Espacial
------------------------------	-------------------------	-------------------

Area do conhecimento (de acordo com formulário CNPq)

1. 1.07.02.00-8 Geofísica	2.	3.
---------------------------	----	----

Objetivos Específicos: os objetivos específicos deste projeto são: (1) familiarização da aluna com os fenômenos do meio interplanetário e suas consequências terrestres, tais como as nuvens magnéticas interplanetárias e as tempestades geomagnéticas, que fazem parte do estudo do Clima Espacial; (2) familiarização da aluna com os dados do meio interplanetário, de plasma (velocidade, densidade e temperatura do vento solar), e campo magnético interplanetário, para a identificação das diferentes estruturas lá presentes, tais como nuvens magnéticas e suas ondas de choque; (3) identificação das estruturas interplanetárias causadoras das tempestades geomagnéticas no período de 1992 a 1998, utilizando os dados acima mencionados, dados estes disponíveis através do sistema CDA (*Coordinate Data Analysis*) do programa ISTP (*International Solar-Terrestrial Physics*), ao qual o INPE possui acesso. A maioria (80-90%) das tempestades que serão estudadas neste projeto foram detectadas por Munakata et al. (2000) utilizando raios cósmicos, portanto pretende-se analisar quais as particularidades destes eventos. Pretende-se verificar se há diferenças entre as estruturas interplanetárias causadoras da tempestade identificadas e não identificadas pelos raios cósmicos. O contexto deste projeto está relacionado à recente inserção do Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE - MCT (São Martinho – RS), convênio INPE-UFSM, na rede de detecção de muons provenientes de raios cósmicos através de um acordo tri-lateral entre Brasil, Estados Unidos e Japão. As observações de muons feitas por esta rede serão utilizadas para a previsão da chegada de estruturas causadoras de tempestades geomagnéticas na terra.

Metodologia: utilizar-se-á dados do sistema CDA (*Coordinate Data Analysis*) do programa ISTP (*International Solar-Terrestrial Physics*), ao qual o INPE possui acesso, para a identificação das características interplanetárias de 22 tempestades geomagnéticas intensas ocorridas de 1992 a 1998. Para tanto a aluna fará uso de ferramentas computacionais disponíveis no CRSPE/INPE, tais como o software IDL (*Interactive Data Language*). Os critérios que serão utilizados para a classificação das diferentes estruturas interplanetárias são os descritos por diversos autores, tais como Gonzalez et al. (1987), Tsurutani et al. (1988), Tsurutani et al. (1992), Bothmer e Schwenn (1995) e Gonzalez et al. (1999).

Plano de trabalho do bolsista: (1) estudo da literatura referente às estruturas interplanetárias causadoras de tempestades geomagnéticas; (2) Obtenção dos dados de plasma e campo magnético interplanetários dos 22 eventos relacionados às tempestades observadas por Munakata et al. (2000) do sistema CDA (*cCoordinate Data Analysis*) do programa ISTP (*International Solar-Terrestrial Physics*), ao qual o INPE possui acesso; (3) confecção de gráficos dos parâmetros de plasma e campo magnético dos 22 eventos em questão; (4) separação dos eventos de acordo com sua identificação ou não pelos detetores de raios cósmicos; (5) identificação das particularidades dos dois grupos.

Cronograma de Atividades

Etapas \ Meses do Ano	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J
Revisão Bibliográfica em literatura técnico-científica												
Obtenção de dados via internet do sistema CDA – programa ISTP												
Preparação de gráficos dos parâmetros de plasma e campo magnéticos												
Classificação e análise dos diferentes eventos												
Submissão e apresentação de artigos em congressos de iniciação científica												
Redação de relatórios ao CNPq												

Resultados esperados: Espera-se obter os seguintes resultados: (1) conhecimento sobre o tema relacionado a origens interplanetárias das tempestades geomagnéticas, tema que faz parte do estudo do Clima Espacial; (2) disponibilização de um catálogo com os parâmetros interplanetários do 22 eventos relacionados às tempestades geomagnéticas detectadas por Munakata et al. (2000); (3) identificação das possíveis características destas estruturas em relação a sua detecção ou não pela rede de raios cósmicos.

Referências Bibliográficas:

1. GONZALEZ, W. D., TSURUTANI, B. T. and DE GONZALEZ, A. L. C., Interplanetary Origin of Geomagnetic Storms, *Space Science Reviews*, 88(3/4):529-562, 1999.
2. KAZUOKI MUNAKATA, JOHN W. BIER, SHIN-ICHI YASUE, CHIHIRO KATO, MORIKAKU KOYAMA, SHIGENOBU AKAHANE, KAZUHIKO FUJIMOTO, ZENJIRO FUJII, JOHN E.

HOMBLE AND MARCUS L. DULDIG., Precursors of Geomagnetic Storms Observed by the Muon Detector Network, Journal of Geophysical Research, vol. 105, n° A12, 2000.

3. VOLKER BOTHEMAR and RAINER SCHEWENN, The Interplanetary and Solar Causes of Major Geomagnetic Storms, J. Geomag. Geoelectr., 47, 1112-1132, 1995.

4. WALTER D. GONZALEZ and BRUCE T. TSURUTANI, Criteria of Interplanetary Parameters Causing Intense Magnetic Storms ($DST < -100$ nT), Planetary and Space Science, Vol. 35, n° 9, pp. 1101-1109, 1987.

5. BRUCE T. TSURUTANI, WALTER D. GONZALEZ, FRANCES TANG, SYUN I. AKASOFU, and EDWARD J. SMITH, Origin of Interplanetary Southward Magnetic Fields Responsible for Major Magnetic Storms Near Solar Maximum (1978-1979), Journal of Geophysical Research, vol. 93, N° A8, pp. 8519-8531, 1988.

6. BRUCE T. TSURUTANI, WALTER D. GONZALEZ, FRANCES TANG, and YEN TE LEE, Great Magnetic Storms, Geophysical Research Letters, vol. 19, n° 01, pp. 73-76, 1992.

São José dos Campos
Local

20 /05 /2002
Data

Ass. do Orientador