



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

ESTUDO COMPARATIVO DAS FRENTES DE CHOQUE PLANETÁRIAS

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

PROCESSO N° 105376/2005-1

Samuel Martins da Silva
(CRS/CIE/INPE - MCT, Bolsista PIBIC/ INPE - CNPq/MCT)
E-mail: samuel@lacesm.ufsm.br

Dr. Ezequiel Echer (Orientador, DGE/CEA/INPE - MCT)
E-mail: eecher@dge.inpe.br

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

Santa Maria, Julho de 2007.



Dados de Identificação

Bolsista

Samuel Martins da silva
Acadêmico do Curso de Física Bacharelado
Universidade Federal de Santa Maria - UFSM

Orientador

Dr. Ezequiel Echer
Divisão de Geofísica Espacial
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

Co-orientador

Dr. Nelson Jorge Schuch, Pesquisador Titular AIII.
Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais

Título do Projeto

ESTUDO COMPARATIVO DAS FRENTES DE CHOQUE PLANETÁRIAS

Local de execução do projeto:

Laboratório de Clima Espacial;

Projeto desenvolvido no âmbito da Parceria: INPE - UFSM via Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria – LACESM/CT - UFSM, em Santa Maria, RS;

Pesquisadores e Estudantes Colaboradores:

Dr. Nelson Jorge Schuch – CRS/INPE – MCT
Acadêmico Carlos Roberto Braga – UFSM
Acadêmico Marcos Vinícius Silveira – UFSM
Acadêmico Nícolas Kemmerich – UFSM



Diretório dos Grupos de Pesquisa no Brasil



Estudante
Samuel Martins da Silva



[Link para
Currículo Lattes](#)

[Dados gerais](#)[Indicadores de produção C, T & A](#)

Dados gerais

Identificação do estudante

Nome: Samuel Martins da Silva

Nível de treinamento: Graduação

Curriculo Lattes: 14/06/2007 19:06

E-mail: samuel@lacesm.ufsm.br

Homepage: <http://www.lacesm.ufsm.br>

Grupos de pesquisa que atua na instituição

[Clima Espacial, Magnetosfera: Interação Terra-Sol](#) - INPE

Linhas de pesquisa que atua

[Clima Espacial](#)

Orientadores participantes de grupos de pesquisa na instituição

[Ezequiel Echer](#)

Indicadores de produção C, T & A dos anos de 2001 a 2004

Tipo de produção	2001	2002	2003	2004
Produção bibliográfica	0	0	0	0
Produção técnica	0	0	0	0
Produção artística/cultural e demais trabalhos	0	0	0	0
Orientação concluída	0	0	0	0



Diretório dos Grupos de Pesquisa no Brasil



Grupo de Pesquisa

Clima Espacial, Magnetosferas: Interações Terra - Sol, NanoSatC-Br



Identificação	Recursos Humanos	Linhas de Pesquisa	Indicadores do Grupo
---------------	------------------	--------------------	----------------------

Identificação

Dados básicos

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

Status do grupo: **certificado pela instituição**

Ano de formação: 1996

Data da última atualização: 18/06/2007 11:07

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

Ademar Michels - michels@ct.ufsm.br

Área predominante: Ciências Exatas e da Terra; Geociências

Instituição: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Órgão: Coordenação de Gestão Científica - CIE

Unidade: Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais - CRS

Endereço

Logradouro: Caixa Postal 5021

Bairro: Camobi

Cidade: Santa Maria

Telefone: 33012026

E-mail: njschuch@lancesm.ufsm.br

CEP: 97110970

UF: RS

Fax: 33012030

Home page: <http://>

Repercussões dos trabalhos do grupo

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

Recursos humanos	
Pesquisadores	Total: 26
Ademar Michels Alan Prestes Alicia Luisa Clúa de Gonzalez Alisson Dal Lago Barclay Robert Clemesha Clezio Marcos De Nardin Cristiano Max Wrasse Delano Gobbi Eurico Rodrigues de Paula Ezequiel Echer Fábio Augusto Vargas dos Santos Fernando Luís Guarnieri Hisao Takahashi	Jean Carlo Santos Jean Pierre Raulin Joao Paulo Minussi Manjalathayil Ali Abdu Marcelo Barcellos da Rosa Nalin Babulal Trivedi Natanael Rodrigues Gomes Nelson Jorge Schuch Osmar Pinto Junior Otavio Santos Cupertino Durão Polinaya Muralkrishna Severino Luiz Guimaraes Dutra Walter Demetrio Gonzalez Alarcon
Estudantes	Total: 25
Carlos Roberto Braga Cassio Espindola Antunes Cézar Augusto Daroit Cleomar Pereira da Silva Cristiano Sarzi Machado Eduardo Ceretta Dalla Favera Faqner Chagas Rother Jean Carlos Daroit Jose Fernando Thuorst Josemar de Siqueira Juliano Moro Lilian Piecha Moor Lucas Lopes Costa	Marcelo dos Santos Zastawny Marcos Vinicius Dias Silveira Mateus Sabadi Schuh Micael da Silva Bacellar Nikolas Kemmerich Pablo Fernando Carlesso Rafael Lopes Costa Rodrigo Gerlach Silva Samuel Martins da Silva Sandro Fettermann Bertagnoli Silvano Lucas Prochnow Tiago Jaskulski
Técnicos	Total: 4
<p>Anderson Pereira Colvero - Ensino Profissional de nível técnico - Técnico em Eletrônica</p> <p>Eduardo Ceretta Dalla Favera - Ensino Profissional de nível técnico - Técnico em Computação</p> <p>Koiti Ozaki - Especialização - Analista de Sistemas</p> <p>Roben Castagna Lunardi - Graduação - Técnico em Computação</p>	
Linhas de pesquisa	Total: 4
<ul style="list-style-type: none"> ◆ AERONOMIA - IONOSFERAS x AEROLUMINESCÊNCIA ◆ MAGNETOSFERAS x GEOMAGNETISMO ◆ MEIO INTERPLANETÁRIO - CLIMA ESPACIAL ◆ NANOSATC-BR 	
Relações com o setor produtivo	Total: 0
Indicadores de recursos humanos do grupo	
	Total
Pesquisador(es)	26
Estudante(s)	25
Técnico(s)	4



Diretório dos Grupos de Pesquisa no Brasil

Grupo de Pesquisa
Clima Espacial, Magnetosfera: Interação Terra-Sol[Identificação](#)[Recursos Humanos](#)[Linhas de Pesquisa](#)[Indicadores do Grupo](#)

Identificação

Dados básicos

Nome do grupo: Clima Espacial, Magnetosfera: Interação Terra-Sol

Status do grupo: **certificado pela instituição**

Ano de formação: 1996

Data da última atualização: 08/06/2007 11:57

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

Área predominante: Ciências Exatas e da Terra; Geociências

Instituição: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Órgão: Coordenação de Gestão Científica - CIE

Unidade: Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais - CRS

Endereço

Logradouro: Caixa Postal 5021

Bairro: Camobi

Cidade: Santa Maria

Telefone: 330 12026

E-mail: njschuch@lancesm.ufsm.br

CEP: 97110970

UF: RS

Fax: 33012030

Home page: <http://>

Repercussões dos trabalhos do grupo

Este Grupo realiza pesquisas em conjunto com a Divisão de Geofísica Espacial do INPE de São José dos Campos, SP e com o Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria - LACESM, da Universidade Federal de Santa Maria - UFSM.

Recursos humanos

Pesquisadores

[Alan Prestes](#)[Alicia Luisa Clúa de Gonzalez](#)[Alisson Dal Lago](#)[Barclay Robert Clemenha](#)[Clezio Marcos De Nardin](#)[Cristiano Max Wrasse](#)[Delano Gobbi](#)[Eurico Rodrigues de Paula](#)[Ezequiel Echer](#)[Fábio Augusto Vargas dos Santos](#)[Fernando Luís Guarneri](#)[Hisao Takahashi](#)[Jean Carlo Santos](#)[João Paulo Minussi](#)[Mangalathayil Ali Abdu](#)[Marcelo Bercellos da Rosa](#)[Nalin Babul Trivedi](#)[Nelson Jorge Schuch](#)[Osmar Pinto Junior](#)[Polinava Muralikrishna](#)[Severino Luiz Guimarães Dutra](#)[Walter Demetrio Gonzalez Alarcon](#)

Total: 22

Estudantes

[Carlos Roberto Braga](#)[Lilian Piecha Moor](#)

Total: 17



[Cassio Espindola Antunes](#)

[Cézar Augusto Daroit](#)

[Cristiano Sarzi Machado](#)

[Eduardo Ceretta Dalla Favera](#)

[Fagner Chagas Rother](#)

[Jose Fernando Thuorst](#)

[Josemar de Siqueira](#)

[Juliano Moro](#)

[Marcelo dos Santos Zastawny](#)

[Marcos Vinicius Dias Silveira](#)

[Mateus Sabadi Schuh](#)

[Nikolas Kemmerich](#)

[Pablo Fernando Carlesso](#)

[Samuel Martins da Silva](#)

[Sandro Fettermann Bertagnoli](#)

Técnicos

Total: 4

Anderson Pereira Colvero - Ensino Profissional de nível técnico - Técnico em Eletrônica

Eduardo Ceretta Dalla Favera - Ensino Profissional de nível técnico - Técnico em Computação

Koiti Ozaki - Especialização - Analista de Sistemas

Roben Castagna Lunardi - Graduação - Técnico em Computação

Linhas de pesquisa

Total: 5

- [Aeronomia - Aeroluminescência](#)
- [Aeronomia - Ionosfera](#)
- [Clima Espacial](#)
- [Geomagnetismo](#)
- [NanoSatC-BR](#)

Relações com o setor produtivo

Total: 0

Indicadores de recursos humanos do grupo

	Integrantes do grupo	Total
Pesquisador(es)		22
Estudante(s)		17
Técnico(s)		4

Linha de pesquisa: NANOSATC-BR

<http://dgp.cnpq.br/buscaoperacional/detalhelinha.jsp?grupo=008710...>**Diretório dos Grupos de Pesquisa no Brasil****Linha de Pesquisa
NANOSATC-BR****Linha de pesquisa****NANOSATC-BR**Nome do grupo: [Clima Espacial, Magnetosferas: Interações Terra - Sol, NanoSatC-Br](#)

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

Pesquisadores:

[Ademar Michels](#)
[Alicia Luisa Clúa de Gonzalez](#)
[Alisson Dal Lago](#)
[Clezio Marcos De Nardin](#)
[Ezequiel Echer](#)
[Fernando Luís Guarnieri](#)
[Jean Pierre Raulin](#)
[Nalin Babulal Trivedi](#)
[Natahael Rodrigues Gomes](#)
[Nelson Jorge Schuch](#)
[Otavio Santos Cupertino Durão](#)
[Severino Luiz Guimarães Dutra](#)
[Walter Demétrio Gonzalez Alarcon](#)

Estudantes:

[Carlos Roberto Braga](#)
[Cassio Espindola Antunes](#)
[Cleomar Pereira da Silva](#)
[Jean Carlos Daroit](#)
[Josemar de Siqueira](#)
[Lucas Lopes Costa](#)
[Marcelo dos Santos Zastawny](#)
[Marcos Vinicius Dias Silveira](#)
[Micael da Silva Bacellar](#)
[Nikolas Kemmerich](#)
[Rafael Lopes Costa](#)
[Rodrigo Gerlach Silva](#)
[Samuel Martins da Silva](#)
[Sandro Fettermann Bertagnoli](#)
[Silvano Lucas Prochnow](#)
[Tiago Jaskulski](#)

Árvore do conhecimento:

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

Setores de aplicação:

Aeronáutica e espaço

Objetivo:

Pesquisas: Geoespaço e em Engenharias/Tecnologias: eletrônica, comunicações, mecânica e aeroespacial, lançamento de pequenos satélites científico universitário - iniciação científica: CubeSat (100g-1Kg, 10x10x10cm), Nanosatélite (1Kg-10Kg); Carga útil: magnetômetro e detector de partículas; Desenvolvimentos: estrutura mecânica, computador-bordo, programas, estação terrena, testes/integração, sub-sistemas: potência, propulsão, telemetria, controle: atitude, térmico, Vice-Líder: Ademar Michels



*"Se você quer ter sucesso na vida,
Tem que ter dedicação total, buscar seu último limite e dar o melhor de si."*

Ayrton Senna



*A meus pais,
Odécio e Marlene,
Familiares e Amigos.*

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, quero agradecer aos meus pais, Odécio Martins da Silva e Marlene Rodrigues da Silva, por terem me apoiado e incentivado desde cedo em meus estudos.

Agradeço aos meus irmãos, Cristiane e Tiago, pelo apoio e auxílio em todas as etapas de minha vida.

Agradeço ao Centro Regional Sul – CRS/CIE/INPE – MCT, pela infraestrutura disponibilizada para a realização deste trabalho; aos alunos - Carlos Roberto Braga, Marcos Vinícius Silveira e Nícolas Kemmerich - que atuam na Parceria INPE – UFSM, através do Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria pelo apoio técnico, companheirismo e grande amizade.

Agradeço ao meu Orientador, Dr. Ezequiel Echer, pela ajuda, paciência, dedicação e incentivo para a realização deste Projeto e trabalhos correlatos tantos os presentes como os novos projetos para o futuro.

Ao Programa de Bolsas de Iniciação Científica do CNPq e ao Coordenador do Programa PIBIC/INPE – CNPq/MCT, pela bolsa, atenção e sempre alerta para informar e cobrar informações para a Secretária do Programa, Egidia Ignácio da Rosa.

Um especial agradecimento ao Dr. Nelson Jorge Schuch pela orientação pessoal/humana, técnico-científica e por ter revisado este trabalho, por demonstrar real interesse em meu desenvolvimento e me estimulado a agir no sentido de procurar ações e interações pessoais e profissionais não só no Brasil como no Exterior.

RESUMO

O estudo de frentes de choque planetárias nos proporciona uma visão importante a cerca do comportamento dos choques não colisionais no espaço sobre uma variedade de condições ambientais do vento solar e de diferentes tipos de obstáculos. A frente de choque é formada devido à interação eletromagnética do vento solar supermagnetosônico com os obstáculos magnetizados (campo magnético intrínseco ou magnetosfera induzida) dos planetas. A natureza desta interação varia consideravelmente dependendo de uma variedade de fatores (módulo e direção do campo magnético, valor do parâmetro beta de plasma, número de *Mach* do choque, etc.). O objetivo deste trabalho é identificar os cruzamentos da frente de choque nos dados de campo magnético e determinar os vetores normais à frente de choque utilizando o Teorema da Coplanaridade Magnética. Neste trabalho, analisamos as propriedades da frente de choque de Mercúrio através dos dados obtidos pela sonda espacial *Mariner-10* em 29/03/1974 (Encontro I) e 16/03/1975 (Encontro III) e para a Terra através das sondas espaciais *ISEE-1* e *ISEE-2* em 2/12/1977, 5/12/1977, 25/07/1978, 27/08/1978, 5/09/1978. Com os dados de campo magnético de alta resolução, nós determinamos as regiões correspondentes aos lados *upstream* e *downstream* à frente de choque. As regiões foram divididas em 10 subintervalos e foi calculado as médias do vetor campo magnético interplanetário (CMI) em cada subintervalo. A seguir, utilizamos o primeiro vetor CMI no lado *upstream* e o combinamos com todos os 10 (dez) vetores CMI no lado *downstream*, obtendo dez vetores normais a frente choque, \vec{n}_s , e dez ângulos (θ_{Bn}) entre o CMI *upstream* e o vetor normal. O procedimento foi repetido para todos os vetores CMI *upstream* e *downstream*. No fim do procedimento, teremos todos 100 (cem) vetores normais e 100 (cem) ângulos (θ_{Bn}) possíveis. Exemplos de cruzamentos de frente de choque para Mercúrio e a Terra bem como o cálculo da normal ao choques e do ângulo (θ_{Bn}) são apresentados.

SUMÁRIO

LISTA DE ILUSTRAÇÕES	15
LISTA DE TABELAS	17
LISTA DE SÍMBOLOS.....	18
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS	19
CAPÍTULO 1	20
INTRODUÇÃO	20
CAPÍTULO 2	21
FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	21
2.1 MERCÚRIO.....	21
2.2 TERRA	22
2.3 TEOREMA DA COPLANARIDADE MAGNÉTICA.....	23
CAPÍTULO 3	26
3.1 METODOLOGIA.....	26
3.2 SONDAS ESPACIAIS	28
3.2.1 <i>MARINER-10</i>	28
3.2.2 ISEE 1 E 2.....	28
CAPÍTULO 4	29
RESULTADOS.....	29
4.1 ANÁLISE DOS EVENTOS DETECTADOS PELA SONDA ESPACIAL ISEE 1 E 2 – TERRA.....	30
4.1.1 CRUZAMENTO DA FRENTE DE CHOQUE DO DIA 2 DE DEZEMBRO DE 1977.....	30
4.1.2 CRUZAMENTO DA FRENTE DE CHOQUE DO DIA 5 DE DEZEMBRO DE 1977.....	32
4.1.3 CRUZAMENTO DA FRENTE DE CHOQUE DO DIA 25 DE JULHO DE 1978	34
4.1.4 CRUZAMENTO DA FRENTE DE CHOQUE DO DIA 27 DE AGOSTO DE 1978.....	36
4.1.5 CRUZAMENTO DA FRENTE DE CHOQUE DO DIA 5 DE SETEMBRO DE 1978.....	38
4.2 ANÁLISE DOS EVENTOS DETECTADOS PELA SONDA ESPACIAL <i>MARINER 10</i>	41
4.2.1 CRUZAMENTO DA FRENTE DE CHOQUE DO DIA 29 DE MARÇO DE 1974 (<i>INBOUND</i>).....	41
4.2.2 CRUZAMENTO DA FRENTE DE CHOQUE DO DIA 29 DE MARÇO DE 1974 (<i>OUTBOUND</i>).....	43



4.2.3 CRUZAMENTO DA FRENTE DE CHOQUE DO DIA 16 DE MARÇO DE 1975 (<i>INBOUND</i>)	45
4.2.4 CRUZAMENTO DA FRENTE DE CHOQUE DO DIA 16 DE MARÇO DE 1975 (<i>OUTBOUND</i>)	47
CAPÍTULO 5	50
CONCLUSÕES	50
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	52
ANEXOS	54
ANEXO 1	55
PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA	55
ANEXO 2.....	59
TÍTULOS E RESUMOS DE TRABALHOS APRESENTADOS E OU SUBMETIDOS NO PERÍODO DE VIGÊNCIA DA BOLSA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA AGOSTO/2005 – JULHO/2006.	59
ANEXO 4.....	92
CERTIFICADOS.....	92

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Ilustração 2.1 Perfil da magnetosfera do Mercúrio (Russell et al., 1997).	22
Ilustração 2.2 Interação do vento solar com a magnetosfera da Terra. O vento solar flui da esquerda cruzando a frente de choque da Terra, onde ele é retardado e defletido ao redor da cavidade magnetosférica (Russel, C. T., 1985).	23
Ilustração 2.3 Interpretação geométrica do teorema da Coplanaridade Magnética. O vetor campo magnético <i>upstream</i> , o vetor campo magnético <i>downstream</i> e o vetor normal ao choque estão no mesmo plano.	24
Ilustração 2.4 Indicação dos parâmetros usados na definição do <i>overshoot</i>	25
Ilustração 3.1 Ilustração da obtenção das combinações possíveis de vetores CMI <i>upstream</i> e CMI <i>downstream</i>	26
Ilustração 3.2 Rotina usada para os cálculos dos vetores normais e dos ângulos θ_{Bn}	21
Ilustração 4.1 Variações temporais do campo magnético antes (<i>upstream</i>) e após (<i>downstream</i>) o choque.	30
Ilustração 4.2 Histogramas das distribuições para dois parâmetros locais (<i>Jump</i> , Ângulo alfa) associado com a Distribuição dos 100 (cem) de Ângulos Teta em função dos Ângulos Alfa.	31
Ilustração 4.3 Variações temporais do campo magnético antes (<i>upstream</i>) e após (<i>downstream</i>) o choque.	32
Ilustração 4.4 Histogramas das distribuições para dois parâmetros locais (<i>Jump</i> , Ângulo alfa) associado com a Distribuição dos 100 (cem) de Ângulos Teta em função dos Ângulos Alfa.	33
Ilustração 4.5 Variações temporais do campo magnético antes (<i>upstream</i>) e após (<i>downstream</i>) o choque.	34
Ilustração 4.6 Histogramas das distribuições para dois parâmetros locais (<i>Jump</i> , Ângulo alfa) associado com a Distribuição dos 100 (cem) de Ângulos Teta em função dos Ângulos Alfa.	35
Ilustração 4.7 Variações temporais do campo magnético antes (<i>upstream</i>) e após (<i>downstream</i>) o choque.	36
Ilustração 4.8 Histogramas das distribuições para dois parâmetros locais (<i>Jump</i> , Ângulo alfa) associado com a Distribuição dos 100 (cem) de Ângulos Teta em função dos Ângulos Alfa.	37
Ilustração 4.9 Variações temporais do campo magnético antes (<i>upstream</i>) e após (<i>downstream</i>) o choque.	38
Ilustração 4.10 Histogramas das distribuições para dois parâmetros locais (<i>Jump</i> , Ângulo alfa) associado com a Distribuição dos 100 (cem) de Ângulos Teta em função dos Ângulos Alfa.	39
Ilustração 4.11 Variações temporais do campo magnético antes (<i>upstream</i>) e após (<i>downstream</i>) o choque.	41
Ilustração 4.12 Histogramas das distribuições para dois parâmetros locais (<i>Jump</i> , Ângulo alfa) associado com a Distribuição dos 100 (cem) de Ângulos Teta em função dos Ângulos Alfa.	42



Ilustração 4.13 Variações temporais do campo magnético antes (*upstream*) e após (*downstream*) o choque.....43

Ilustração 4.14 Histogramas das distribuições para dois parâmetros locais (*Jump*, Ângulo alfa) associado com a Distribuição dos 100 (cem) de Ângulos Teta em função dos Ângulos Alfa.....44

Ilustração 4.15 Histogramas das distribuições para dois parâmetros locais (*Jump*, Ângulo alfa) associado com a Distribuição dos 100 (cem) de Ângulos Teta em função dos Ângulos Alfa.....45

Ilustração 4.16 Histogramas das distribuições para dois parâmetros locais (*Jump*, Ângulo alfa) associado com a Distribuição dos 100 (cem) de Ângulos Teta em função dos Ângulos Alfa.....46

Ilustração 4.17 Variações temporais do campo magnético antes (*upstream*) e após (*downstream*) o choque.....47

Ilustração 4.18 Histogramas das distribuições para dois parâmetros locais (*Jump*, Ângulo alfa) associado com a Distribuição dos 100 (cem) de Ângulos Teta em função dos Ângulos Alfa.....48



LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1 Datas das Frentes de Choques analisadas.....	29
Tabela 4.2 O ângulo (θ_{Bn}), desvio padrão (σ), ângulo (α), compressão magnética (r_B), <i>overshoot</i> (A) e as componentes do vetor normal.....	40
Tabela 4.3 O ângulo (θ_{Bn}), desvio padrão (σ), ângulo (α), compressão magnética (r_B), <i>overshoot</i> (A) e as componentes do vetor normal.....	49

LISTA DE SÍMBOLOS

- U A - Unidade Astronômica – distância entre o Sol e a Terra, $1,5 \times 10^{11}$ m.
- Bt - Intensidade do campo magnético interplanetário [nT].
- Bx - Componente x do campo magnético interplanetário [nT].
- By - Componente y do campo magnético interplanetário [nT].
- Bz - Componente z do campo magnético interplanetário [nT].
- μ_0 - Permeabilidade magnética do espaço livre.
- β - Beta de plasma.
- n - Normal a frente de choque.
- α - Ângulo entre a normal e o campo magnético interplanetário.



LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

- ISEE - International Sun-Earth Explorer.
- UT - Hora Universal, do inglês – “Universal Time”.
- MHD - Magnetohidrodinâmica.
- R_E - Raio da Terra.
- R_M - Raio de Mercúrio.

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

A expansão supersônica do plasma da coroa solar através do meio interplanetário faz com que o meio interplanetário seja continuamente preenchido pelo vento solar. A interação entre o vento solar e obstáculos magnetizados, tais como magnetosferas intrínsecas geradas pelo campo magnético planetário ou magnetosferas induzidas – produz uma frente de choque não-colisional à frente do obstáculo. Frentes de Choques Planetárias fornecem uma visão tanto do comportamento dos choques como dos obstáculos planetários responsáveis pela criação das frentes de choque. Desde que a velocidade do fluxo do vento solar exceda a velocidade magnetosônica, uma onda de choque se formará na frente de cada planeta, se o mesmo não absorver o fluxo vindo através do vento solar. A onda de choque diminui a velocidade do fluxo do vento solar, aquece-o e deflete-o ao redor do obstáculo planetário.

O objetivo deste Projeto é o estudo sobre a Física básica da formação de Frentes de Choque no Sistema Solar, magnetosferas planetárias e vento solar. Propõe-se adquirir familiaridade com os dados de campo magnético e plasmas medidos por sondas interplanetárias (tais como IMP-8, ISEE 1 e 2 e *Mariner 10*) que vem estudando a Heliosfera nos últimos 40 anos.

O Projeto foi desenvolvido no Laboratório de Clima Espacial do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRS/INPE – MCT no âmbito da Parceria com o Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria – LACESM/CT/UFSM.

CAPÍTULO 2

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nos últimos 40 anos aprendemos mais sobre o Sistema Solar do que sobre a maioria das outras áreas da astronomia. Isto se deve não apenas à melhoria dos detectores e telescópios existentes nos observatórios terrestres, mas, principalmente, às várias sondas espaciais que cruzaram o Sistema Solar fotografando e realizando experiências científicas ao longo das últimas décadas. Até agora sondas espaciais visitaram todos os planetas, e, além disso, vários sistemas de satélites e de anéis foram descobertos e estudados por essas sondas, assim como alguns asteróides e cometas.

O Sistema Solar é o conjunto de todos os corpos celeste, independente do tamanho, estado físico ou propriedades, que estão gravitacionalmente ligados ao Sol e que descrevem órbitas em torno dele. As missões espaciais são um importante meio para conhecer a natureza dos planetas e as futuras que serão enviadas para explorá-los nos fornecerão dados para ampliarmos o nosso conhecimento sobre outros planetas, bem como o nosso. Neste trabalho analisamos algumas propriedades das magnetosferas dos planetas Terra e de Mercúrio, o qual tem semelhanças com a Terra.

2.1 MERCÚRIO

Mercúrio é menor planeta entre os planetas terrestre com um raio de 2439 km e tamanho entre a Lua e Marte. A alta densidade ($5,4 \text{ g/cm}^3$) indica que Mercúrio possui um significativo núcleo de ferro. O núcleo aparentemente é suficiente para manter um dínamo ativo a despeito do pequeno tamanho e pouca rotação do planeta. Quando a *Mariner- 10* passou por Mercúrio, detectou um campo magnético vindo de um dipolo magnético com um módulo de $4 \pm 2 \times 10^{22} \text{ Gauss-cm}^3$. A Ilustração 2.1 mostra a interação do vento solar e as linhas de campo da magnetosfera em Mercúrio (Russell, 1993).

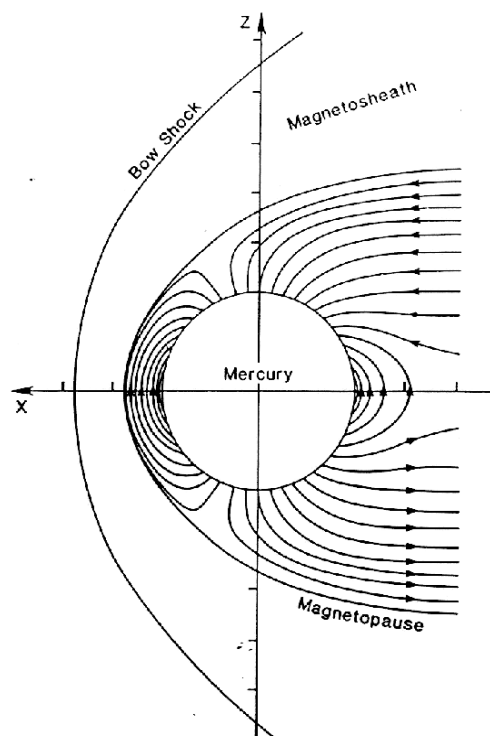


Ilustração 2.1 Perfil da magnetosfera do Mercúrio (Russell et al., 1997).

O *nariz* da magnetopausa está localizado próximo da superfície planetária, aproximadamente, $0,35 R_M$ (Raio de Mercúrio). A frente de choque está à aproximadamente $0,9 R_M$ a frente da superfície. O módulo do campo magnético na superfície é de 300-500 gammas (nT), sendo que este valor depende da variação da pressão do vento solar. A magnetopausa e a frente choque de Mercúrio são similares às propriedades e características encontradas na Terra (Russell, 1992). A magnetosfera de Mercúrio pode ser representada como um modelo em miniatura da magnetosfera terrestre. As principais diferenças são a ausência de uma região de aprisionamento de partículas – cinturão de radiação – devido ao grande tamanho relativo do planeta à magnetosfera. Além das diferenças no módulo do campo magnético dipolar, muito mais fraco em Mercúrio, as condições do vento solar são diferentes naquela órbita. A pressão dinâmica do vento solar e a magnitude do campo magnético interplanetário são bem maiores e o campo interplanetário tem um componente B_x predominante. Essas características favorecem uma formação de frentes de choque quase-paralelas em Mercúrio (Russell, 1993).

2.2 TERRA

A Terra é o mais rápido dos planetas terrestres. Ela gira uma vez em torno de seu eixo a cada 23h horas e 56 minutos (relativo às estrelas). O seu raio médio é de 6371 km e seu interior consiste de um manto (2886 km de espessura), um núcleo metálico líquido de ferro (3485 km) e um núcleo sólido (1221 km). O seu dínamo varia no tempo o que levou a inúmeras mudanças de polaridade do campo magnético (Russell, 1993).

A Terra, assim como Mercúrio, apresenta um obstáculo magnetizado para o vento solar. A magnetosfera terrestre é aproximadamente 20 vezes o tamanho da magnetosfera de Mercúrio. Na frente da magnetosfera está à frente de choque cuja distancia, aproximada, chega a 92000 km ou 14,5 R_T (Raio da Terra). O momento de dipolo terrestre é de aproximadamente 8×10^{25} Gauss-cm³ cujo corresponde ao campo na superfície de 0,31 Gauss no equador e duas vezes este valor nos pólos. A Ilustração 2.2 mostra a interação do vento solar com a magnetosfera terrestre. O vento solar, depois de passar através da frente de choque, entra na região chamada de *magnetosheath* que fica ao redor da magnetopausa (Russell, 1985).

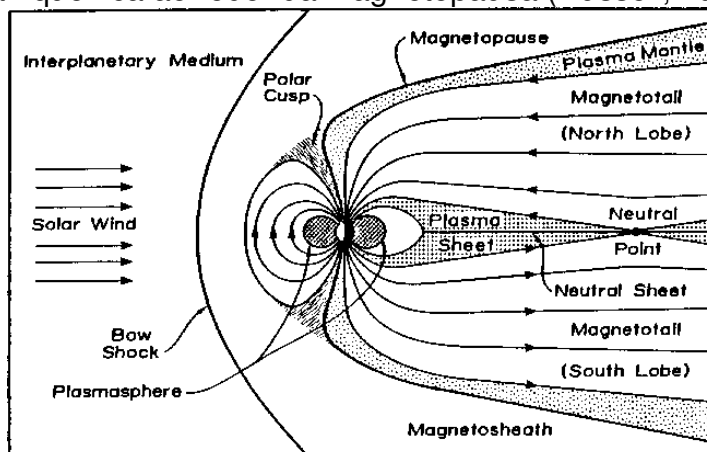


Ilustração 2.2 Interação do vento solar com a magnetosfera da Terra. O vento solar flui da esquerda cruzando a frente de choque da Terra, onde ele é retardado e defletido ao redor da cavidade magnetosférica (Russel, C. T., 1985).

Quando o vento solar estiver a velocidade maior do que a velocidade magnetosônica que é necessário para divergir o vento solar ao redor da magnetosfera terrestre, uma onda de choque é formada no vento solar *upstream*, cujo desacelera o fluxo vento do solar a uma velocidade subsônica. As propriedades da frente de choque determinam a natureza do fluxo que interage com a magnetosfera do planeta e é importante na transferência de energia do vento solar para a magnetosfera (Russell, 1993).

2.3 TEOREMA DA COPLANARIDADE MAGNÉTICA

A técnica do Coplanaridade Magnética é provavelmente o método mais freqüentemente usado para inferir o sentido normal do choque. Esta técnica é usada para analisar observações interplanetárias de campo magnético in-situ nos choques, quando os dados de plasma não estão disponíveis, ou se a definição for inadequada para determinar os parâmetros locais de choque (González-Esparza, 1994). O teorema indica que para um choque oblíquo, compressivo e rápido, os vetores campo magnético *upstream* e *downstream*, e o vetor normal ao choque, são todos coplanares (Colburn e Sonett, 1966). Este método é baseado no princípio físico da não divergência do campo magnético. A continuidade da componente normal do

campo magnético através do choque implica que este é paralelo à superfície de choque. O vetor normal à frente de choque é obtido através da equação:

$$\vec{n}_s = \frac{(\vec{B}_u - \vec{B}_d) \times (\vec{B}_u \times \vec{B}_d)}{\left| (\vec{B}_u - \vec{B}_d) \times (\vec{B}_u \times \vec{B}_d) \right|} \quad (1)$$

O ângulo θ_{Bn} é definido como o ângulo entre o campo magnético *upstream* e o sentido do vetor normal ao choque. Usando este parâmetro, nós definimos um choque como paralelo, quase-paralelo, quase-perpendicular e perpendicular. Notamos que a equação (1) é inválida quando o choque é exatamente paralelo ou exatamente perpendicular, desde que os campos magnéticos *upstream* e *downstream* sejam paralelos (Gonzalez & Balogh, 2001). A vantagem deste método é que requer somente medidas do campo magnético antes e após o choque (Burlaga, 1995). Para o método da Coplanaridade Magnética ser confiável, o ângulo formado entre o vetor campo magnético *upstream* e o *downstream* (ângulo Alfa) deve ser maior que 20° (Russell et al., 1983). A interpretação geométrica do teorema da Coplanaridade Magnética é apresentada na Ilustração 2.3.

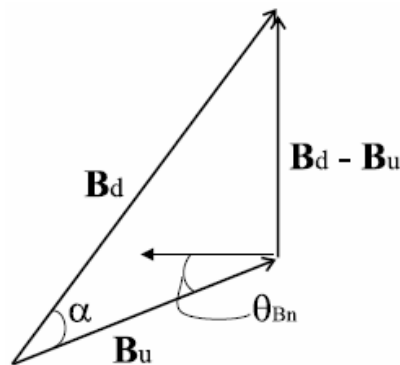


Ilustração 2.3 Interpretação geométrica do teorema da Coplanaridade Magnética. O vetor campo magnético *upstream*, o vetor campo magnético *downstream* e o vetor normal ao choque estão no mesmo plano.

O ângulo Alfa é a deflexão no campo magnético causado pela descontinuidade do choque (Gonzalez & Balogh, 2001). O ângulo Teta é determinado então pelo produto escalar entre o vetor CMI *upstream* e o vetor normal, nós obtemos:

$$\theta_{Bn} = \arccos \left(\frac{\vec{B}_u \cdot \vec{n}}{\left| \vec{B}_u \right| \left| \vec{n} \right|} \right) \quad (2)$$

O uso das equações (1) e (2) é conhecido como a Técnica do Coplanaridade Magnética. E fazendo a divisão entre o vetor CMI *upstream* e o vetor CMI *downstream*, nós obteremos:

$$r_B = \frac{B_d}{B_u} \quad (3)$$

onde r_B é a relação que determina o salto no valor do campo magnético.

2.4 Overshoot

De acordo com as relações de Rankine-Hugoniot, a magnitude do campo magnético aumenta na passagem das regiões *upstream* a *downstream* de um choque (Kantrowitz & Petschek, 1966). Isto é observado em muitos planetas, como por exemplo, a Terra. Na frente de choque, o campo magnético aumenta significativamente mais do que é requerido pelas condições de Rankine-Hugoniot antes de decair em uma forma oscilatória a seu valor médio *downstream* (Livesey et al., 1982). A Ilustração 2.4 mostra como definimos a amplitude A do *overshoot*:

$A = \frac{B_M - B_d}{B_d}$, onde B_M é o campo magnético máximo no *overshoot* e B_d é o valor médio do vetor no intervalo *downstream*.

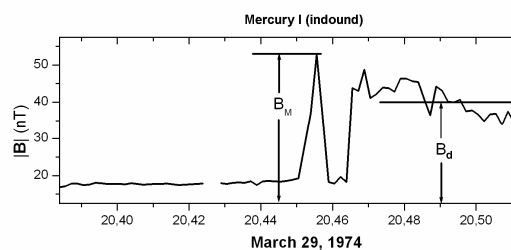


Ilustração 2.4 Indicação dos parâmetros usados na definição do *overshoot*.

CAPÍTULO 3

3.1 METODOLOGIA

Os intervalos *upstream* e *downstream* foram divididos em 10 (dez) subintervalos com a mesma duração. Nos subintervalos, foi calculada a média dos vetores do Campo Magnético Interplanetário (CMI) para, assim, obter 10 (dez) vetores médios do lado *upstream* e *downstream*. Nós combinamos o primeiro vetor CMI *upstream* com o primeiro CMI *downstream*, assim através da equação 1 e 2, nós encontramos 10 (dez) valores de θ_{Bn} e 10 (dez) vetores \vec{n}_S . O procedimento é repetido para o segundo vetor CMI *upstream* e o combinamos com todos os 10 (dez) vetores CMI *downstream*, e assim por diante. No fim do procedimento, nós teremos todos os valores possíveis de θ_{Bn} e \vec{n}_S e fazendo o produto escalar dos vetores CMI *upstream* com os CMI *downstream*, nós obtemos todos os valores possíveis de α . O ângulo α é a deflexão no campo magnético causado pela descontinuidade do choque. A Ilustração 3.1 exemplifica o procedimento usado para obter a combinação dos vetores CMI *upstream* com os CMI *downstream* e a Ilustração 3.2 mostra a rotina matemática utilizada para obter os vetores normais e os ângulos θ_{Bn} .

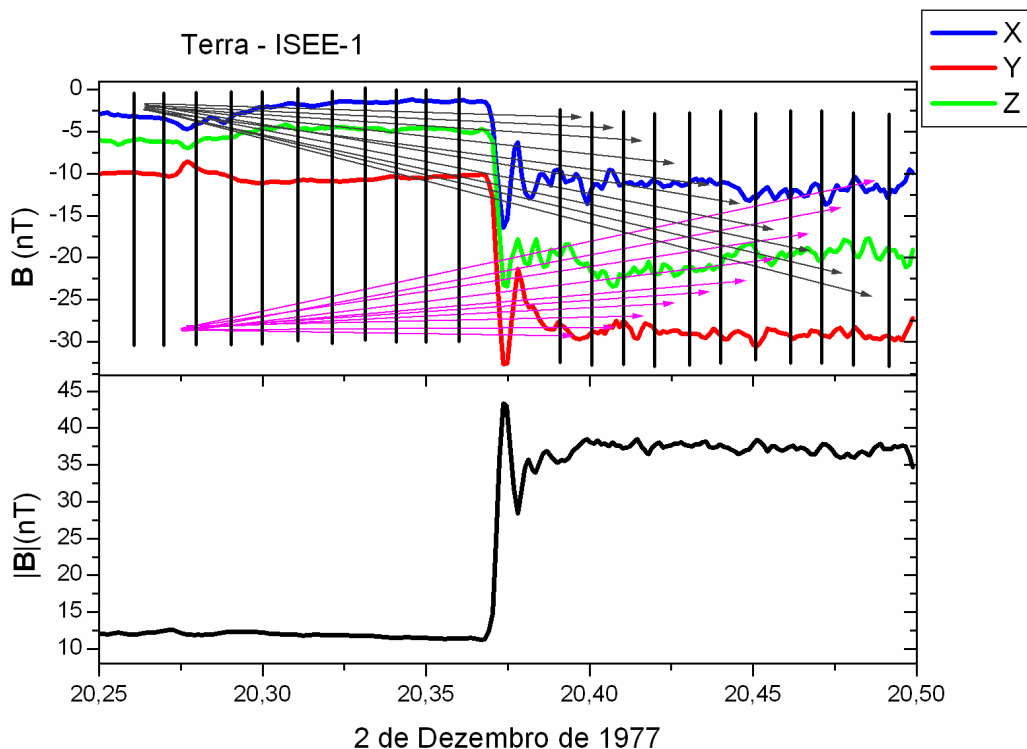


Ilustração 3.1 Ilustração da obtenção das combinações possíveis de vetores CMI *upstream* e CMI *downstream*.

```
clear all;
fprintf(' entre com vetores B1 e B2\n');

for j = 1:3 % colocar cada componente por vez do vetor b1
    fprintf('entre com elemento de B1', '%d \t', j);
    B1(j) = input('%f');
end
for j = 1:3 % colocar cada componente por vez do vetor b2
    fprintf('entre com elemento de B2', '%d \t', j);
    B2(j) = input('%f');
end
dif = B2-B1;
pvet = cross(B1,B2);
pvet2 = cross(pvet,dif);
modpvet2 = dot(pvet2,pvet2);
modpvet2 = sqrt(modpvet2);
n = pvet2/modpvet2;

aux=dot(B1,n);
aux2 = sqrt(dot(B1,B1));

alpha = acos(aux/aux2);
alpha = alpha*180/pi;
if(alpha>90)
    alpha = 180 - alpha;
end
alpha
n
```

Ilustração 3.2 Rotina usada para a obtenção dos vetores normais e dos ângulos θ_{Bn} .

3.2 SONDAS ESPACIAIS

3.2.1 MARINER-10

O objetivo preliminar da sonda *Mariner-10* era estudar a atmosfera, a superfície e as características físicas do planeta Mercúrio (Siddiqi, 2002). A *Mariner-10* foi lançada em 3 de Novembro de 1973 e passou próximo a Mercúrio em 3 ocasiões sucessivas. O Encontro I ocorreu em 29 de Março de 1974. Esta passagem foi no lado noite, com uma aproximação ao redor de 723 km da superfície. O Encontro II ocorreu em 21 de Setembro de 1974, mas passou demasiado longe do planeta (50000 km) para poder fornecer dados de campo magnético ou sobre a interação com o vento solar. O Encontro III ocorreu em 16 de Março de 1975 e esta foi à passagem mais próxima da superfície do planeta: somente 327 Km (Ness, 1978).

Instrumentação

A finalidade do magnetômetro é permitir a determinação e a remoção da contaminação do campo magnético associada à própria sonda espacial (Ness et al., 1975a, 1976). Esta experiência consistiu em dois magnetômetros do tipo triaxial *fluxgate* montados em um suporte comum, de 2,3 m e de 5,8 m da sonda espacial, e projetado para medir o vetor campo magnético na vizinhança de Mercúrio, de Vênus e no Meio Interplanetário. Os dados dos dois magnetômetros foram analisados simultaneamente para separar campos ambientais dos campos da sonda espacial (nssdc.gsfc.nasa.gov).

3.2.2 ISEE 1 e 2

As sondas espaciais ISEE 1 e 2 deslocavam-se muito próximas em uma órbita altamente elíptica a quase 23 raios da Terra. Elas atravessavam a magnetosfera inteira no lado dia das regiões equatoriais e sondavam as regiões da cauda no lado noite. Muitos satélites foram lançados para estas regiões do espaço com o propósito de estudar partículas e campos no ambiente da Terra, mas com instrumentos menos sofisticados.

Três sensores em forma de anel numa posição não ortogonal são incluídos em um mecanismo de *flip* no fim do suporte do magnetômetro a 3 m da sonda espacial ISEE 1 e a 2 m na ISEE 2. O mecanismo de *flip* é acionado aquecendo uma lâmina bimetálica que faz com que gire o sensor para outra posição. Durante *flip*, o sensor que está inicialmente anti-paralelo à linha central de rotação da posição do *flip*, é girado no plano da rotação para o sentido oposto à rotação da nave espacial. O instrumento tem duas escalas possíveis de comando, em uma escala de ± 8191 nT ± 256 nT e com uma precisão de 0,025 % (Russell, 1978).

CAPÍTULO 4

RESULTADOS

Durante o período de vigência deste Projeto de Pesquisa: Estudo Comparativo das Frentes de Choque Planetárias, foram analisados dados de campo magnético medidos por Magnetômetros a bordo de sondas espaciais. As datas dos eventos analisados pelas respectivas sondas espaciais, são apresentadas na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 Datas das Frentes de Choques analisadas.

Data	ISEE 1 e 2 TERRA	<i>Mariner 10</i> MERCÚRIO
2/12/1977	✓	-
5/12/1977	✓	-
25/07/1978	✓	-
27/08/1978	✓	-
5/09/1978	✓	-
26/03/1974 (<i>inbound</i>)	-	✓
26/03/1974 (<i>outbound</i>)	-	✓
15/03/1975 (<i>inbound</i>)	-	✓
15/03/1975 (<i>outbound</i>)	-	✓

4.1 ANÁLISE DOS EVENTOS DETECTADOS PELA SONDA ESPACIAL ISEE 1 E 2 – TERRA

4.1.1 CRUZAMENTO DA FRENTE DE CHOQUE DO DIA 2 DE DEZEMBRO DE 1977

As componentes do vetor campo magnético, antes (*upstream*) e após (*downstream*), o cruzamento da frente de choque da Terra no dia 02/12/1977, medidos pela sonda ISEE-1, são apresentados na forma de diagrama na Ilustração 4.1. Temos de cima para baixo a componente X do campo magnético (B_x), a componente Y do campo magnético (B_y), a componente Z do campo magnético (B_z) e o módulo do campo magnético (B_t).

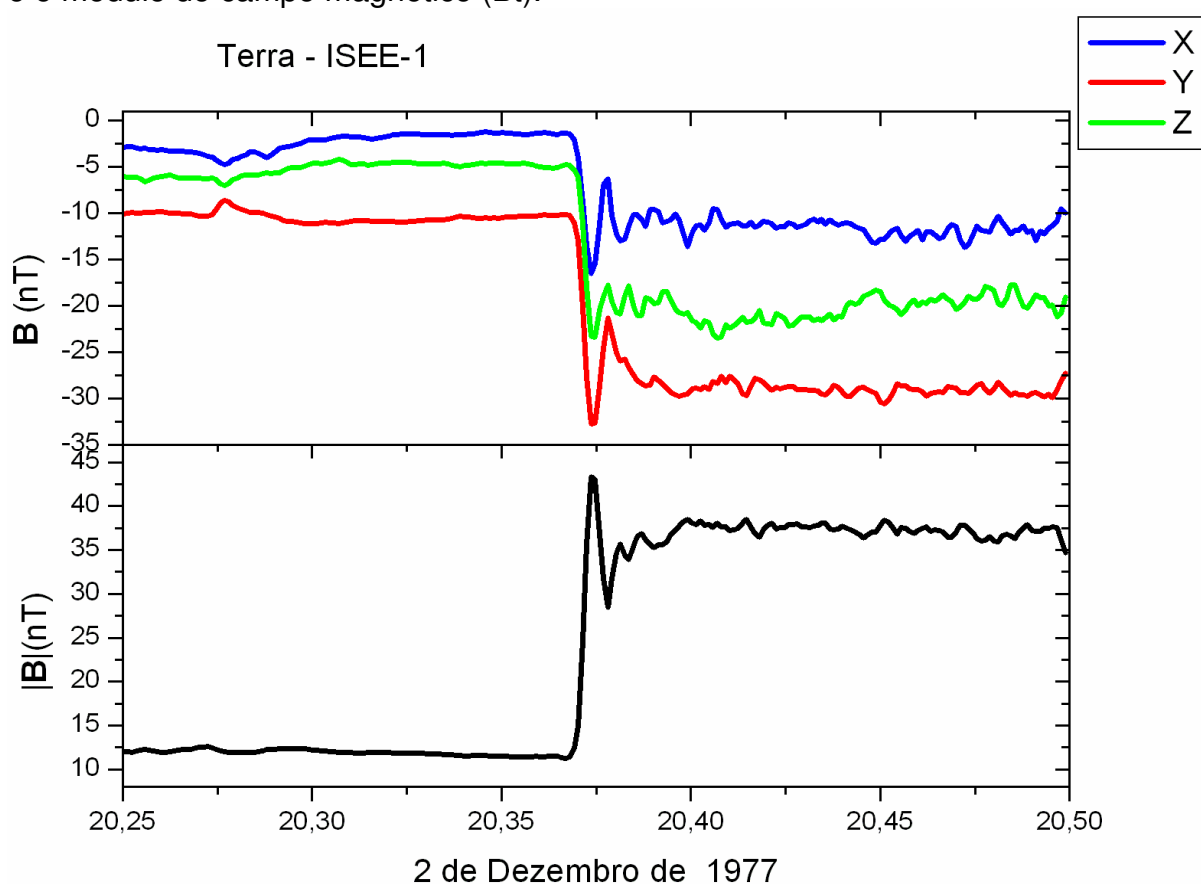


Ilustração 4.1 Variações temporais do campo magnético antes (*upstream*) e após (*downstream*) o choque.

A Ilustração 4.2 mostra o histograma da compressão magnética, do ângulo Alfa e o espalhamento dos 100 (cem) valores obtidos para o ângulo θ_{Bn} em função do ângulo alfa. O último gráfico mostra o perfil de um choque quase-perpendicular, o qual pode ser visto pelo alinhamento dos pontos.

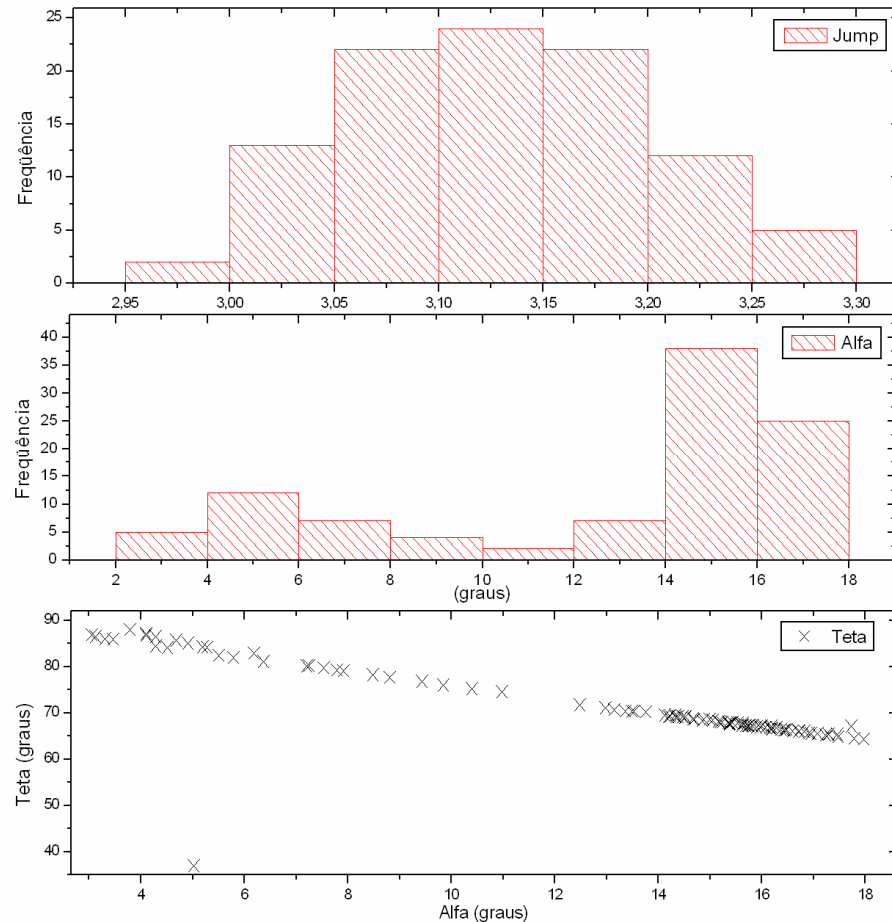


Ilustração 4.2 Histogramas das distribuições para dois parâmetros locais (*Jump*, Ângulo alfa) associado com a Distribuição dos 100 (cem) de Ângulos Teta em função dos Ângulos Alfa.

4.1.2 CRUZAMENTO DA FRENTE DE CHOQUE DO DIA 5 DE DEZEMBRO DE 1977

As componentes do vetor campo magnético, antes (*upstream*) e após (*downstream*), o cruzamento da frente de choque da Terra (ISEE-1) do dia 02/12/1977 são apresentados na forma de diagrama na Ilustração 4.3. Temos de cima para baixo a componente X do campo magnético (B_x), a componente Y do campo magnético (B_y), a componente Z do campo magnético (B_z) e o módulo do campo magnético (B_t).

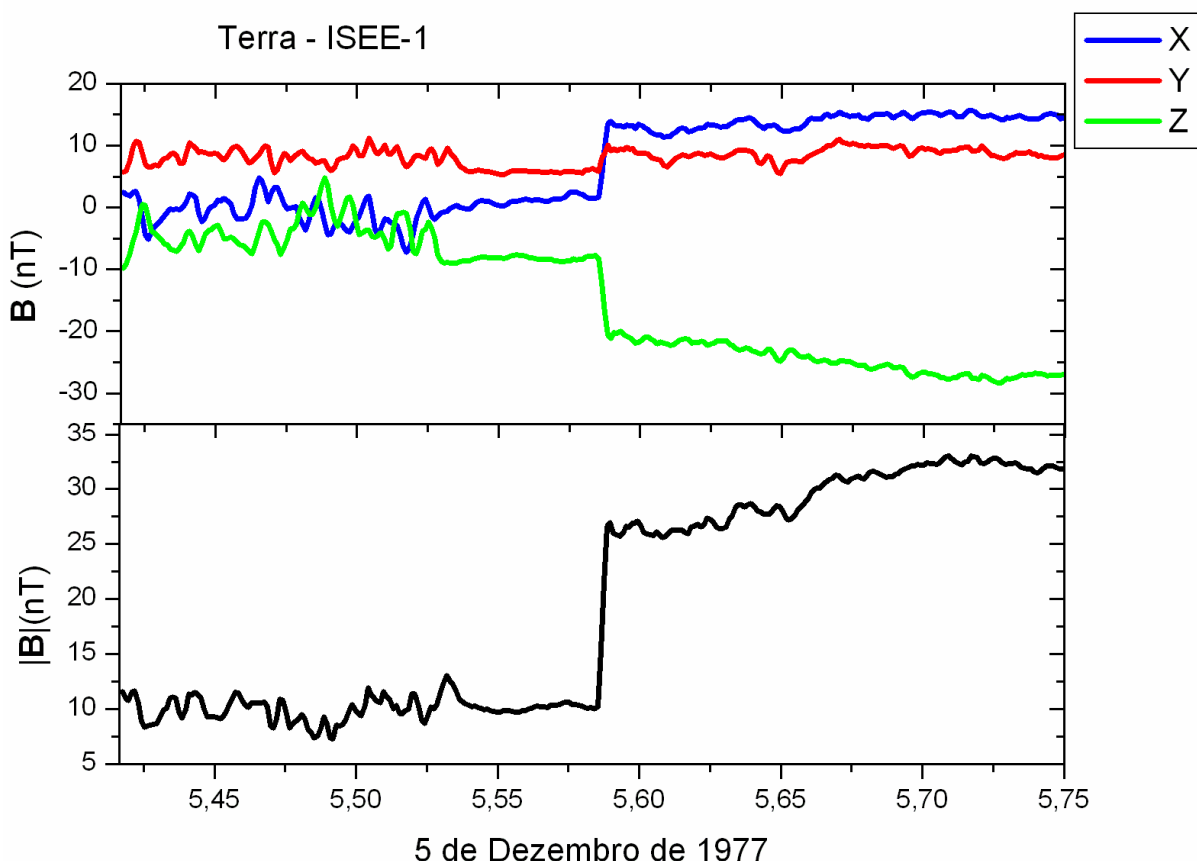


Ilustração 4.3 Variações temporais do campo magnético antes (*upstream*) e após (*downstream*) o choque.

A Ilustração 4.4 mostra o histograma da compressão magnética, do ângulo Alfa e o espalhamento dos 100 (cem) valores obtidos para o ângulo θ_{Bn} em função do ângulo alfa. O último gráfico mostra o perfil de um choque quase-paralelo (o qual poder identificado pelo espalhamento dos pontos no último gráfico), obtendo através dos cálculos um ângulo θ_{Bn} de 17° e um desvio padrão de 10° .

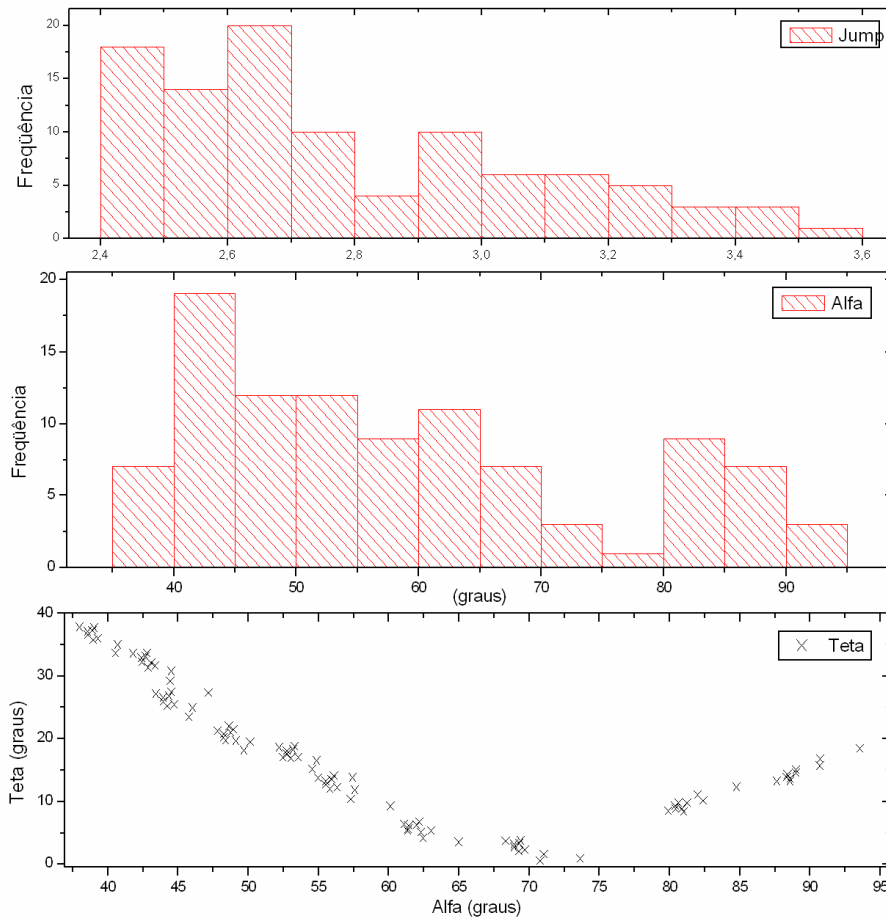


Ilustração 4.4 Histogramas das distribuições para dois parâmetros locais (*Jump*, Ângulo alfa) associado com a Distribuição dos 100 (cem) de Ângulos Teta em função dos Ângulos Alfa.

4.1.3 CRUZAMENTO DA FRENTE DE CHOQUE DO DIA 25 DE JULHO DE 1978

As componentes do vetor campo magnético, antes (*upstream*) e após (*downstream*), o cruzamento da frente de choque da Terra (ISEE-1) do dia 02/12/1977 são apresentados na forma de diagrama na Ilustração 4.5. Temos de cima para baixo a componente X do campo magnético (B_x), a componente Y do campo magnético (B_y), a componente Z do campo magnético (B_z) e o módulo do campo magnético (B_t).

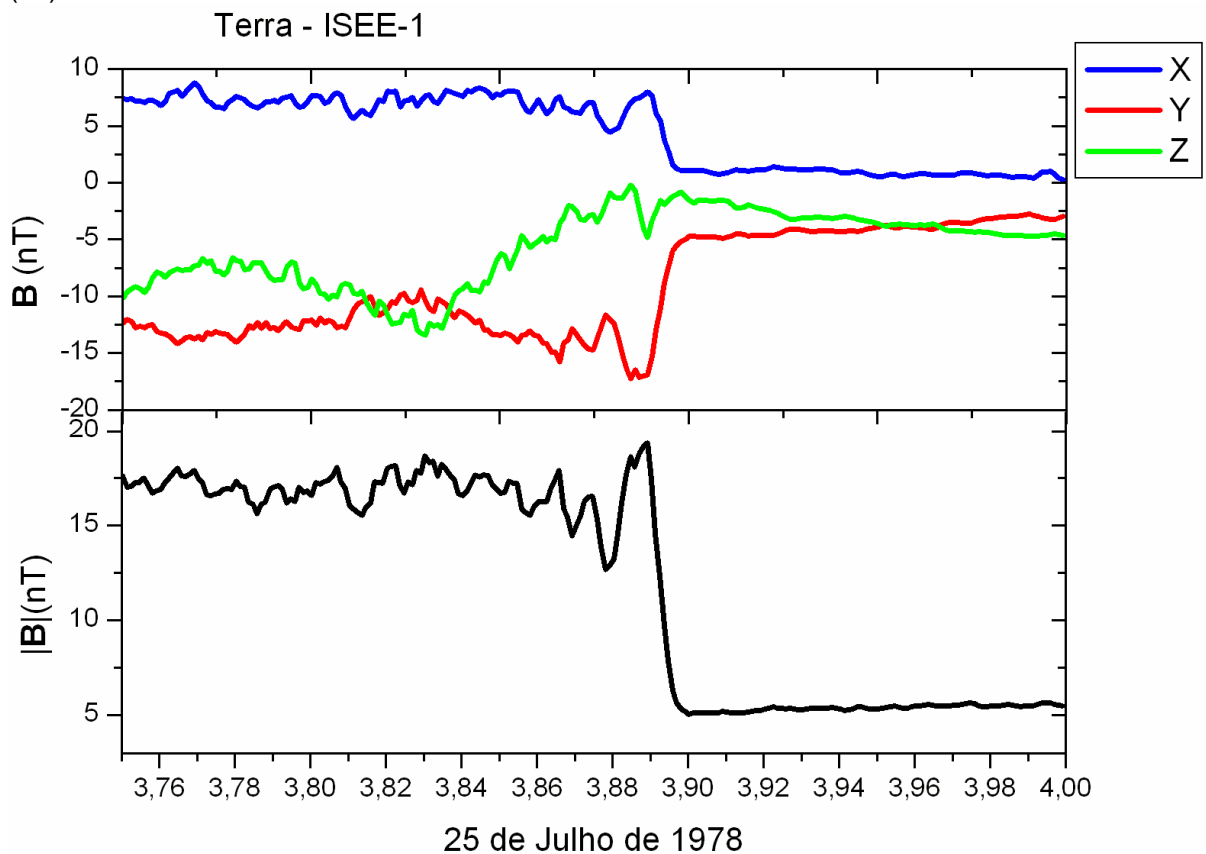


Ilustração 4.5 Variações temporais do campo magnético antes (*upstream*) e após (*downstream*) o choque.

A Ilustração 4.6 mostra o histograma da compressão magnética, do ângulo Alfa e o espalhamento dos 100 (cem) valores obtidos para o ângulo θ_{Bn} em função do ângulo alfa. O último gráfico mostra o perfil de um choque quase-perpendicular, o qual pode ser visto pelo alinhamento dos pontos.

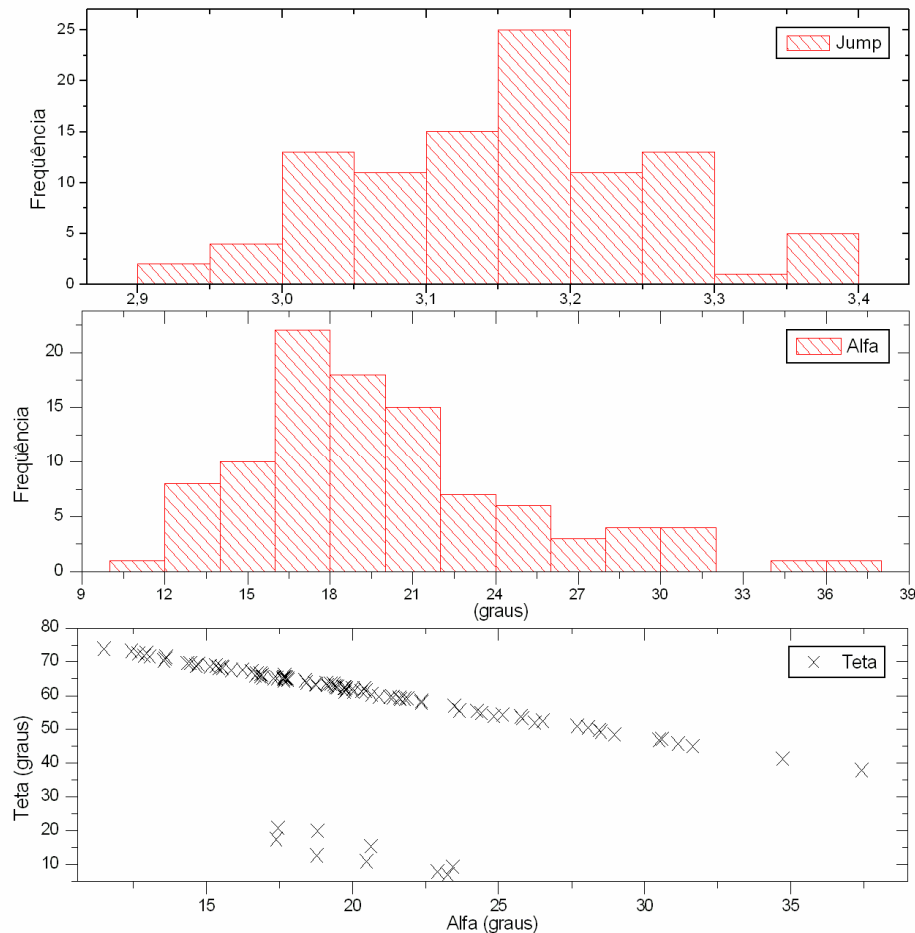


Ilustração 4.6 Histogramas das distribuições para dois parâmetros locais (*Jump*, Ângulo alfa) associado com a Distribuição dos 100 (cem) de Ângulos Teta em função dos Ângulos Alfa.

4.1.4 CRUZAMENTO DA FRENTE DE CHOQUE DO DIA 27 DE AGOSTO DE 1978

As componentes do vetor campo magnético, antes (*upstream*) e após (*downstream*), o cruzamento da frente de choque da Terra (ISEE-1) do dia 02/12/1977 são apresentados na forma de diagrama na Ilustração 4.7. Temos de cima para baixo a componente X do campo magnético (B_x), a componente Y do campo magnético (B_y), a componente Z do campo magnético (B_z) e o módulo do campo magnético (B_t).

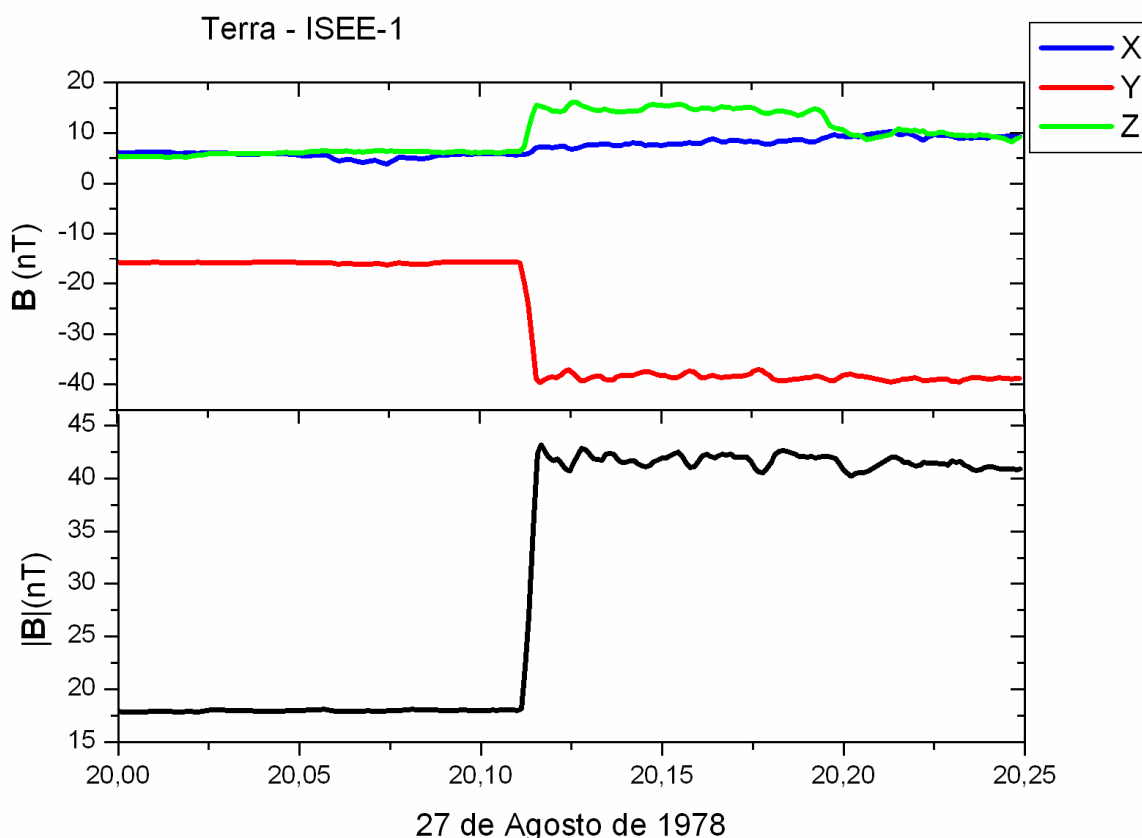


Ilustração 4.7 Variações temporais do campo magnético antes (*upstream*) e após (*downstream*) o choque.

A Ilustração 4.8 mostra o histograma da compressão magnética, do ângulo Alfa e o espalhamento dos 100 (cem) valores obtidos para o ângulo θ_{Bn} em função do ângulo alfa. O último gráfico mostra o perfil de um choque quase-perpendicular, o qual pode ser visto pelo alinhamento dos pontos.

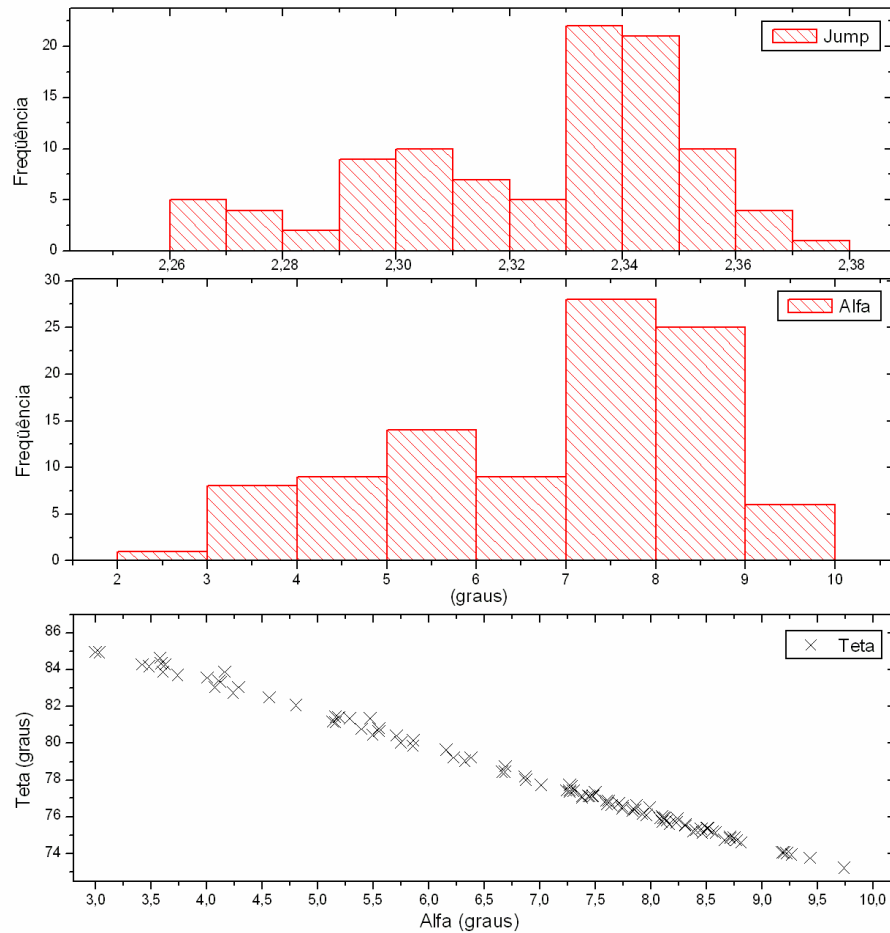


Ilustração 4.8 Histogramas das distribuições para dois parâmetros locais (*Jump*, Ângulo alfa) associado com a Distribuição dos 100 (cem) de Ângulos Teta em função dos Ângulos Alfa.

4.1.5 CRUZAMENTO DA FRENTE DE CHOQUE DO DIA 5 DE SETEMBRO DE 1978

As componentes do vetor campo magnético, antes (*upstream*) e após (*downstream*), o cruzamento da frente de choque da Terra (ISEE-1) do dia 02/12/1977 são apresentados na forma de diagrama na Ilustração 4.9. Temos de cima para baixo a componente X do campo magnético (B_x), a componente Y do campo magnético (B_y), a componente Z do campo magnético (B_z) e o módulo do campo magnético (B_t).

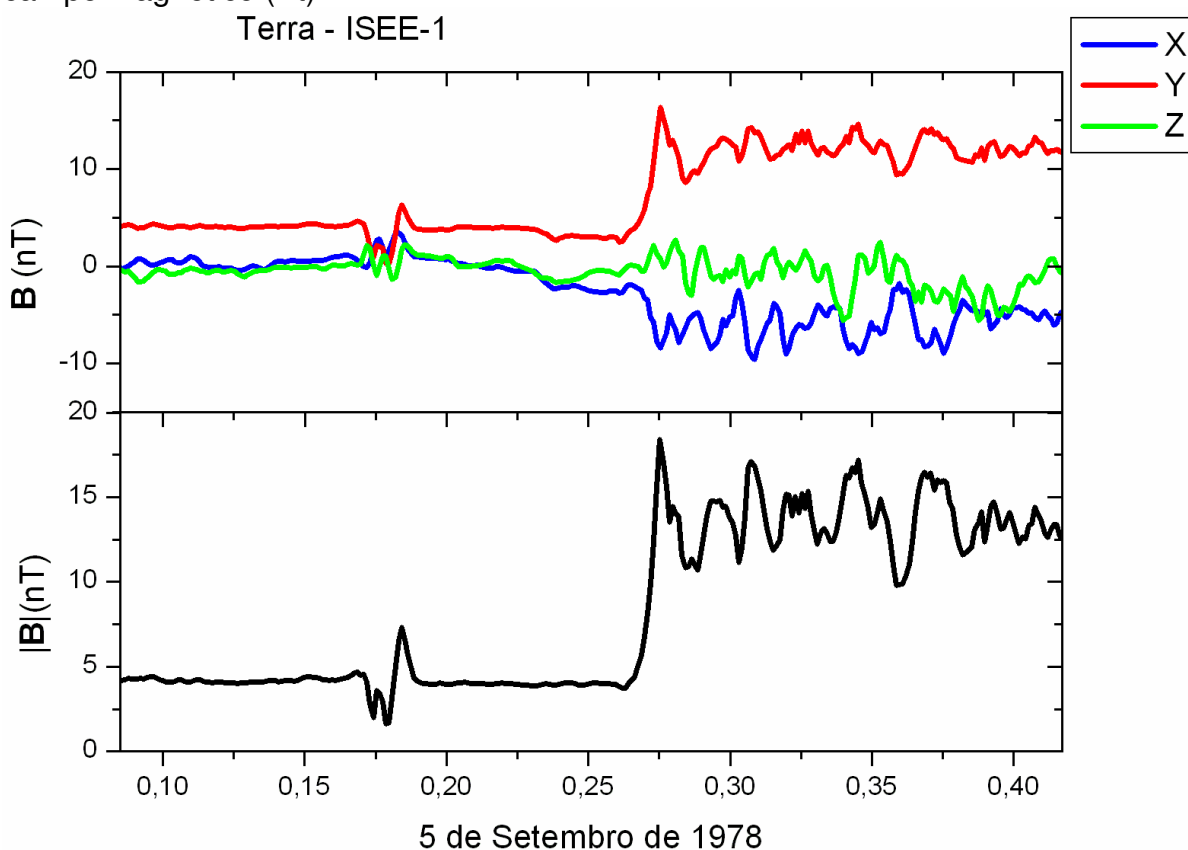


Ilustração 4.9 Variações temporais do campo magnético antes (*upstream*) e após (*downstream*) o choque.

A Ilustração 4.10 mostra o histograma da compressão magnética, do ângulo Alfa e o espalhamento dos 100 (cem) valores obtidos para o ângulo θ_{Bn} em função do ângulo alfa. O último gráfico mostra o perfil de um choque quase-perpendicular, o qual pode ser visto pelo alinhamento dos pontos. O último gráfico mostra o perfil de um choque quase-perpendicular, o qual pode ser visto pelo alinhamento dos pontos.

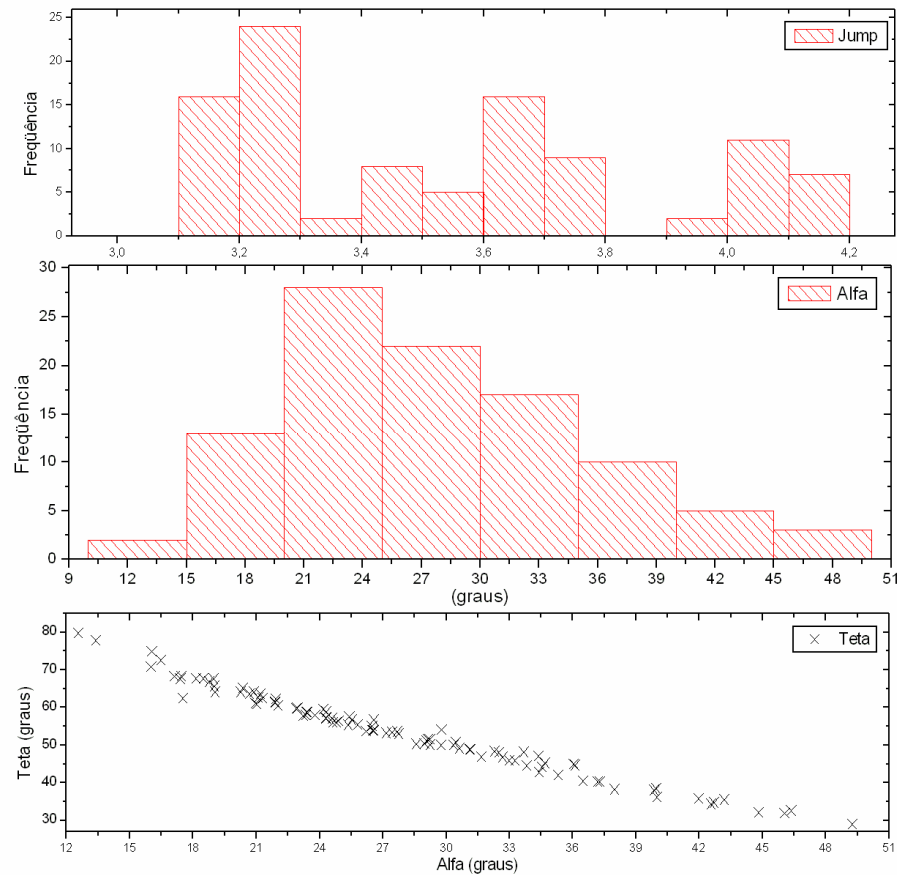


Ilustração 4.10 Histogramas das distribuições para dois parâmetros locais (*Jump*, Ângulo alfa) associado com a Distribuição dos 100 (cem) de Ângulos Teta em função dos Ângulos Alfa.

Os resultados dos gráficos anteriormente apresentados são sumarizados na Tabela 4.2.

Tabela 4.2 O ângulo (θ_{Bn}), desvio padrão (σ), ângulo (α), compressão magnética (r_B), *overshoot* (A) e as componentes do vetor normal.

ISEE 1 e 2						
Data do cruzamento	θ_{Bn}	σ	α	r_B	A	Normal (Bx.By.Bz)
2/12/1977	71,54	7,95	12,72	3,13	0,161	-0,55; 0,67; -0,5
5/12/1977	17,48	10,53	59,03	2,78	0,023	0,21; -0,96; 0,17
25/07/1978	57,27	15,68	20,09	3,15	0,132	0,75; 0,28; 0,6
27/08/1978	78,28	3,23	6,82	2,33	0,040	-0,99; -0,11; 0,05
5/09/1978	53,67	10,8	27,83	3,54	0,337	-0,77; -0,63; -0,13

4.2 ANÁLISE DOS EVENTOS DETECTADOS PELA SONDA ESPACIAL *MARINER 10*

4.2.1 CRUZAMENTO DA FRENTE DE CHOQUE DO DIA 29 DE MARÇO DE 1974 (*INBOUND*)

As componentes do vetor campo magnético, antes (*upstream*) e após (*downstream*), o cruzamento da frente de choque de Mercúrio (*Mariner-10*) do dia 29/03/1974 são apresentados na forma de diagrama na Ilustração 4.11. Temos de cima para baixo a componente X do campo magnético (B_x), a componente Y do campo magnético (B_y), a componente Z do campo magnético (B_z) e o módulo do campo magnético (B_t).

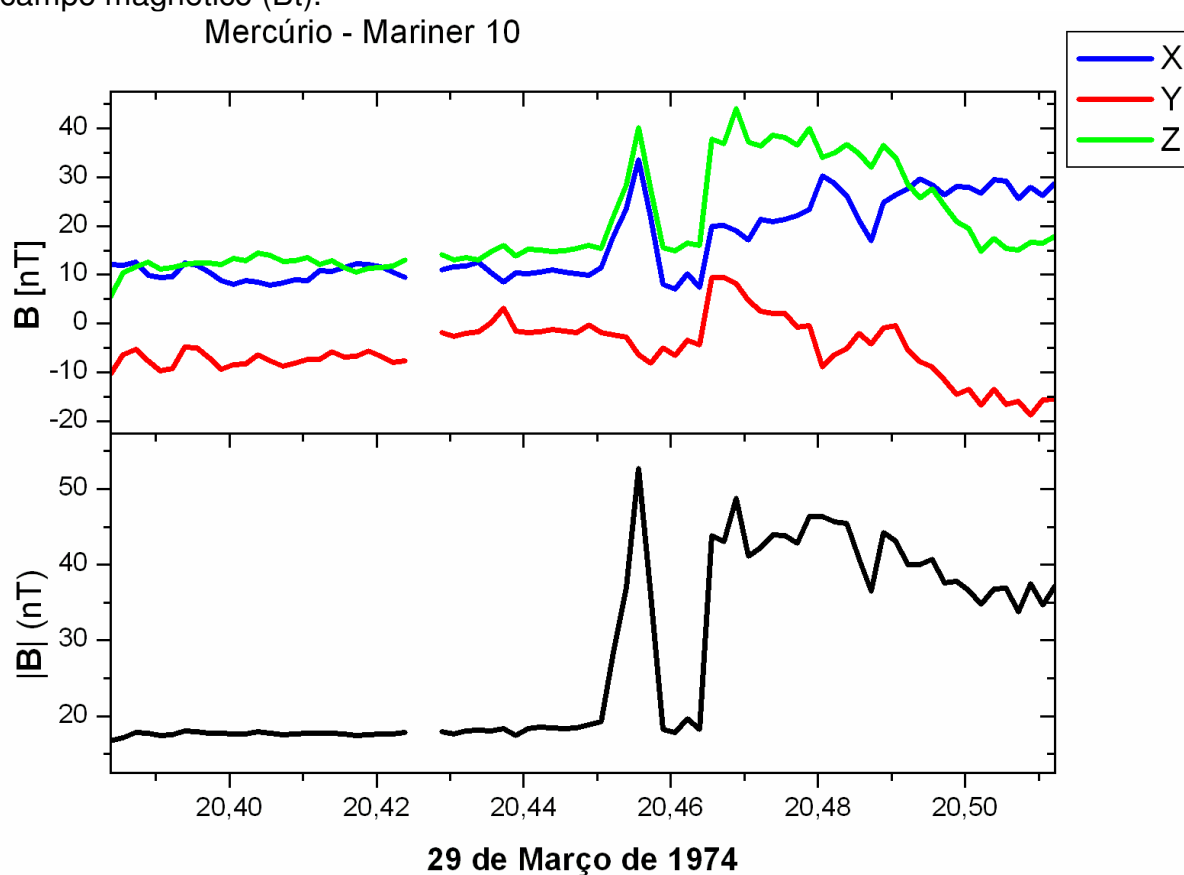


Ilustração 4.11 Variações temporais do campo magnético antes (*upstream*) e após (*downstream*) o choque.

A Ilustração 4.12 mostra o histograma da compressão magnética, do ângulo Alfa e o espalhamento dos 100 (cem) valores obtidos para o ângulo θ_{Bn} em função do ângulo alfa. O último gráfico mostra o perfil de um choque quase-perpendicular, obtendo assim um ângulo θ_{Bn} de 60° , o qual pode ser visto pelo alinhamento dos pontos.

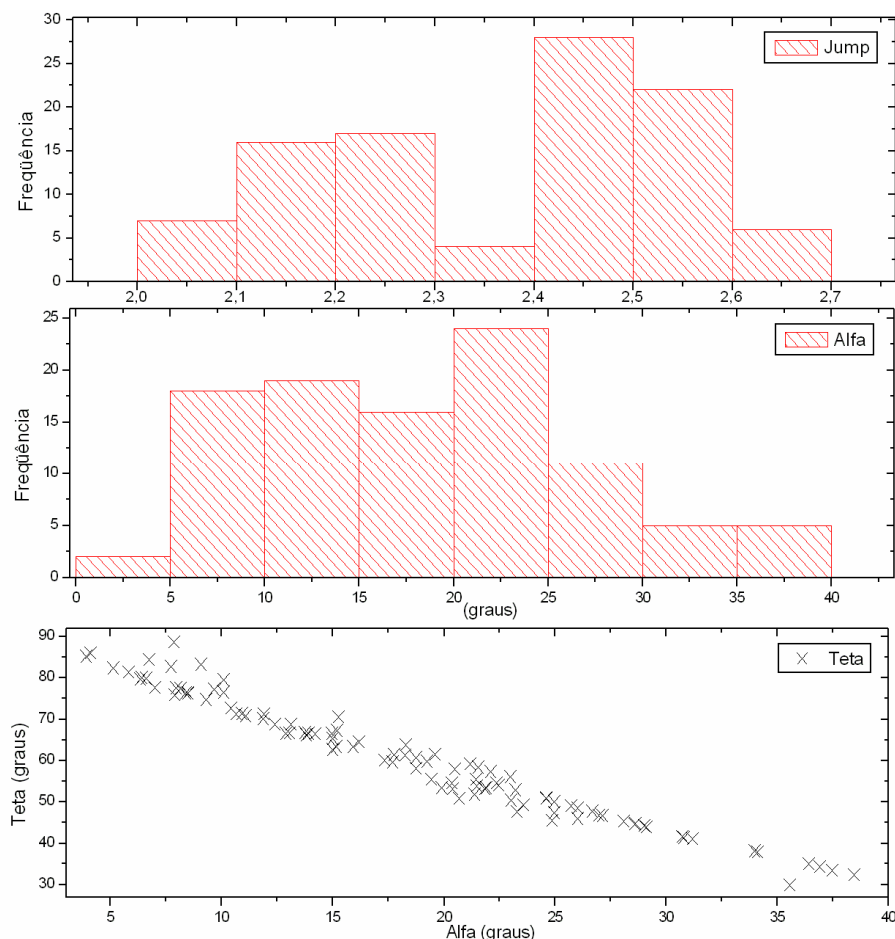


Ilustração 4.12 Histogramas das distribuições para dois parâmetros locais (*Jump*, Ângulo alfa) associado com a Distribuição dos 100 (cem) de Ângulos Teta em função dos Ângulos Alfa.

4.2.2 CRUZAMENTO DA FRENTE DE CHOQUE DO DIA 29 DE MARÇO DE 1974 (*OUTBOUND*)

As componentes do vetor campo magnético, antes (*upstream*) e após (*downstream*), o cruzamento da frente de choque de Mercúrio (*Mariner-10*) do dia 29/03/1974 são apresentados na forma de diagrama na Ilustração 4.13. Temos de cima para baixo a componente X do campo magnético (B_x), a componente Y do campo magnético (B_y), a componente Z do campo magnético (B_z) e o módulo do campo magnético (B_t).

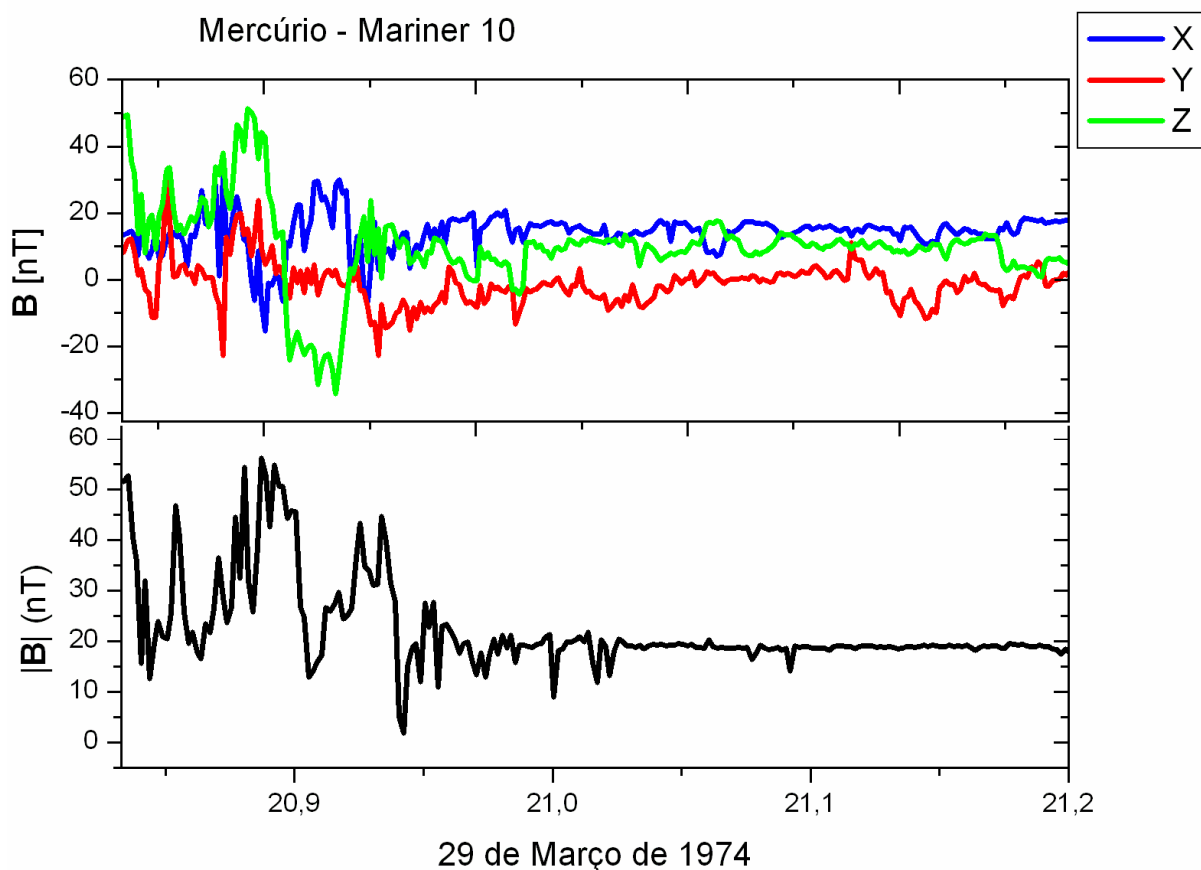


Ilustração 4.13 Variações temporais do campo magnético antes (*upstream*) e após (*downstream*) o choque.

A Ilustração 4.14 mostra o histograma da compressão magnética, do ângulo Alfa e o espalhamento dos 100 (cem) valores obtidos para o ângulo θ_{Bn} em função do ângulo alfa. O último gráfico mostra o perfil de um choque quase-paralelo, o qual pode ser visto pelo espalhamento dos pontos.

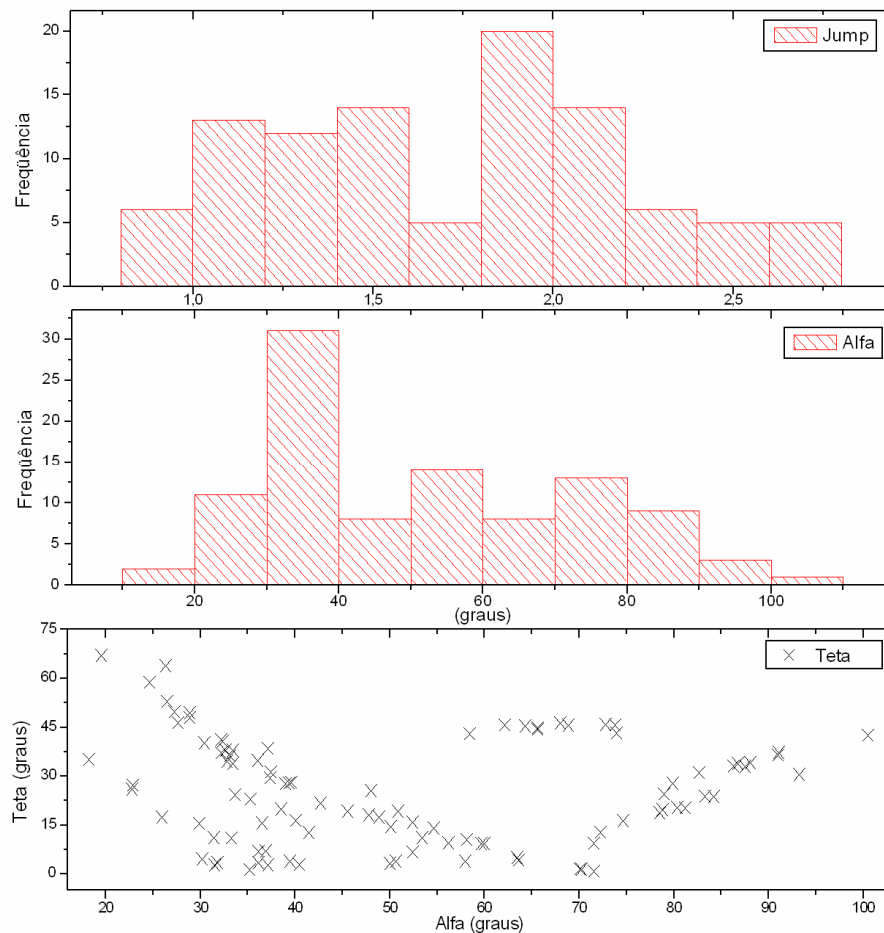


Ilustração 4.14 Histogramas das distribuições para dois parâmetros locais (*Jump*, Ângulo alfa) associado com a Distribuição dos 100 (cem) de Ângulos Teta em função dos Ângulos Alfa.

4.2.3 CRUZAMENTO DA FRENTE DE CHOQUE DO DIA 16 DE MARÇO DE 1975 (INBOUND)

As componentes do vetor campo magnético, antes (*upstream*) e após (*downstream*), o cruzamento da frente de choque de Mercúrio (*Mariner-10*) do dia 16/03/1975 são apresentados na forma de diagrama na Ilustração 4.15. Temos de cima para baixo a componente X do campo magnético (B_x), a componente Y do campo magnético (B_y), a componente Z do campo magnético (B_z) e o módulo do campo magnético (B_t).

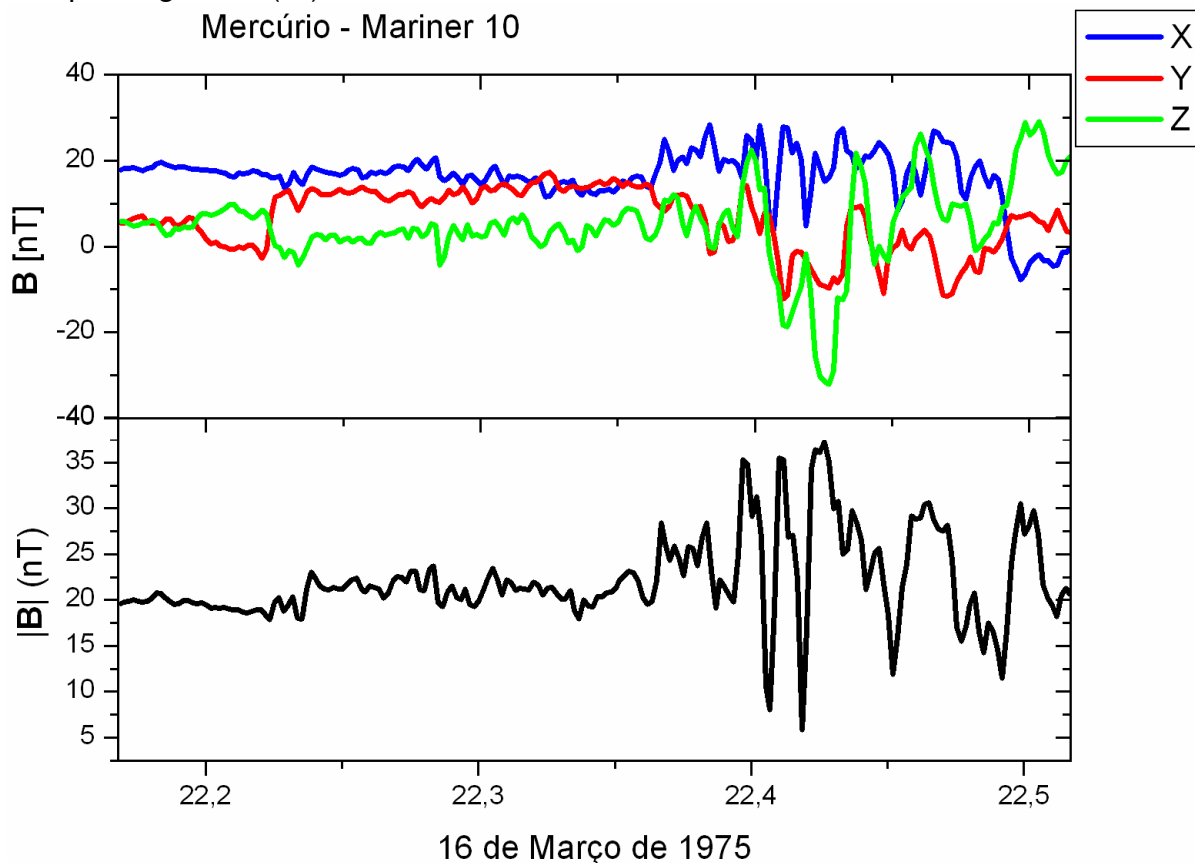


Ilustração 4.15 Variações temporais do campo magnético antes (*upstream*) e após (*downstream*) o choque.

A Ilustração 4.16 mostra o histograma da compressão magnética, do ângulo Alfa e o espalhamento dos 100 (cem) valores obtidos para o ângulo θ_{Bn} em função do ângulo alfa. O último gráfico mostra o perfil de um choque quase-paralelo, o qual pode ser visto pelo espalhamento dos pontos.

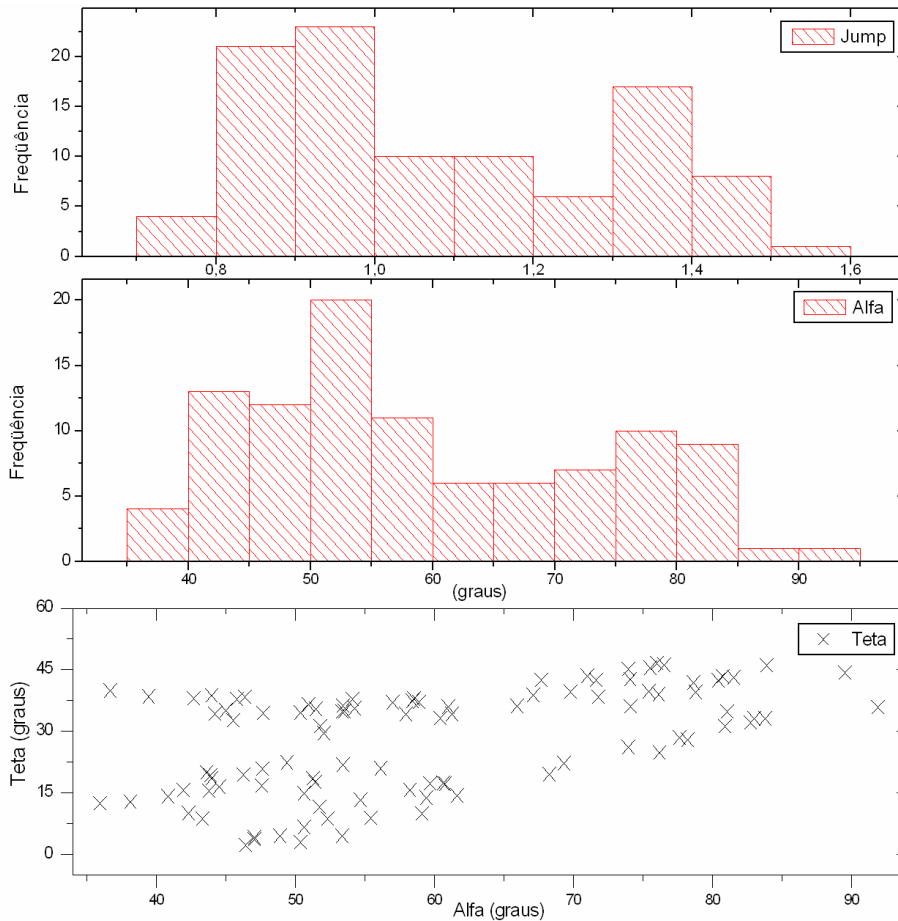


Ilustração 4.16 Histogramas das distribuições para dois parâmetros locais (*Jump*, Ângulo alfa) associado com a Distribuição dos 100 (cem) de Ângulos Teta em função dos Ângulos Alfa.

4.2.4 CRUZAMENTO DA FRENTE DE CHOQUE DO DIA 16 DE MARÇO DE 1975 (*OUTBOUND*)

As componentes do vetor campo magnético, antes (*upstream*) e após (*downstream*), o cruzamento da frente de choque de Mercúrio (*Mariner-10*) do dia 16/03/1975 são apresentados na forma de diagrama na Ilustração 4.17. Temos de cima para baixo a componente X do campo magnético (B_x), a componente Y do campo magnético (B_y), a componente Z do campo magnético (B_z) e o módulo do campo magnético (B_t).

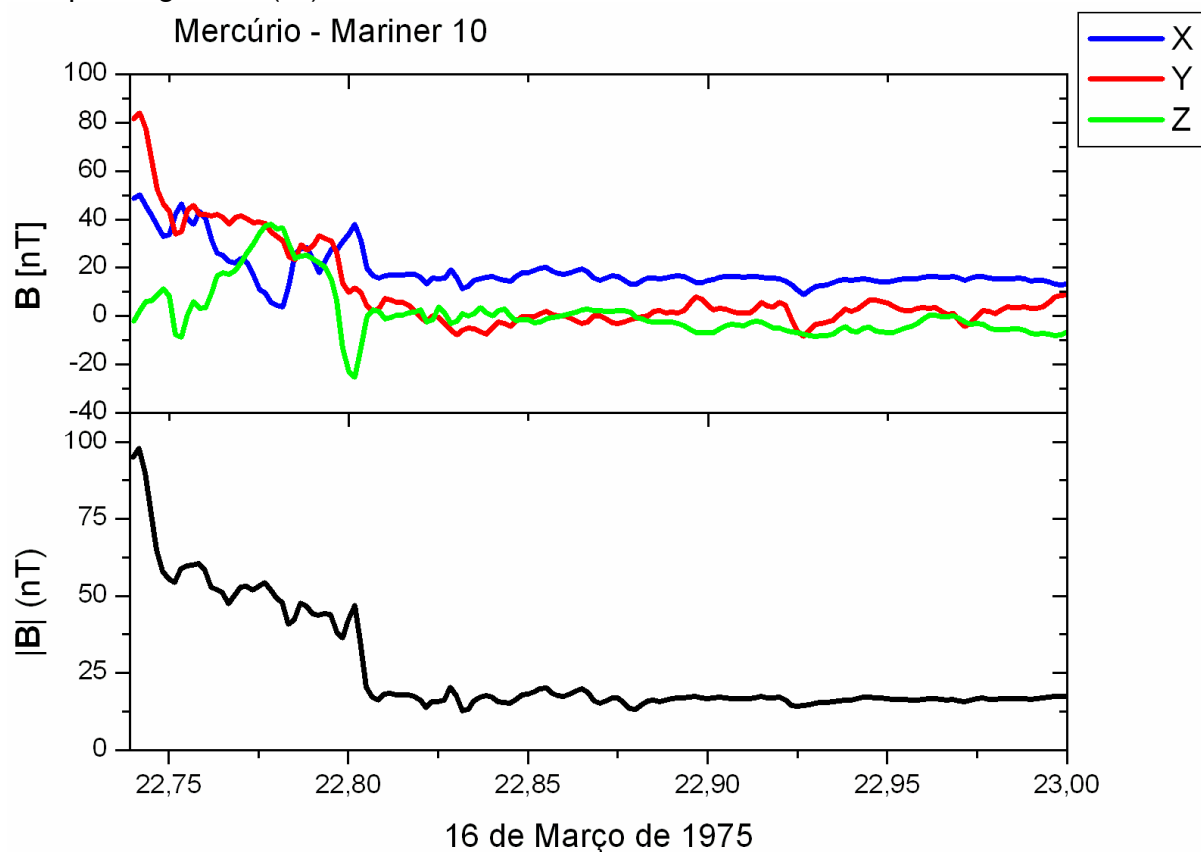


Ilustração 4.17 Variações temporais do campo magnético antes (*upstream*) e após (*downstream*) o choque.

A Ilustração 4.18 mostra o histograma da compressão magnética, do ângulo Alfa e o espalhamento dos 100 (cem) valores obtidos para o ângulo θ_{Bn} em função do ângulo alfa. O último gráfico mostra o perfil de um choque quase-perpendicular, apesar de termos encontrado o ângulo θ_{Bn} de 17° , o qual pode ser visto pelo alinhamento dos pontos.

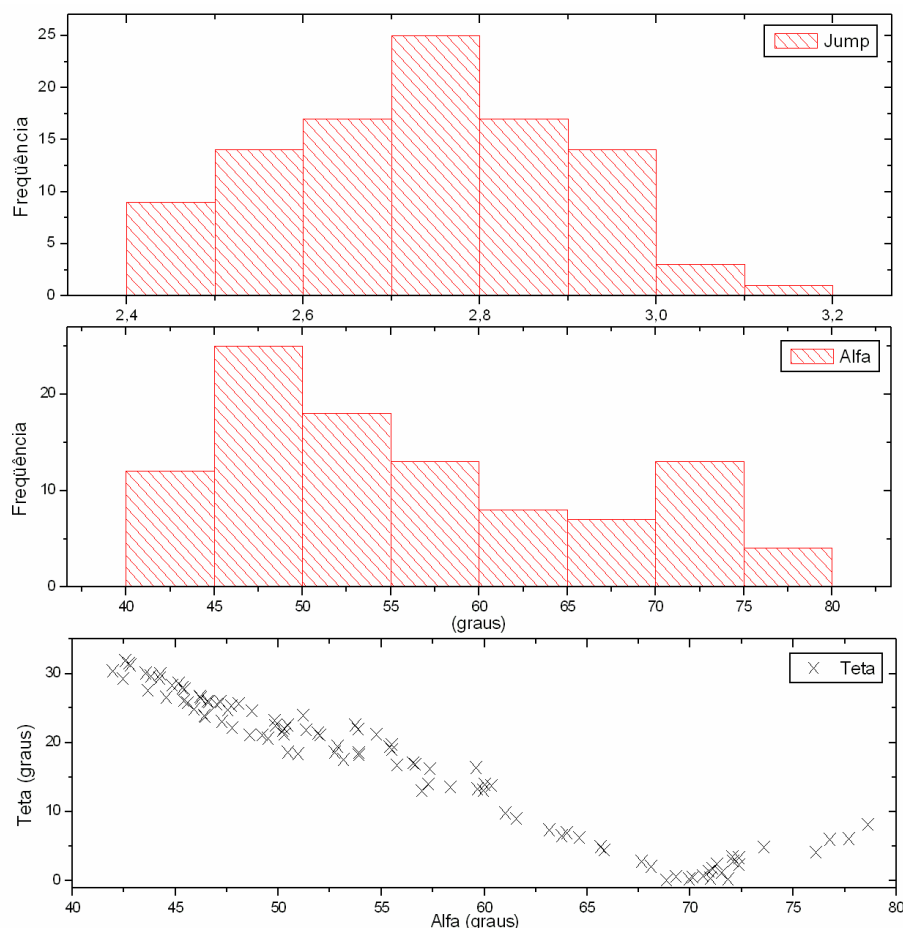


Ilustração 4.18 Histogramas das distribuições para dois parâmetros locais (*Jump*, Ângulo alfa) associado com a Distribuição dos 100 (cem) de Ângulos Teta em função dos Ângulos Alfa.

Os resultados dos gráficos anteriormente apresentados são sumarizados na Tabela 4.3.

Tabela 4.3 O ângulo (θ_{Bn}), desvio padrão (σ), ângulo (α), compressão magnética (r_B), *overshoot* (A) e as componentes do vetor normal.

Encontro I						
	θ_{Bn}	σ	α	r_B	A	Normal ($B_x.B_y.B_z$)
<i>Inbound</i>	60,4°	14,2°	19°	2,37	0,31	0,43; 0,76;-0,49
<i>Outbound</i>	25°	16,3°	52°	1,72	2,02	-0,9; 0,13;-0,42
Encontro III						
<i>Inbound</i>	28°	13°	59°	1,08	0,65	-0,46;- 0,69;-56
<i>Outbound</i>	17°	10°	56°	2,74	0,63	-0,96;- 0,13;0,25

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES

Sumário

Resultados para a Terra:

- (1) para o cruzamento do dia 2/12/1977, o choque foi quasi-perpendicular ($\theta_{Bn} = 71,54^\circ$), com uma incerteza de $7,95^\circ$ e $r_B = 3,13$;
- (2) para o cruzamento do dia 5/12/1977, o choque foi quasi-paralelo ($\theta_{Bn} = 17,5^\circ$), com uma incerteza de $10,52^\circ$ e $r_B = 2,78$;
- (3) para o cruzamento do dia 25/07/1978, o choque foi quasi-perpendicular ($\theta_{Bn} = 57,3^\circ$), com uma incerteza de $15,7^\circ$ e $r_B = 3,15$;
- (4) para o cruzamento do dia 27/08/1978, o choque foi quasi-perpendicular ($\theta_{Bn} = 78,3^\circ$), com uma incerteza de $3,23^\circ$ e $r_B = 2,33$;
- (5) para o cruzamento do dia 5/09/1978, o choque foi quasi-perpendicular ($\theta_{Bn} = 53,67^\circ$), com uma incerteza de $10,8^\circ$ e $r_B = 3,54$;

Resultados para Mercúrio:

- (1) No Encontro I, o choque *inbound* era quasi-perpendicular ($\theta_{Bn} = 60.4^\circ$), com uma incerteza de 14.2° e $r_B = 2.37$, e o choque *outbound* foi quasi-paralelo ($\theta_{Bn} = 25^\circ$) com uma incerteza de 16.3° e $r_B = 1.72$;
- (2) No Encontro III, o choque *inbound* foi quasi-paralelo ($\theta_{Bn} = 28^\circ$) e $r_B = 1.08$, com uma incerteza de 13° , e choque *outbound* foi quasi-paralelo ($\theta_{Bn} = 17^\circ$) com uma incerteza de 10° e $r_B = 2.74$.

De acordo com os resultados obtidos através do Teorema da Coplanaridade Magnética, o ângulo para o Encontro III na frente de choque *outbound* é muito baixo, ~ 17 graus. Este resultado não está em concordância com o perfil do campo magnético no choque, que mostra um salto abrupto, característico de uma frente de choque quasi-perpendicular. Outros autores, usando dados do campo magnético e de partículas, interpretaram o Encontro III como um choque quasi-perpendicular (Ness, 1979).

Assim, nossa conclusão para este caso é:

- A) A frente de choque pode ter mudado de quasi-perpendicular para quasi-paralelo;
- B) Múltiplos cruzamentos da frente de choque foram observados, conduzindo a uma mudança abrupta no sentido do Campo Magnético Interplanetário;
- C) A diferença entre os resultados pode ser causada pela contaminação nos dados de campo magnético causados pela magnetopausa e por ondas *upstream*;
- D) As variações abruptas no Campo Magnético Interplanetário podem ser causadas por choque quasi-paralelo (esta hipótese ainda não pode ser rejeitada);
- E) A técnica do Teorema da Coplanaridade Magnética não funciona bem para o Encontro III.

Não obstante, para os outros 3 encontros da frente de choque de Mercúrio e para os cruzamentos pela frente de choque da Terra, os resultados estão de acordo com o comportamento observado do campo magnético, que dá sustentação para a técnica utilizada. Assim, nós concluímos que os resultados do método do Coplanaridade Magnética devem ser usados com cuidado, observando sempre nos dados para verificar os resultados.

Finalmente, é importante enfatizar a natureza local dos parâmetros do choque observados por uma única sonda espacial. O comportamento flutuante do Campo Magnético Interplanetário, em particular em seu sentido, restringe a duração das regiões *upstream* e *downstream* relevantes aos parâmetros do choque apenas a alguns minutos antes e após o choque. Sob condições ideais (série contínua de dados de plasma do vento solar e do campo magnético e a mesma definição temporal) o uso de técnicas reiterativas envolvendo parâmetros magnéticos e de plasma (Abraham-Shrauner et al., 1972; Viñas e Scudder, 1986; Kessel e outros., 1994; Szabo, 1994) são as melhores opções para inferir as características locais do choque.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- **Abraham-Shrauner, B.**, 1972. Determination of Magnetohydrodynamic Shock Normal. J. Geophys. Res., 77, 736.
- **Burlaga, L. F.**, Interplanetary magnetohydrodynamics, Oxford University Press, pp. 70 - 74, 1995.
- **Colburn, D. and C. P. Sonett**, Discontinuities in the Solar Wind. Space Sci. Rev., 5, 439, 1966.
- **González-Esparza, J. A.; Balogh, A.** The θ_{Bn} problem: Determination of local magnetic parameters of interplanetary shocks from in situ IMF data, Geofisica Internacional, vol. 40, Num. 1, 53-63, 2001.
- **González-Esparza, J. A.**, Study of Heliospheric Shock Waves Observed by Ulysses Magnetometer In and Out of the Ecliptic Plane, Ph.D. thesis, 226 pp., Imperial College., London, January, 1994.
- **Kantrowitz, A. R. and H. E. Petschek**, MHD characteristics and shock waves, in Plasma Physics Theory and Application, ed. By W. B. Kunkel, McGraw-Hill Book Co., New York, p. 147, 1966.
- **Kessel, R., A. J. Coates, U. Motschmann and F. M. Neubauer**, Shock normal determination for multi-ion shocks. J. Geophys. Res., 99, 19359-19374, 1994.
- **Kivelson, M. G. and Russell, C. T.**, Introduction to Space Physics, Cambridge University Press, pp. 141, 142, 1995;
- **National Space Science Data Center, NASA.** Available in : <http://nssdc.gsfc.nasa.gov/database/MasterCatalog?sc=1973-085A&ex=4>.
- **Livesey, W. A., Kennel, C. F., and Russell, C. T.**, ISEE-1 and -2 observations of magnetic field strength overshoots in quasi-perpendicular bow shocks, Geophys. Res. Lett., 9, 1037-1040, 1982.
- **Ness, N. F. and Whang, Y. C.**; J. Geophys. Res. 76, 3136, 1971.
- **Ness, N. F., K. W. Behannon, R. P. Lepping, and Y. C. Whang**, Magnetic Field of Mercury, Nature, Vol. 255.197.0, pp. 204-206, 1975a.
- **N. F. Ness, K. W. Behannon, R. P. Lepping, and Y. C. Whang**, Observations of Mercury's Magnetic Field, Icarus, Vol. 28, No.4, August 1976, pp.479-488.
- **Ness, N. F.**, Mercury: magnetic field and interior; Space Science Reviews 21 (1978) 527-553.
- **Ness, N. F.**, The Magnetosphere of Mercury; Solar System Plasma Physics, vol. III, North-Holland publishing company, 1979.
- **Russell, C. T.**, The ISEE 1 and 2 fluxgate magnetometers, IEEE Trans. Geoscience Electronics, GE-16, 239-242, 1978.
- **Russell, C. T., Mellott, M. M. ; Smith, E. J.; King, J. H.**; J. Geophys. Res., 88, 4739-4748, 1983.



- **Russell, C. T.** Planetary bow shocks. Collisionless Shocks in the Heliosphere: Reviews of Current Research, Geophysical Monograph 35, 1985.
- **Russell, C. T.**, Magnetic fields of the terrestrial planets, J. Geophys. Res., 98, 18,681-18,695, 1993.
- **Russell, C. T.**, Planetary magnetospheres, Rep. Prog. Phys., 56, 687-732, 1993.
- **Russell C. T., and J. G. Luhmann**, Mercury: Magnetic field and magnetosphere, in Encyclopedia of Planetary Sciences, edited by J. H. Shirley and R. W. Fairbridge, 476-478, Chapman and Hall, New York, 1997.
- **Russell, C. T., Baker, D. N.; and Slavin, J. A.**, The magnetosphere of Mercury, in Mercury, edited by F. Vilas, C. Chapman and M. Matthews, p514-561, University of Arizona Press, Tucson, 1988.
- **Siddiqi, A. A.**, Deep Space Chronicle, Monograph in Aerospace History n° 24, NASA, 105, 2002.
- **Szabo, A.**, An improved solution to the 'Rankine-Hugoniot' problem. J. Geophys. Res., 99, 14,737-14746, 1994.
- **Tidman, D. A. and Krall, N. A.** Shock waves in collisionless plasmas, J. Wiley, New York, 1971.
- **Viñas, A. F. and J. D. Scudder**, Fast and Optimal Solution to the "Rankine-Hugoniot Problem". J. Geophys. Res., 91, 39, 1986.



ANEXOS



ANEXO 1

PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

**PROGRAMA INSTITUCIONAL DE BOLSAS DE
INICIAÇÃO CIENTÍFICA - PIBIC/CNPQ**

Nome do Orientador: Dr. Ezequiel Echer

CPF: 589.080.130-91

Nome do Co-Orientador: Dr. Nelson Jorge Schuch

CPF: 620.284.568-68

Nome do Bolsista: Samuel Martins da Silva

Título do Projeto: ESTUDO DE FRENTES DE CHOQUE PLANETÁRIAS

Palavras-chaves: ondas de choque, magnetosferas, clima espacial.

Área de conhecimento (de acordo com formulário CNPq): 1.07.02.00-8 Geofísica, 1.04.05.00-3 Astrofísica do Sistema Solar, Física dos Fluídos, Física de Plasmas e Descargas elétricas.

Objetivos Específicos:

O objetivo deste projeto é capacitar o bolsista a adquirir conhecimentos básicos referentes à formação de frentes de choque (bow shocks) planetárias no sistema solar. O bolsista deverá adquirir conhecimento básico referente à: formação de choques supersônicos em fluídos e plasmas; magnetosferas planetárias; vento solar; processo de formação de frentes de choque no sistema solar. O bolsista também deverá adquirir familiaridade com os dados de campo magnético e plasmas medidos pelas sondas interplanetárias que vem estudando a heliosfera nos últimos 40 anos.

Metodologia:

Revisão bibliográfica básica sobre formação de choques supersônicos em fluídos, em plasmas e em plasmas espaciais (sistema solar); revisão básica sobre física

Relatório Final de Atividades 2007

solar, o vento solar e as magnetosferas planetárias; entendimento dos processos físicos responsáveis pela formação e variação das frentes de choque planetárias. Estudo comparativo das frentes de choque dos planetas: não magnetizados (Vênus), fracamente magnetizados (Marte, Mercúrio), magnetizados (Terra) e magnetosferas gigantes (Júpiter, Saturno).

Aquisição de dados das sondas interplanetárias, através da internet, familiarização do mesmo e desenvolvimento de programas. Estudo do cruzamento de frentes de choque planetário (identificação nos dados). Sondas interplanetárias com dados disponíveis: *Mariner 2* (Mercúrio), *Pioneer Vênus* (Vênus), *Explorer 12*, *IMP-8*, *ISEE1 e 2*, entre outras (Terra), *Voyager 1* (Júpiter, Saturno, Urano), *Voyager 2* (Júpiter, Saturno, Urano, Netuno).

Plano de trabalho do bolsista:

O bolsista deverá iniciar uma revisão bibliográfica sobre a física de choques em fluídos plasmas e sobre os tópicos de física solar, vento solar e magnetosferas planetárias. Posteriormente um estudo mais específico sobre a formação e variações de frentes de choque planetárias.

O bolsista deverá se familiarizar com os dados de campo magnético e plasmas medidos pelas várias sondas e desenvolver programas para realizar plotagem de gráficos e análise dos mesmos.

O bolsista deverá realizar um estudo comparativo das frentes de choque planetárias, escolhendo alguns exemplos de cruzamento de frente choques medidos pelas sondas.

O bolsista e o orientador manterão contato regular por e-mail e telefone, em virtude da localização em cidades diferentes. O Dr. Nelson J. Schuch co-orientara o bolsista no CRSPE em Santa Maria, RS.

Cronograma de atividades:

- Mês 1 a Mês 3: Revisão bibliográfica básica, aquisição de dados via internet;
- Mês 4 a Mês 6 : Revisão bibliográfica específica sobre frentes de choque, desenvolvimento de programas para plotagem de gráficos;
- Mês 7 a Mês 12: Análise dos dados, estudo de casos, preparação de trabalhos e apresentação em Conferências Científicas.

Resultados esperados:

O bolsista deverá adquirir conhecimentos básicos sobre formação de choques em fluídos e plasmas, especialmente em plasmas não colisionais. Também deverá obter fundamentos sobre física solar e do vento solar e magnetosferas planetárias comparadas. Deverá obter conhecimento mais específico, a nível mais conceitual, sobre formação de frentes de choque.

Espera-se que o bolsista adquira familiaridade com os dados de sondas interplanetárias operando em várias distâncias heliocêntricas, cruzando as



magnetosferas planetárias e que aprenda a interpretar os dados de cruzamento de frentes de choque planetárias. .

Os resultados dos estudos deverão ser apresentados em Conferências Científicas. O bolsista deverá preparar um trabalho para apresentação no 11º Simpósio Quadriannual de Física Solar Terrestre SCOSTEP (Rio de Janeiro, Marco, 2006).

Referências Bibliográficas:

- Burlaga, L, Interplanetary Magnetohydrodynamics, International Series on Astronomy and Astrophysics, 1995;
- Echer, E. et al., On the preferential occurrence of interplanetary shocks in July and November, Journal of Geophysical Research, 110, A02101, 2005;
- Kivelson, M. G. and Russell, C. T., Introduction to Space Physics, Cambridge University Press, 1995;
- Parks, G., Physics of Space Plasmas, An Introduction, 2nd Edition, Westview Press, 2004;
- Russell, C. T., The dynamics of planetary magnetospheres, Planetary and Space Science, 49, 1005-1030, 2001.



ANEXO 2

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

TRABALHOS APRESENTADOS E ACEITOS

Trabalhos Apresentados na 58ª Reunião Sênior da SBPC de 16 a 21 de Julho em Florianópolis, Brasil.

1 **SILVA, S. M. DA**; ECHER, E.; BRAGA, C. R.; SILVA, C. W. S. DA; SAVIAN, J. F.; SCHUCH, N. J.; *CALCULO DO VETOR NORMAL ÀS FRENTES DE CHOQUE DOS PLANETAS TERRESTRES PELO MÉTODO DA COPLANARIDADE MAGNÉTICA*;

2 BRAGA, C. R.; DAL LAGO, A.; SILVA, M. R. DA; SAVIAN, J. F.; **SILVA, S. M. DA**; SCHUCH, N. J.; *DETECTOR DE RAIOS CÔSMICOS DE ALTA-ENERGIA MUONS DO OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL: AMPLIAÇÃO*;

Trabalhos Apresentados na Primer Encuentro de la Red de Investigadores Argentinos em Ciências de la Heliófera de 25 a 29 de Setembro de 2006 em Buenos Aires, Argentina.

3 **SILVA, S. M. DA**; ECHER, E.; SAVIAN, J. F.; BRAGA, C. R.; DOS SANTOS, L. C. N.; SCHUCH, N. J.; *A COMPARATIVE STUDY BETWEEN THE EARTH AND VENUS MAGNETOSPHERES*

4 DOS SANTOS, L. C. N.; SAVIAN, J. F.; SILVA, M. R. DA; DAL LAGO, A.; BRAGA, C. R.; **SILVA, S. M. DA**; SCHUCH, N. J.; *STUDY OF INTERPLANETARY STRUCTURES USING COSMIC RAY AND SATELLITE OBSERVATIONS*

5 SAVIAN, J. F.; SILVA, M. R. DA; DAL LAGO, A.; BRAGA, C. R.; DOS SANTOS, L. C. N.; **SILVA, S. M. DA**; ECHER, E.; VIEIRA, L. E. A.; MUNAKATA, K.; KUWABARA, T.; SCHUCH, N. J.; *SOLAR, INTERPLANETARY AND COSMIC RAY EFFECTS NEAR THE EARTH MAGNETOPHERE*

6 Braga, C. R.; Savian, J. F.; Silva, M. R. Da; Dal Lago, A.; Dos Santos, L. C. N.; Silva, S. M. Da; Echer, E.; Vieira, L. E. A.; Munakata, K.; Kuwabara, T.; Schuch, N. J.; *SPACE WEATHER AND THE HIGH ENERGY MULTIDIRECTIONAL COSMIC RAY (MUON) TELESCOPE AT THE BRAZILIAN SOUTHERN SPACE OBSERVATORY: TECHNICAL AND SCIENTIFIC ASPECTS*

Trabalhos Apresentados na European Geosciences Union General Assembly em Viena, Áustria, 2006.

7 SAVIAN, J. F.; SILVA, M. R. DA; DAL LAGO, A.; BRAGA, C. R.; DOS SANTOS, L. C. N.; SILVA, C. W. S. DA; **SILVA, S. M. DA**; ANDRIOLI, V. F.; MUNAKATA, K.; SCHUCH, N. J.; *PRELIMINARY DATA OF NEW MUON DETECTOR LOCATED IN SOUTHERN SPACE OBSERVATORY AT SÃO MARTINHO SERRA, RS, BRASIL.*

Trabalhos Apresentados no Simpósio Brasileiro de Geofísica Espacial e Aeronomia de 23 a 26 de Outubro de 2006 em São Jose dos Campos, São Paulo, Brasil.

8 **SILVA, S. M. DA**; ECHER, E.; SAVIAN, J. F.; BRAGA, C. R.; SANTOS, L. C. N.; SCHUCH, N. J.; *ESTUDO COMPARATIVO SOBRE AS MAGNETOSFERAS DOS PLANETAS TERRESTRES*

9 SAVIAN, J. F.; BRAGA, C. R.; **SILVA, S. M. DA**; DAL LAGO, A.; SILVA, M. R. DA; ECHER, E.; GUARNIERI, F. L.; VIEIRA, L. E. A.; MUNAKATA, K.; KUWABARA, T.; SCHUCH, N. J.; *CORONAL MASS EJECTION SPEED MEASUREMENT: EFFECTS NEAR THE EARTH AND COSMIC RAY VARIATIONS*

10 DOS SANTOS, L. C. N.; BRAGA, C. R.; SILVA, M. R. DA; DAL LAGO, A.; SAVIAN, J. F.; **SILVA, S. M. DA**; SCHUCH, N. J.; *ESTUDO DE IDENTIFICAÇÃO DE ESTRUTURAS INTERPLANETÁRIAS*

11 BRAGA, C. R.; SILVA, M. R. DA; DAL LAGO, A.; SAVIAN, J. F.; **SILVA, S. M. DA**; DOS SANTOS, L. C. N.; ECHER, E.; SCHUCH, N. J.; *ESTIMATIVA DO NÍVEL DE RUÍDO NO TELESCÓPIO DETECTOR DE RAIOS CÔSMICOS DE ALTA ENERGIA MUONS DO OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL*

Trabalhos Apresentados no 36th COSPAR Scientific Assembly em Beijing, 2006.

12 SAVIAN, J. F.; SILVA, M. R. DA; DAL LAGO, A.; BRAGA, C. R.; SILVA, C. W. S. DA; DOS SANTOS, L. C. N.; **SILVA, S. M. DA**; ECHER, E.; VIEIRA, L. E. A.; MUNAKATA, K.; KUWABARA, T.; SCHUCH, N. J.; *ANALYSIS OF THE THREE INTENSE GEOMAGNETIC STORM OBSERVED ON JULY 0-, 00: SOLAR, INTERPLANETARY AND COSMIC RAY EFFECTS NEAR THE EARTH.*

13 BRAGA, C. R.; SAVIAN, J. F.; SILVA, M. R. DA; **SILVA, S. M. DA**; SILVA, C. W. S. DA; DOS SANTOS, L. C. N.; DAL LAGO, A.; KUWABARA, T.; MUNAKATA, K.; J. BIEBER, W.; SCHUCH, N. J.; *COSMIC RAY MODULATION AND NOISE LEVEL ON THE EXTENDED MULTIDIRECTIONAL MUONS DETECTOR TELESCOPE INSTALLED IN SOUTH OF BRAZIL: PRELIMINARY ANALYSIS*

Trabalhos Apresentados na XXI Jornada Acadêmica Integrada da UFSM, de 28 a 30 de Novembro de 2006 em Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil.

14 **SILVA, S. M. DA**; BRAGA, C. R.; SAVIAN, J. F.; ECHER, E.; SCHUCH, N. J.; *ANÁLISE DAS FRENTES DE CHOQUE DOS PLANETAS TERRESTRES*

15 SAVIAN, J. F.; DAL LAGO, A.; SILVA, M. R. DA; BRAGA, C. R.; **SILVA, S. M. DA**; DOS SANTOS, L. C. N.; SCHUCH, N. J.; *DISTÚRBIOS SOLARES, INTERPLANETÁRIOS E EM RAIOS CÔSMICOS PRÓXIMO A MAGNETOSFERA TERRESTRE E SEUS EFEITOS NO ESTUDO DO CLIMA ESPACIAL.*

16 DOS SANTOS, L. C. N.; SAVIAN, J. F.; **SILVA, S. M. DA**; BRAGA, C. R.; DAL LAGO, A.; SCHUCH, N. J.; *IDENTIFICAÇÃO DAS ORIGENS SOLARES E ANÁLISE DOS PARAMETROS DO PLASMA DA EJEÇÃO CORONAL DE MASSA QUE OCASIONOU UMA TEMPESTADE GEOMAGNÉTICA NO PERÍODO DE 17 A 24 DE OUTUBRO DE 1999*

CÁLCULO DO VETOR NORMAL ÀS FRENTES DE CHOQUE DOS PLANETAS TERRESTRES PELO MÉTODO DA COPLANARIDADE MAGNÉTICA

Samuel Martins da Silva	(1,3)	samuel@lacesm.ufsm.br
Ezequiel Echer	(2)	
Carlos Roberto Braga	(1,3)	
Cristian Willian Saueressig da Silva	(1,3)	
Jairo Francisco Savian	(1,3)	
Nelson Jorge Schuch	(3)	

- (1) Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria (LACESM/UFSM);
(2) Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE – MCT);
(3) Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais (CRSPE/INPE – MCT).

INTRODUÇÃO

Nós apresentamos neste trabalho um estudo sobre as propriedades físicas das frentes de choques planetárias dos planetas terrestres (Mercúrio, Vênus, Terra e Marte) e apresentamos o cálculo dos vetores normais às frentes de choque pelo teorema da coplanaridade magnética. Este método nos permite determinar o ângulo entre as normais à superfície dos choques e o campo magnético interplanetário ambiente. O teorema da coplanaridade diz que o campo magnético pré-choque, \mathbf{B}_u , o campo magnético pós-choque, \mathbf{B}_d , e a normal de choque, \mathbf{n}_s , devem estar todos no mesmo plano. O ângulo entre o campo magnético pré-choque e a normal do choque é um dos mais importantes parâmetros na determinação dos processos físicos que ocorrem nos choques. Escolhemos este método por exigir somente as medidas de campo magnético antes e depois do choque. As flutuações no campo magnético através do choque dependem do ângulo. O campo magnético interplanetário na região anterior e posterior ao choque nunca é uniforme. Por todas essas razões, o ângulo é um importante parâmetro. Implicitamente, uma quantidade fundamental no estudo quantitativo dos choques é a normal. Usando o ângulo, nós definimos os choques como paralelos, oblíquos ou perpendiculares. A orientação da normal ao choque em relação ao campo magnético ambiente tem grande importância na geração de ondas de plasma na região anterior ao choque.

METODOLOGIA

Para inferirmos os parâmetros locais dos choques, é necessário definir as regiões pré-choque e pós-choque, utilizando dados de campo magnético medidos por sensores a bordo de sondas espaciais. Utilizamos os dados de campo magnéticos fornecidos pelas sondas *Mariner* 10 (Mercúrio) e ISEE-1 (Terra) disponíveis na internet. Para calcular a normal do choque, temos que utilizar como valor pré-choque, o background ligeiramente afastado da frente de choque, para evitar efeitos da região do “pé” do choque, onde perturbações magnéticas devido a íons refletidos ocorrem. E para o lado pós-choque, temos que utilizar os valores longe da grande oscilação vista após o choque, a sobre-oscilação. Em média, o afastamento é de 5

minutos em cada lado. Em seguida, com a média do campo magnético dentro de um período de 15 minutos tanto do lado pré-choque como do pós-choque é, então, realizado o cálculo da normal de choque. Apresentaremos alguns exemplos de cruzamentos de frentes de choque.

RESULTADOS

No evento detectado pela ISEE-1 ao investigar a magnetosfera terrestre em 2 Dezembro de 1977, obtivemos um ângulo de $67,34^\circ$ e $\mathbf{n}=(-0,54; 0,71; -0,44)$ e em 25 de Julho de 1978, um ângulo de $69,04^\circ$ e $\mathbf{n}=(0,84; 0,51; 0,14)$. Na passagem da *Mariner 10* por Mercúrio em 26 de Março de 1974, obtivemos um ângulo de $62,62^\circ$ e $\mathbf{n}=(0,72; 0,57; 0,37)$ e em 15 de Março de 1975, um ângulo $50,64^\circ$ e $\mathbf{n}=(-0,90; 0,42; 0,04)$. Estes dados indicam que os choques naqueles casos eram do tipo oblíquo ou quase-perpendicular.

CONCLUSÃO

Os choques observados são oblíquos ou quase-perpendiculares, significando que o ângulo entre o campo magnético pré-choque e a normal não é nem próximo de 90° nem de 0° . O comportamento flutuante do campo magnético interplanetário e as perturbações atribuídas a processos internos dos choques produzem uma incerteza na estimativa dos parâmetros. Isto restringe a duração das regiões pré-choque e pós-choque relevantes para poucos minutos antes e depois do choque.

Fomento: PIBIC/CNPq.

Trabalho de Iniciação Científica.

Palavra-chave: interações Terra-Sol, frentes de choque, normal de choque.

DETECTOR DE RAIOS CÓSMICOS DE ALTA-ENERGIA (MUONS) DO OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL: AMPLIAÇÃO

Carlos Roberto Braga 1, 2 (carlos@lacesm.ufsm.br)

Alisson Dal Lago 3

Marlos Rockembach da Silva 3

Jairo Franscisco Savian 1, 2

Samuel Martins da Silva 1, 2

Nelson Jorge Schuch 1, 2

1. Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais (CRSPE/INPE – MCT)

2. Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria (LACESM/CT – UFSM)

3. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (DGE/CEA/INPE – MCT)

INTRODUÇÃO:

Estruturas ejetadas pelo Sol viajam através do meio interplanetário podendo atingir a magnetosfera da Terra e causar tempestades geomagnéticas. Estas estruturas agem como escudo blindando parte dos raios cósmicos de alta energia observados na superfície terrestre. Este efeito de blindagem é utilizado para previsão da chegada destas estruturas à Terra. Para permitir observações dos raios cósmicos cobrindo todo o globo terrestre foi criada uma rede internacional com detectores de muons em Nagoya (Japão), Hobart (Austrália) e em São Martinho da Serra – RS, no Observatório Espacial do Sul (OES/CRSPE/INPE – MCT). O objetivo deste estudo é mostrar as diferenças entre o telescópio de São Martinho da Serra antes e após a sua ampliação.

METODOLOGIA:

O telescópio protótipo de São Martinho da Serra operou desde 2001 até maio de 2005, com 8 detectores dispostos em duas camadas de 2x2 detectores. Após a ampliação, realizada em dezembro de 2005, o telescópio passou a ter 56 detectores, dispostos em duas camadas de 4x7 detectores. O telescópio protótipo gerava dados com resolução de contagens por hora, já o telescópio expandido, a resolução é de contagens por minuto. As contagens são realizadas em várias direções, constituindo os componentes direcionais.

RESULTADOS:

A área de observação sofreu um aumento de 600% e o erro na contagem de muons no componente direcional vertical passou de 0,16% para 0,06% para uma contagem horária. O número de componentes direcionais passou de 9 para 13.

CONCLUSÕES:

A ampliação permitiu redução do erro percentual nas contagens horárias. Com o acréscimo no número de direções de visão obteve-se uma melhor cobertura da superfície terrestre, as áreas antes não cobertas pelo protótipo agora possuem uma cobertura satisfatória.

Instituição de fomento: Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico

Trabalho de Iniciação Científica

Palavras-chave: Clima Espacial; detectores de raios cósmicos de alta energia (muons); tempestades geomagnéticas.



SPACE WEATHER AND THE HIGH ENERGY MULTIDIRECTIONAL COSMIC RAY (MUON) TELESCOPE AT THE BRAZILIAN SOUTHERN SPACE OBSERVATORY: TECHNICAL AND SCIENTIFIC ASPECTS

Braga, Carlos R. (1); Savian, Jairo F. (1); Da Silva, Marlos R. (2); Dal Lago, Alisson (2); Dos Santos, Luiz C. N. (1); Da Silva, Samuel M. (1); Echer, Ezequiel (2); Vieira, Luis. E. A. (2); Munakata, Kazuoki (3); Kuwabara, Takao (4) and Schuch, Nelson J (1)

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

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

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

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

carlos@lacesm.ufsm.br / fax: +55 55 3220-8007

ABSTRACT

The solar variability is closely correlated with disturbances in the interplanetary space near the Earth that may cause damage to technological systems. Structures ejected from the Sun can modulate high-energy cosmic ray that reach the Earth's Atmosphere. Ground based high-energy cosmic ray (muons) detectors can detect this modulation effect and can be used to observe it around 8 hours prior the disturbance arrival in the Earth's magnetosphere. A high-energy multidirectional muon telescope was installed in the Southern Space Observatory (SSO/CRSPE/INPE - MCT) to help with the forecasting of geomagnetic storms. The objective of this work is to show the scientific and technical aspects for the muons' observation. To identify and study interplanetary geoeffective structures we used plasma and magnetic field data from ACE spacecraft. We used the Dst index to identify geomagnetic storms.



A COMPARATIVE STUDY BETWEEN THE EARTH AND VENUS MAGNETOSPHERES

Samuel M. da Silva^(1,2), Ezequiel Echer⁽³⁾, Jairo F. Savian^(1,2), Carlos R. Braga^(1,2),
Luiz C. N. dos Santos^(1,2), Nelson J. Schuch^(1,2).

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

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

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

The knowledge about planetary magnetosphere and planetary bow shocks provide insight the nature of the planetary obstacle. Planets such as Venus, which have incident solar wind with the pressure of their ionosphere forming an induced magnetosphere. The Earth have intrinsic magnetic field to stand off the solar wind flow well above both the surface and the atmosphere. In this work, we do a comparative study of the properties that forming the Earth's bow shock versus Venus's bow shock.

STUDY OF INTERPLANETARY STRUCTURES USING COSMIC RAY AND SATELLITE OBSERVATIONS

Dos Santos, Luiz.Cezar. N. (1), Savian, Jairo F. (1), da Silva, Marlos R. (2) , Dal Lago, Alisson (2), Braga, Carlos R. (1), da Silva, Samuel M. (1), Schuch, Nelson J. (1).

(1) Southern Regional Space Research Center (CRSPE/INPE – MCT) and Space Science

Laboratory of Santa Maria, Federal University of Santa Maria (LACESM/CT/UFSM), Santa

Maria, 97910-110, (RS), Brazil,

(2) Space Geophysics Division, National Institute for Space Research (DGE/CEA/INPE – MCT),

São José dos Campos, 12201-970, (SP), Brazil,

The objective of this work is to study structures of the Interplanetary Medium using data supplied by the SOHO (Solar & Heliospheric Observatory) and ACE (Advanced Composition Explorer) space satellites. The motivation of studying interplanetary structures resides in the fact that many of those structures originated in the Sun, expelled to the interplanetary space, subsequently reaching the Earth. Solar Wind data indicate that the parameters of the plasma and magnetic field are substantially altered due to the passage of plasma clouds originated in the so called Coronal Mass Ejections (CMEs). One geoeffective events are being studied with the use of images of the instrument EIT (Extreme Ultraviolet Imaging Telescope) combined with the images of the instrument LASCO C2 and LASCO C3 (Large Angle and Spectrometric Coronagraph), observed on october, 20-24, 1999. Later, data from the satellite ACE were used for a detailed analysis of the parameters of the plasma and magnetic field of these structures, when they were in the near-Earth interplanetary medium. Preliminary analysis shows that it is possible to locate active regions in the Sun, related with this geoeffective structures observe near the Earth.

SOLAR, INTERPLANETARY AND COSMIC RAY EFFECTS NEAR THE EARTH MAGNETOPHERE

Savian, Jairo F. (1); Da Silva, Marlos R. (2); Dal Lago, Alisson (2);
Braga, Carlos R. (1); Dos Santos, Luiz C. N. (1); Da Silva, Samuel M. (1);
Echer, Ezequiel (2); Vieira, Luis. E. A. (2); Munakata, Kazuoki (3);
Kuwabara, Takao (4) and Schuch, Nelson J (1)

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

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

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

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

Abstract

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

ESTUDO COMPARATIVO SOBRE AS MAGNETOSFERAS DOS PLANETAS TERRESTRES

Da Silva, S. M. [1,3]; ECHER, E. [2]; SAVIAN, J. F. [1,3], BRAGA, C. R. [1,3]; SANTOS, L. C. N. [1,3], SCHUCH, N. J. [3].

[1] Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria(LACESM/UFSM);

[2] Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE – MCT);

[3] Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais (CRSPE/INPE – MCT).

RESUMO

Magnetosferas planetárias são formadas pela interação do plasma supersônico do vento solar com ionosferas e magnetosferas dos planetas. Há dois tipos de magnetosferas: magnetosferas intrínsecas, criadas pelo movimento de correntes convectivas dentro do planeta para gerar um campo magnético e magnetosferas induzidas, criadas quando a intensidade do campo magnético é muito pequena para afastar o vento solar, mas a pressão da ionosfera excede a pressão do vento solar. Mercúrio e Terra possuem campo magnético com intensidade suficiente para afastar o fluxo do vento solar, mas a intensidade do campo magnético de Vênus e Marte é muito pequeno quando comparado com o campo magnético terrestre, fazendo com que as ionosferas de Vênus e Marte estejam em contato direto com os choques do sistema. Frentes de choque foram detectadas ao redor de cada planeta do sistema solar, mas diferem em forma, força e estrutura. Neste trabalho faremos um estudo comparativo sobre as magnetosferas dos planetas terrestres e suas frentes de choque.

CORONAL MASS EJECTION SPEED MEASUREMENT: EFFECTS NEAR THE EARTH AND COSMIC RAY VARIATIONS

Savian, J. F. [1,2]; Braga, C. R. [1,2]; Da Silva, S. M. [1,2]; Dal Lago, A. [3];
Da Silva, M. R. [3]; Echer, E. [3]; Guarnieri, F. L. [7]; Vieira, L. E. A. [6];
Munakata, K. [4]; Kuwabara, T. [5] and Schuch, N. J. [1]

[1] Space Weather Laboratory, Southern Regional Space Research Center -
CRSPE/INPE - MCT,

P. O. Box 5021, Santa Maria, RS, Brazil

[2] Space Science Laboratory of Santa Maria - LACESM/CT – UFSM, cooperation
INPE/UFSM

Av. Roraima, 1000, Santa Maria, RS, Brazil

[3] Space Geophysics Division – DGE, Space and
Atmospheric Sciences General Coordination - CEA,

National Space Research Institute (DGE/CEA/INPE – MCT), Caixa Postal 515
São José dos Campos, SP, Brazil

[4] Physics Department, Faculty of Science, Shinshu University, Matsumoto, 390-
8621, Japan

[5] Bartol Research Institute, University of Delaware (BARTOL/UDEL), Newark, (DE),
19716, USA.

[6] Max-Planck-Institut für Sonnensystemforschung, MPS, Lindau, Germany.

[7] Universidade do Vale do Paraíba, Av. Shishima Hifumi, 2911 CEP 12244-000
São José dos Campos, SP, Brazil

ABSTRACT

CMEs ejected from the sun into the interplanetary space are gigantic clouds of ionized gas, that after a few hours or days may eventually hit the Earth and cause, among other effects, geomagnetic storms. Geomagnetic storms are disturbances caused by gusts in the solar wind, injecting a substantial quantity of energy into the magnetosphere. In this work we analyze intense geomagnetic storms ($Dst < -100nT$) using images of the solar corona made by the Large Angle and Spectroscopic Coronagraph (LASCO) and images of the solar disk made by the Extreme Ultraviolet Imaging Telescope (EIT), both aboard the Solar and Heliospheric Observatory (SOHO). Observations of plasma and interplanetary magnetic field at one astronomic unit (1 AU), obtained by the Advanced Composition Explorer (ACE) were also used. We analyze high energy cosmic ray observations obtained by the high energy $\geq 50GeV$ Muon Multidirectional Telescope of the Brazilian Southern Space Observatory-SSO of the INPE's Southern Regional Space Research Center for identifying Forbush decreases in the cosmic ray intensity. The objective of this work is to study intense geomagnetic storms, that occurred in a relatively small time interval, in order to identify their solar origin, interplanetary counterparts and cosmic ray modulation near the Earth. This study is important for the study of energetic cosmic rays modulation due to a subsequent chain of interplanetary disturbances.

ESTIMATIVA DO NÍVEL DE RUÍDO NO TELESCÓPIO DETECTOR DE RAIOS CÓSMICOS DE ALTA ENERGIA (MUONS) DO OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL

Braga, C. R. [1]; Da Silva, M. R.[3]; Dal Lago, A. [3]; Savian, J. F. [1,2]; Da Silva, S. M. [1,2]; Dos Santos, L. C. N. [1,2]; Echer, E. [3]; Schuch, N. J. [1]

[1] Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais,
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CRSPE/INPE - MCT),
Av. Roraima, bairro Camobi CEP 97110-970
Santa Maria, RS, Brasil

[2] Laboratório de Ciência Espacial de Santa Maria,
Universidade Federal de Santa Maria (LACESM/CT – UFSM),
Av. Roraima, bairro Camobi CEP 97110-970
Santa Maria, RS, Brasil

[3] Divisão de Geofísica Espacial, Coordenação de Ciências Espaciais e
Atmosféricas,
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (DGE/CEA/INPE – MCT)
Caixa Postal 515
São José dos Campos, SP, Brasil

RESUMO

Detectores de raios cósmicos de alta energia instalados em superfície são considerados o estado da arte para seu estudo, em razão da elevada massa necessária para a construção de detectores com grande porte. Para energias superiores a ~100 GeV, raios cósmicos primários apresentam variação significativa em resposta a distúrbios do vento solar, como ejeções coronais de massa interplanetárias. Dessa forma, detectores de superfície podem fornecer informações das condições do meio interplanetário nas proximidades da Terra. O objetivo deste trabalho é analisar a presença de possíveis ruídos na observação do telescópio multidirecional detector de raios cósmicos de alta energia (muons) instalado no Observatório Espacial do Sul (coordenadas geomagnéticas 19 13' S e 16 30' O). Busca-se analisar a estabilidade das contagens do telescópio no tempo. São utilizadas contagens de raios cósmicos de energia > ~50 GeV (muons) para direções especificadas e dados de monitoramento do próprio telescópio (como temperatura ambiente na sala de observação, pressão atmosférica local, tensão de alimentação fornecida). Foram realizadas correlações entre contagens e dados de monitoramento. Para o período em análise foi encontrado um nível de correlação baixo, indicando possivelmente baixo nível de ruído gerado instrumento. A partir da análise, será possível identificar com maior confiabilidade as possíveis modulações de raios cósmicos (muons) resultantes de distúrbios no vento solar observados pelo telescópio.

Preliminary data of new muon detector located in Southern Space Observatory at São Martinho Serra, RS, Brasil.

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

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

Large geomagnetic storms are primarily caused by interplanetary disturbances associated with coronal mass ejection (CMEs)^[1,2]. The cosmic ray intensities of > 1GeV particles are normally suppressed by ~1-10% downstream of the shock and within ejecta following the shock. In addition to these intensity depressions, called “Forbush decreases” (FDs), precursory phenomena appearing upstream of the shock have also been reported^[3,4,5]. Munakata et. al. (2000) have previously identified cosmic ray precursors with lead times ranging from six to nine hours prior to storm sudden commencement (SSC) and demonstrated that the muon detector network may provide useful information for space weather forecasting. In early March 2001, a small prototype muons detector was installed at Sao Martinho da Serra (292624S, 534838W, above 500m sea level), at the SSO of INPE, Brazil. The detector consists of two horizontal layers of plastic scintillators separated by 1.73 m, with an intermediate 5 cm thick layer of lead to absorb the soft component in cosmic rays in the atmosphere. Each layer comprises a 2x2 array of 1 m² unit detectors (1m x 1m x 0.1m plastic scintillator viewed by a photomultiplier tube of 12.7 cm diameter) giving a total detection area of 4 m²^[7]. In December 2005 this detector was amplified for 7x4, enlarge your detection. In this work we show some preliminary data of muon count rate from period of operation. This study is important for monitoring energetic cosmic ray intensity and magnetic disturbances in future make the space weather forecasting.

[1] Gosling, J. T., The solar flare myth, *J. Geophys. Res.*, 98, 18, 937-18,949, 1993.

[2] Gosling, J. T., S. J. Bame, D. J. McComas, and J. L. Phillips, Coronal mass ejection and larger geomagnetic storms, *Geophys. Res. Lett.*, 17, 901-904, 1990.

[3] Dorman, L. I., *Geophysical and Astrophysical Aspects of Cosmic Rays*, Prog. Phys. Cosmic Ray Elementary Particles, ser. Vol.7, 320pp., North-Holland, New York, 1963.

[4] Dorman, L. I., N. S. Kaminer, and T. V. Kebuladze, on the cosmic ray intensity increase before Forbush-effects, *Gomag. Aeron. Engl. Transl.*, 7(4), 714-716, 1967.

[5] Dorman, L. I., A. E. Kuzmicheva, and N. S. Kaminer, Statistical analysis of forbush-decreases and preceding them cosmic ray intensity increase, *Geomag. Aeron. Engl. Transl.*, 12(4), 593-597, 1972.



[6] Munakata, K., Bieber, J. K., S., Kato, C., Koyama, M., Akahane, S., Fujimoto, K., Fujii, Z., Humble, J. E and Duldig, M. L.: 2000, *J. Geophys Res.* 105, A12, pp.27427-27468.

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

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

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

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

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

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

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

ABSTRACT

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

COSMIC RAY MODULATION AND NOISE LEVEL ON THE EXTENDED MULTIDIRECTIONAL MUONS DETECTOR TELESCOPE INSTALLED IN SOUTH OF BRAZIL: PRELIMINARY ANALYSIS

C. R. Braga^{1,2}, J. F. Savian^{1,2}, M. R. da Silva³, S. M. da Silva^{1,2}, C. W. S. da Silva^{1,2}, L. C. N dos Santos^{1,2}, A. Dal Lago³, T. Kuwabara⁵, K. Munakata⁴, J. W. Bieber⁵, N. J. Schuch^{1,2}

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

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

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

⁴ Physics Department, Faculty of Science, Shinshu University
Matsumoto, Japan

⁵ Bartol Research Institute and Department of Physics and Astronomy,
University of Delaware, Newark, DE, USA
Newark, DE, USA

Because of the large detector mass required to detect high-energy cosmic rays, ground-based instruments remain the state-of-the-art method for studying these particles. At energies up to ~ 100 GeV, primary galactic cosmic rays experience significant variation in response to solar wind disturbances, such as interplanetary coronal mass ejections (ICMEs). In this way, ground-based detectors can provide unique information on conditions in the near-earth interplanetary medium. Since 2001 a prototype multidirectional high energy > 50 GeV cosmic-ray (muons) detector telescope was operating in the Southern Space Observatory (SSO/CRSPE/INPE – MCT), Brazil (geomagnetic coordinates $19^{\circ} 13' 48''\text{S}$ and $16^{\circ} 30'\text{E}$). In December 2005, an upgrade increased the collection area in 600 %, becoming two layers of 28 m^2 each. The objective of this work is to analyze cosmic ray count rates observed by ground-based detector in order to find both variations not associated with interplanetary structures, possible associated with the noise from the instrument, and decrease rates caused by cosmic ray modulation due to interplanetary structures near Earth. We use 1 minute resolution data from the extended telescope collected since January 2006, which is the first data since the update of the instrument on December 2005. We also use the disturbance storm time Dst index from Kyoto, plasma and interplanetary magnetic field from the ACE satellite. In the future, this study will help to separate cosmic ray modulation caused by interplanetary structures from those variations in short periods (less than 1 month) caused by noise from the instrument. The high energy cosmic ray (muon) telescope at the SSO is a tri-lateral collaboration between Brazil, Japan and the United States.

ANÁLISE DAS FRENTES DE CHOQUE DOS PLANETAS TERRESTRES¹

Samuel Martins da Silva², Carlos Roberto Braga³, Jairo Francisco Savian⁴, Ezequiel Echer⁵, Nelson Jorge Schuch⁶.

1. INTRODUÇÃO

Frentes de Choques Planetárias fornecem uma visão tanto do comportamento dos choques como dos obstáculos planetários responsáveis pela criação das mesmas (Russell, 1985). Uma frente de choque é análoga ao choque produzido por aviões estarem em velocidades supersônicas. A expansão supersônica do plasma da coroa solar através do meio interplanetário, devido à interação entre o vento solar e a presença de um obstáculo magnetizado, como por exemplo, magnetosferas intrínsecas geradas pelo campo magnético planetário ou magnetosferas induzidas, formam choques não colisionais na frente das magnetosferas planetárias. Desde que a velocidade do fluxo do vento solar exceda a velocidade magnetosônica, uma onda de choque se formará na frente de cada planeta, se o mesmo não absorver o fluxo vindo através do vento solar. O fluxo do vento solar à frente de choque é desacelerado, aquecido e defletido ao redor do obstáculo planetário (Russell, 1985, 1993). As propriedades dos obstáculos planetários variam de planeta para planeta e as do vento solar mudam drasticamente com a distância heliocêntrica. Assim, quando são comparadas as frentes de choques de Mercúrio, Vênus, Terra e Marte são encontradas diferenças na forma, estrutura e intensidade. Os mais relevantes obstáculos para o fluxo do vento solar são as magnetosferas planetárias e tais magnetosferas ocorrem em Mercúrio, Terra. As ionosferas planetárias podem defletir o fluxo, desde que o vento solar magnetizado não se difunda rapidamente. Isto ocorre em Vênus e, possivelmente, em Marte (Russell e Luhmann, 1997a, b).

2. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é o estudo comparativo entre as frentes de choque dos planetas terrestres (Mercúrio, Vênus, Terra e Marte).

3. METODOLOGIA

¹Trabalho desenvolvido no Laboratório de Clima Espacial do CRSPE/INPE – MCT, em parceria com o LACESM/CT – UFSM.

²Apresentador, aluno do Curso de Física Bacharelado da UFSM.

³Co-autor, Aluno do Curso de Engenharia Elétrica da UFSM.

⁴Co-Autor: Acadêmico do Curso de Física Licenciatura Plena da UFSM.

⁵Orientador: Pesquisador do Departamento de Geofísica Espacial – DGE/CEA/INPE – MCT.

⁶Co-orientador: Coordenador da Ação 1275 do PNAE, implantação do CRSPE/INPE – MCT.

Para inferirmos os parâmetros locais dos choques, é necessário definir as regiões pré-choque e pós-choque. Utilizando dados de campo magnético medidos por sensores (magnetômetros) a bordo de sondas espaciais, tais como *Mariner 10* (Mercúrio), *ISEE-1* (Terra), *Mariner 4* (Marte) e *Pioneer Venus Orbiter* (Vênus). Para calcular o vetor normal à frente de choque, temos que utilizar como valor pré-choque (campo magnético *upstream*, B_u), o *background* ligeiramente afastado da frente do choque, para evitar efeitos da região do “pé” do choque, onde ocorrem perturbações magnéticas devido a íons refletidos. E para o lado pós-choque (campo magnético *downstream*, B_d), temos que utilizar os valores longe da grande oscilação vista após o choque, a sobre-oscilação (Gonzalez-Sparza e Balogh, 2001). Em média, o afastamento é de 5 minutos em cada lado. Em seguida, com a média do campo magnético dentro de um intervalo de 15 minutos tanto do lado pré-choque como do pós-choque é, então, realizado o cálculo do vetor normal à frente de choque através do Método da Coplanaridade Magnética (Burlaga, 1995). Este método define: o campo magnético ambiente (*upstream*), o vetor normal ao choque e o campo magnético *downstream* estejam todos no mesmo plano. A partir deste teorema, podemos obter o ângulo entre o campo magnético ambiente e o vetor normal ao choque; obtemos a direção do vetor normal à frente de choque através da

expressão:
$$n_s = \frac{(\vec{B}_u - \vec{B}_d) \times (\vec{B}_u \times \vec{B}_d)}{|\vec{B}_u - \vec{B}_d| \times |\vec{B}_u \times \vec{B}_d|}$$
 (Burlaga, 1995). Neste trabalho apresentamos

alguns exemplos de cruzamentos de frentes de choque.

4. RESULTADOS

A Terra e Mercúrio possuem um campo magnético significativo, logo os planetas terão uma magnetosfera e uma frente de choque (Russel, 1997). Vênus e Marte possuem um campo magnético muito pequeno ou inexistente, assim a pressão da ionosfera balanceará o vento solar formando uma magnetosfera induzida e uma frente de choque, mas em tamanho muito menor quando comparada com a frente de choque terrestre (Russell, 1997). Alguns parâmetros que influenciam a magnetosfera e a frente de choque são relacionados na Tabela 1.

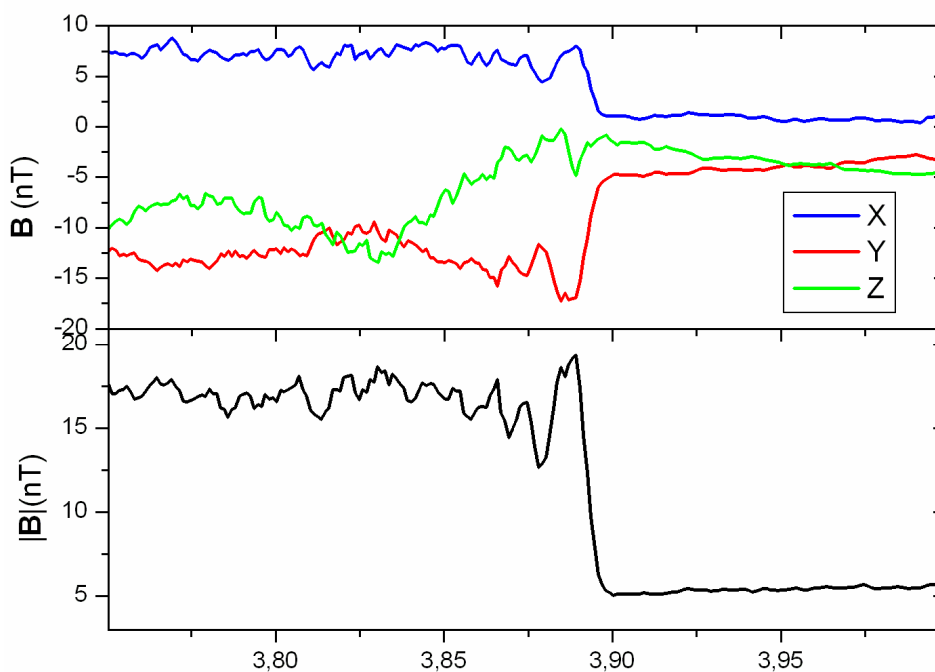
Tabela 1 - Parâmetros que influenciam a magnetosfera e a frente de choque. Fonte: Russel, 1991; http://www.globalchange.umich.edu/Killeen_archive/paper_to_html/evol_star.html; http://isaac.exploratorium.edu/~pauld/activities/magnetism/magnetism_ofplanets.html.

Propriedades dos Planetas/Planeta	Mercúrio	Vênus	Terra	Marte
Raio (Km)	2440	6052	6371	3395
Campo Magnético Global (nT)	250	$10^{-5} B_T$	31000	
Força Relativa na Superfície	0,0007	$< 4 \times 10^{-4}$	1	$< 2 \times 10^{-4}$
Período de Rotação	58,65	243	1	1,025
Distância Heliocêntrica (1 UA)	0,387	0,723	1	1,52

Distância Esperada da Magnetopausa	1,5 R _M	-	10-15 R _T	-
Temperatura na Superfície	260	480	15	-60
Composição Atmosférica	-	CO ₂	N ₂ , O ₂	CO ₂

Exemplos de cruzamentos das frentes de choque pelas sondas ISEE-1 (Terra), *Mariner 10* (Mercúrio), *Mariner 4* (Marte) e *Pioneer Venus Orbiter* (Vênus) são observadas nas Figuras 1, 2, 3 e 4, respectivamente.

Terra - ISEE-1



25 Jul 1978

Figura 1 – Dados de campo magnético da sonda ISEE 1 ilustrando o cruzamento da frente de choque da Terra.

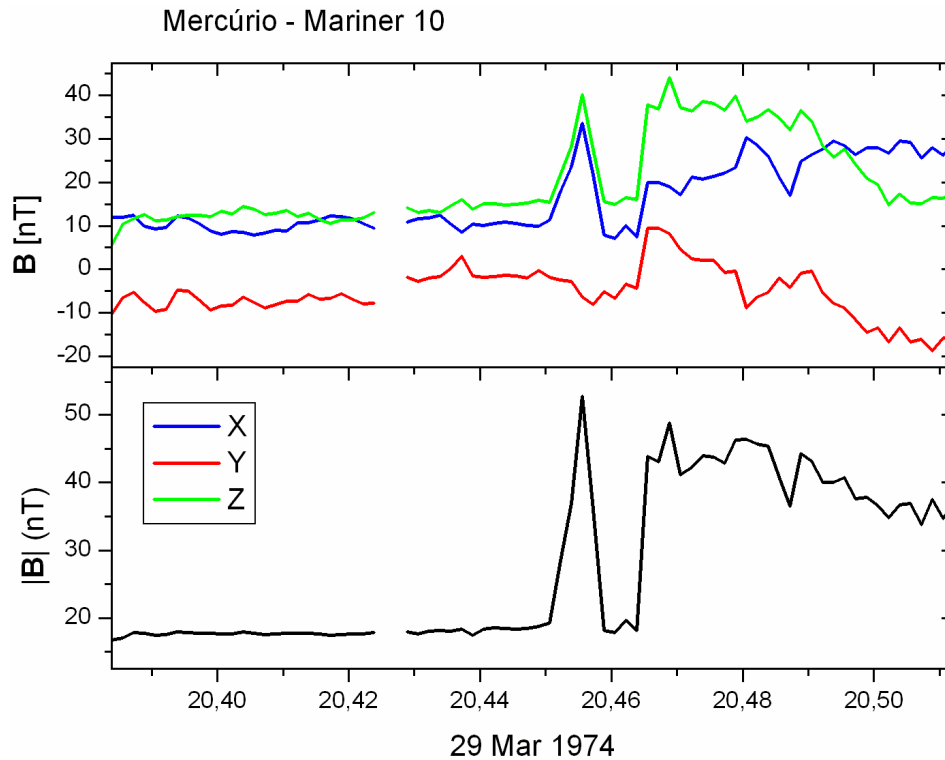


Figura 2 – Dados de campo magnético da sonda Mariner 10 ilustrando o cruzamento da frente de choque de Mercúrio.

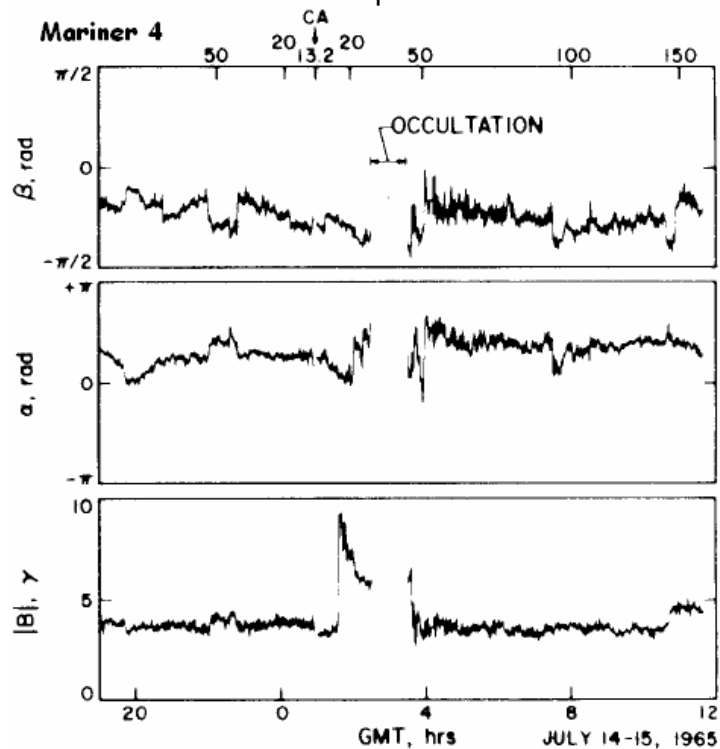


Figura 3 – Dados de campo magnético da sonda Mariner 4 ilustrando o cruzamento da frente de choque de Marte. Fonte: Russell, C. T. (1981).

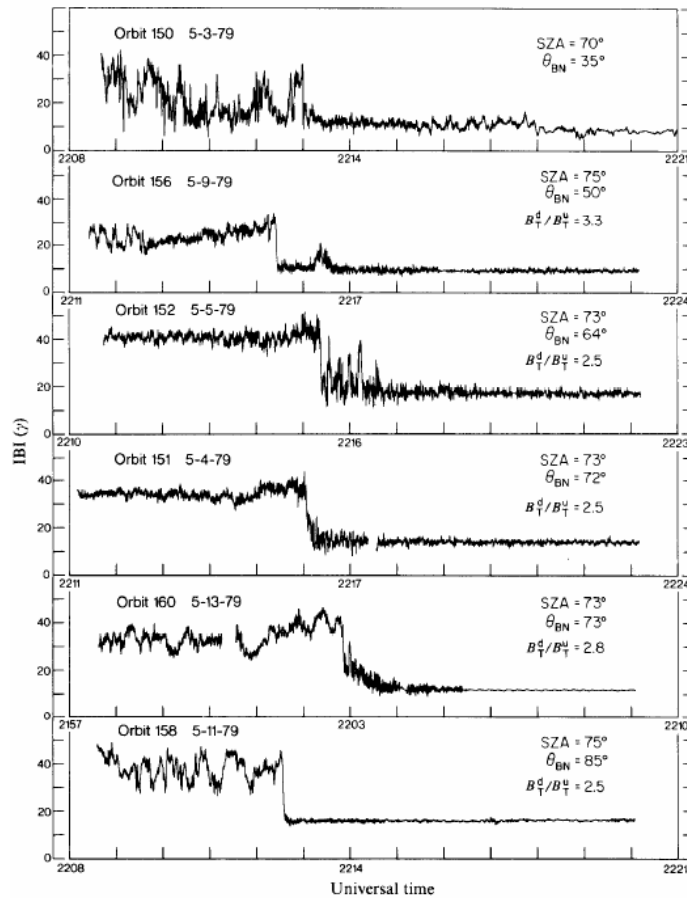


Figura 4 – Dados de campo magnético da sonda *Pioneer Venus Orbiter* ilustrando o cruzamento da frente de choque de Vênus. Fonte: Russell, C. T.; Elphic, R. C.; J. A. Slavin (1979).

A Tabela 2 lista as médias do módulo dos vetores *upstream* e *downstream*, a compressão magnética (razão entre o campo magnético *downstream* e o campo magnético *upstream*, $r_B(\frac{B_d}{B_u})$), o vetor normal ao choque (\hat{n}) e ângulo entre o campo magnético *upstream* e a normal ao choque (θ_{Bn}).

Tabela 2 - Análise dos eventos detectados pelas sondas espaciais.

Sonda	Data	B_u	B_d	$r_B(\frac{B_d}{B_u})$	\hat{n}	θ_{Bn}
ISEE1	2/12/1977	12,22	37,22	3,04	-0,5; 0,68; -0,48	71,98°
ISEE1	5/12/1977	8,87	28,22	3,18	0,14; -0,98; 0,06	15,14°
ISEE1	25/07/1978	5,49	17,87	3,25	0,76; 0,04; 0,64	62,22°
ISEE1	27/08/1978	18	41,86	2,32	-0,99; -0,07; 0,09	78,53°
ISEE1	5/09/1978	3,97	14,08	3,54	0,3; -0,03; 0,95	57,54°
<i>Mariner 10</i>	29/03/1974	20,77	19,09	0,91	-0,96; -0,05; -0,2	31,54°

	Entrando na magnetosfera					
Mariner 10	29/03/1974 Saindo da Magnetosfera	24,15	45,57	1,88	-0,98; 0,18; -0,04	10,84°
Mariner 10	16/03/1975 Entrando na Magnetosfera	17,67	41,88	2,36	-0,11; 0,99; -0,06	62,19°
Mariner 10	16/03/1975 Saindo da Magnetosfera	18,98	29,61	1,56	-0,96; -0,08; -0,23	22,34°

5. CONCLUSÃO

A Terra é o melhor lugar para estudar a microestrutura de um choque e é somente nela que inúmeras medidas são possíveis para permitir deduzir o movimento do choque, calcular exatamente a espessura do mesmo e inferir a densidade do meio.

Os choques que foram analisados nos eventos deste trabalho são quase-paralelos ou quase-perpendiculares. Estas características são devidas em grande parte ao comportamento flutuante do campo magnético interplanetário e as perturbações atribuídas a processos internos dos choques que produzem uma incerteza na estimativa dos parâmetros. Isto restringe a duração das regiões *upstream* e *downstream* relevantes para poucos minutos antes e depois do choque. Em trabalhos futuros, vamos definir um procedimento para calcular a normal ao choque em vários subintervalos nas regiões *upstream* e *downstream*, de maneira a obter um resultado estatístico mais significativo, com avaliação do desvio padrão media do ângulo θ_{Bn} .

6. AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC) sob os processos n° 105376/2005-1 e 105372/2005-6, a FAPESP sob o processo n° (2005/03501-4) e ao CNPq sob o processo n° (300104/2005-7) por auxílios à pesquisa. Agradecemos ao pessoal técnico Especial agradecimento *Institute of Geophysics and Planetary Physics (IGPP)* da *University of California (UCLA)* e ao *Planetary Data System, Planetary Plasma Interactions* por disponibilizarem os dados de campo magnético.

7. REFERÊNCIAS

- RUSSEL, C. T. Magnetic Fields of the Terrestrial Planets, J. Geophys. Res., 98, 18,681-18,695, 1993.

- González-Esparza, J. A.; Balogh, A. The problem: Determination of local magnetic parameters of interplanetary shocks from in situ IMF data, *Geofisica Internacional*, vol. 40, Num. 1, 53-63, 2001.
- RUSSELL, C. T.; LUHMANN, J. G. Earth: magnetic field and magnetosphere. In: SHIRLEY, J. H.; FAINBRIDGE, R. W. *Encyclopedia of Planetary Sciences*. New York, Chapman and Hall, 1997.
- RUSSELL, C. T.; LUHMANN, J. G. Mercury: magnetic field and magnetosphere. In: SHIRLEY, J. H.; FAINBRIDGE, R. W. *Encyclopedia of Planetary Sciences*. New York, Chapman and Hall, 1997.
- RUSSELL, C. T. Planetary bow shocks. *Collisionless Shocks in the Heliosphere: Reviews of Current Research*, Geophysical Monograph 35, 1985.
- RUSSELL, C. T.; WALKER, R. J. The magnetospheres of the outer planets. In: KIVELSON, M. G.; RUSSELL, C. T. *Introduction to Space Physics*, Los Angeles: Cambridge University Press, 1995.
- RUSSELL, C. T., The magnetic fields of Mercury, Venus, and Mars, *Adv. Space Res.*, 1, 3-20, 1981.
- RUSSELL C. T.; ELPHIC R. C.; SLAVIN, J. A., Pioneer magnetometer observations of the Venus bow shock, *Nature*, 282, 815-816, 1979.
- BURLAGA, L, *Interplanetary Magnetohydrodynamics*, International Series on Astronomy and Astrophysics, 1995;

DISTÚRBIOS SOLARES, INTERPLANETÁRIOS E EM RAIOS CÓSMICOS PRÓXIMO A MAGNETOSFERA TERRESTRE E SEUS EFEITOS NO ESTUDO DO CLIMA ESPACIAL .

Jairo Francisco Savian , Alisson Dal Lago , Marlos Rockenbach da Silva ,
Carlos Roberto Braga , Samuel Martins da Silva , Luis Cezar Nunes dos Santos ,
Nelson Jorge Schuch

1. INTRODUÇÃO

O termo Clima Espacial se refere às condições no Sol, vento solar, magnetosfera, ionosfera e termosfera que pode influenciar no desempenho de sistemas tecnológicos no espaço, superfície terrestre e na vida humana (Schwenn, R.; 2006). Atualmente, com os avanços da tecnologia a sociedade moderna é extremamente vulnerável a distúrbios no geoespaço, em particular os causados por eventos explosivos provenientes do Sol, como por exemplo: Flares, que emitem radiação e podem causar falhas em satélites, partículas energéticas solares aceleradas a velocidades relativísticas arriscando a vida de astronautas e ejeções coronais de massa (CMEs, do inglês coronal mass ejections) que são gigantescas nuvens de gás ionizado lançada no espaço interplanetário que depois de algumas horas ou dias podem atingir a Terra e causar tempestades geomagnéticas intensas. As tempestades geomagnéticas são variações no campo magnético terrestre provocados pela injeção de partículas energéticas do vento solar que são aceleradas pelas estruturas liberadas pelo Sol. Neste trabalho vamos apresentar algumas ferramentas usadas para a previsão do Clima Espacial, tais como o satélite SOHO (Solar and Heliospheric Observatory) e o Telescópio Multi-direcional Detector de Muons (TMDM) do Observatório Espacial do Sul em São Martinho da Serra, RS, Brasil.

2. OBJETIVOS

Estudar as origens solares das tempestades geomagnéticas intensas utilizando observações dos instrumentos LASCO (Large Angle and Spectroscopic Coronagraph), a bordo do satélite SOHO, os quais permitem a observação das CMEs solares e correlacionar um conjunto de eventos de CMEs solares com as estruturas correspondentes nas proximidades da Terra, utilizando observações do satélite ACE (Advanced Composition Explorer) da NASA (National Aeronautics and Space Administration), que fornece observações de plasma e campo magnético no meio interplanetário. Por fim, analisamos, os efeitos dessas estruturas solar-interplanetárias na atividade geomagnéticas utilizando índices geomagnéticos, e os efeitos nos raios cósmicos de alta energia observados em São Martinho da Serra pelo Telescópio Multi-direcional Detector de Muons, em operação no Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE desde 2001.

3. METODOLOGIA UTILIZADA

Utilizamos dados dos coronógrafos LASCO C2 e C3 a bordo do satélite SOHO, os quais fornecem observações das ejeções de massa coronal nas proximidades do Sol e permitem medidas de velocidade e aceleração dessas estruturas. Utilizamos técnicas de análise de imagem para medir características da dinâmica desses fenômenos, tais como o estudo apresentado por Dal Lago et al. (2004), além das técnicas tradicionais de medidas de velocidades de CMEs utilizadas pela comunidade científica. Para o tratamento das imagens do instrumento LASCO, além das técnicas apresentadas por Dal Lago et al. (2004), foi utilizado o pacote SolarSoft que é executado em ambiente IDL (Interface Description Language).

Este instrumento é capaz de observar a coroa solar desde 2 até 32 raios solares (R_{\odot}) e é constituído por dois coronógrafos, C2 (2 a 6 R_{\odot}) e C3 (4 a 32 R_{\odot}) (Brueckner et al., 1995; Dal Lago, 2004). Para a análise destas imagens é utilizada uma técnica que permite uma fácil visualização de estruturas com movimento radial ao redor do Sol. Com esta técnica é possível identificar a presença de aceleração/desaceleração radial das CMEs nas proximidades do Sol (Dal Lago, 2004; Dal Lago et al., 2003).

A técnica consiste em dividir uma dada imagem do LASCO em setores retangulares, e não retangulares, cada setor começando do centro da imagem com abertura de 5 graus. Desta maneira, a área coberta pela fatia cresce com o raio. Em seguida, círculos concêntricos, centrados no centro da imagem, são demarcados sobre esta figura, cada um com um raio de 2 pixels maior que a anterior, sendo que cada imagem tem resolução de 1024 x 1024 pixels (Dal Lago, 2004).

Utilizamos observações de plasma e campo magnético feitas pelo satélite ACE, nas proximidades da Terra, as quais permitem a identificação da estrutura interplanetária das ejeções de massa coronal, bem como de fenômenos relacionados (ondas de choque, por exemplo). Estes dados são utilizados para correlacionar estruturas observadas nas proximidades da Terra com as observadas no Sol.

Por último utilizamos observações de superfície da Rede Internacional de Detectores de Muons, da qual o Brasil, através do protótipo instalado no OES/CRSPE/INPE (São Martinho da Serra – RS) faz parte, e que permite a detecção da aproximação das ejeções de massa coronal até 0.2 unidade astronômica da Terra (0.8 UA do sol). 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.

4. RESULTADOS OBTIDOS

Para a realização deste trabalho selecionamos o período de 20 a 31 de julho de 2004 onde ocorreram 3 tempestades geomagnéticas intensas. Os parâmetros físicos deste evento estão dispostos na Figura 1. Observamos de cima para baixo os painéis do gráfico da Figura 1. O primeiro mostra a intensidades do campo magnético total em nT, notamos os saltos abruptos nas linhas A, B e C causados pelo choque da ejeção solar com a magnetosfera terrestre. O segundo painel mostra o campo magnético na direção “Z” onde podemos identificar se temos uma

tempestade causada por nuvem magnética, neste caso temos somente a terceira tempestade indicada pela linha C, podemos identificar porque ocorre uma rotação norte-sul no campo magnético Bz. O terceiro painel mostra a velocidade do vento solar em km/s. No quarto painel temos a temperatura de plasma em Kelvin e no quinto painel a densidade de prótons. Os parâmetros de plasma são muito importantes para identificação do tipo de estrutura que estamos estudando. O sexto painel mostra a contagens de muons do TMDM. O último painel mostra o índice Dst que nos indica a o início da tempestade geomagnética.

Figura 1. Parâmetros de campo magnético interplanetário, plasma, contagem de muons e índice Dst de 3 tempestades geomagnéticas intensas no período de 20 à 31 de julho de 2004.

Na Figura 1, a linha vertical “A” mostra uma tempestade magnética intensa ocorrida em 22 de julho de 2004. Podemos identificá-la pelo salto abrupto dos parâmetros de plasma e campo magnético e pelo decréscimo súbito do índice Dst que alcançou um pico de -104 nT. Observamos na contagem de muons que ocorre um aumento de aproximadamente 2% e depois decresce. Este fenômeno pode ter sido causado pela aceleração das partículas causados pela onda de choque formada pela ejeção solar. Este estrutura é classificada como sendo um evento complexo (Da Silva, 2005). O choque foi causado por uma CIR (Corotating Interaction Regions) a 1 UA.

A linha “B” mostra a tempestade geomagnética de 24 de julho. Este também é um evento complexo, porém podemos dizer que foi causado por uma CIR. O decréscimo de muons foi de 2%.

A linha “C” mostra uma tempestade geomagnética intensa (Dst = -182 nT) causada por uma nuvem magnética. Observamos no parâmetro Bz uma rotação norte-sul, o que caracteriza a nuvem magnética. Vale salientar que a maior parte das tempestades geomagnéticas são causadas por nuvens magnéticas. O decréscimo de muons foi de 3,6%, que é um decréscimo relativamente alto que pode ter sido causado pelo intenso campo magnético da nuvem magnética.

Após o estudo dos parâmetros interplanetários vamos analisar as ejeções coronais de massa a partir de observações solares feitas pelo instrumento LASCO a bordo do satélite SOHO. A Figura 2 mostra o evento de 27 de julho de 2004. Neste evento tivemos uma tempestade magnética intensa, cujo Dst indicou -182 nT. Utilizando a técnica desenvolvida por Dal Lago (2004) e a metodologia de Schwenn et al. (2005) calculamos a velocidade de expansão (V_{exp}) e a velocidade radial (V_{rad}) da CME que causou a tempestade geomagnética intensa neste dia. A velocidade de expansão da CME calculada foi de 1897 km/s, se expandindo ao redor do disco solar. A velocidade radial calculada é de 1060 km/s, levando aproximadamente 46,8 horas para se chocar com a magnetosfera terrestre. É importante salientar que consideramos a velocidade de expansão sendo aproximadamente perpendicular ao plano do céu (Schwenn et al., 2005).

Figura 2. Imagem do coronógrafo LASCO C3 em 25 de julho de 2004. A imagem mostra uma CME tipo “Halo” as 16:18 UT

5. CONCLUSÃO

Neste trabalho estudamos os parâmetros físicos para 3 tempestades geomagnéticas intensas no período de 20 a 31 de julho de 2004. Os resultados estão expostos na Tabela 1. Podemos observar que o cálculo da velocidade de expansão e radial dos eventos de 22 e 24 de julho, isto ocorreu devido a uma falha no tratamento das imagens que será solucionado para a continuação do trabalho.

Os resultados obtidos foram satisfatórios e concordaram com os modelos propostos por Dal Lago (2004) e Schwenn et al. (2005). Como objetivos futuros pretendemos estudar uma base maior de dados interplanetários e de imagens do instrumento LASCO para que possamos melhorar nosso trabalho

O estudo e desenvolvimento de novas técnicas na previsão do Clima Espacial é de extrema importância para a sociedade moderna. Explosões solares provocam prejuízos imensos, tanto financeiros como também para a vida humana.

Tabela 1. Parâmetros físicos dos 3 eventos de tempestade geomagnética intensa.

	22 de julho	24 de julho	27 de julho	
B _{máx} (nT)	19 nT	27,5 nT	27 nT	
B _z (nT)	+11 nT / -16 nT	+21 nT / -22,5 nT	+20 nT / -20 nT	
V _{sw} (km/s)	725,1 km/s	704 km/s	1050 km/s	
TP(k)	6,3x10 ⁵ k	5,35x10 ⁵ k	1,44x10 ⁶ k	
NP(cm ⁻³)	26,01 cm ⁻³	27,3 cm ⁻³	6,75 cm ⁻³	
D _{st} (nT)	-104 nT	-150 nT	-182 nT	
Contagem de muons(%)	2 %	2 %	3,6 %	
V _{exp} (km/s)	????	????	1897,12 km/s	
V _{ps} (km/s)	????	????	1060,37 km/s	

6. REFERÊNCIAS

1. BRUECKNER, G. E. et al. The large angle spectroscopic coronagraph (LASCO). Solar Phys. v.162, n. 1-2, p.357-402, 1995.
2. Da Silva, M. R. Variação da intensidade dos raios cósmicos em resposta a diferentes estruturas megnéticas do meio interplanetário. 2005. INPE-5522-TDI/519. Dissertação (Mestrado em Geofísica Espacial). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2005.
3. DAL LAGO, A. et al. Coronal mass ejection speeds measured in the solar corona using LASCO C2 and C3 images. Advances in Space Research, Inglaterra, v. 32, n. 12, p. 2619-2624, 2003.
4. DAL LAGO, A. et al. Relation between the radial speed and the expansion speed of coronal mass ejections. Advances in Space Research, v. 32, n. 12, p. 2637-2640, 2003.



5. DAL LAGO, A. Estudo de estruturas geofetivas no meio interplanetário e de suas causas solares. 2004. INPE-10298-TDI/917. Tese (Doutorado em Geofísica Espacial) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2004.
6. SCHWENN, R. et al. The association of coronal mass ejections with their effects near the Earth. *Annles Geophysicae*, n. 23, p. 1033-1059, 2005.
7. SCHWENN, R. Space Weather: The Solar Perspective. *Living Reviews in Solar Physics*, p. 1, 2006.

IDENTIFICAÇÃO DAS ORIGENS SOLARES E ANÁLISE DOS PARAMETROS DO PLASMA DA EJEÇÃO CORONAL DE MASSA QUE OCACIONOU UMA TEMPESTADE GEOMAGNÉTICA NO PERÍODO DE 17 A 24 DE OUTUBRO DE 1999 .

Luiz Cezar Nunes dos Santos , Jairo Francisco Savian , Samuel Martins da Silva⁴, Carlos Roberto Braga⁵, Alisson Dal Lago⁶, Nelson Jorge Schuch⁷

1. INTRODUÇÃO

Em nosso estudo, foi dada uma atenção especial as erupções solares observadas em comprimento de onda de ultravioleta, comumente associadas às ejeções coronais de massa, mais conhecidas como CMEs (do inglês - coronal mass ejection). Tais ejeções de massa se dirigem do Sol até a Terra e quando estão no meio interplanetário recebem a denominação de ICMEs (Interplanetary Coronal mass ejection). As ICMEs possuem um campo magnético próprio, e devido à existência deste campo magnético, ao se aproximar da Terra, interagem com a magnetosfera, podendo ocasionar as chamadas Tempestades Geomagnéticas (Gosling et al., 1990, 1991). As Tempestades Geomagnéticas são eventos de grande perturbação no campo magnético terrestre, onde a Terra fica vulnerável à precipitação de partículas energéticas emanadas do Sol. São vários os danos ocasionados pelas Tempestades Geomagnéticas aqui na Terra, como por exemplo, nas redes de energia elétrica, induzindo correntes muito intensas e arraste em espaçonaves que estão em órbita na Terra entre outros. Portanto fica clara a necessidade de um estudo detalhado sobre a natureza física das CMEs bem como dos mecanismos que as geram na Coroa Solar, assim como um estudo de previsão da ocorrência de tais eventos.

2. OBJETIVOS

Nosso objetivo neste trabalho é procurar identificar as origens solares do evento de Tempestade Geomagnética intensa, que ocorreu em outubro de 1999, analisando dados do instrumento EIT (do inglês Extreme Ultraviolet Imaging Telescope), a bordo do satélite SOHO, capaz de observar o disco solar no comprimento de onda de ultravioleta (19,5nm), revelando erupções comumente associadas às ejeções coronais de massa. Assim, através do estudo de outros eventos, acreditamos poder identificar estruturas solares que estão relacionadas com as ICMEs geoefetivas (direcionadas para Terra), que são responsáveis por grande parte das Tempestades Geomagnéticas. Posteriormente com o uso do Satélite ACE, analisar os parâmetros do plasma da ICME.

3. METODOLOGIA UTILIZADA

Usou-se dados referentes aos valores do índice Dst disponíveis no sítio da universidade de Kyoto, Japão, que mede a intensidade da corrente de anel magnetosférica (Mendes Jr. 1992). Posteriormente usaram-se os dados disponíveis dos parâmetros do plasma do meio interplanetário fornecido pelo satélite espacial ACE. Os dados disponíveis do satélite ACE foram tratados em linguagem de programação IDL, permitindo que fossem retirados os dados com erro obtidos pelos instrumentos do ACE e posteriormente que fossem feitos gráficos para análise detalhada dos parâmetros do plasma da estrutura. Com base nos dados fornecidos pelo satélite ACE referentes aos parâmetros do plasma do meio interplanetário analisou-se as variações nos parâmetros em função do tempo a fim de constatar a passagem das estruturas interplanetárias. Calculou-se aproximadamente o tempo que a estrutura levou do Sol até os instrumentos da satélite ACE (considerando a velocidade de propagação constante, o que está incorreto, porém é válido como uma primeira aproximação). Com base nesse tempo, estimou-se aproximadamente a data que estrutura foi gerada no Sol, e com isso procurou-se os eventos ocorridos no disco Solar com o uso das imagens fornecidas pelo satélite espacial SOHO, especificamente do instrumento EIT.

4. RESULTADOS OBTIDOS

Após verificar nos bancos de dados disponíveis na internet referentes às regiões ativas constatou-se uma região ativa no Sol que esta relacionada com e evento ocorrido de 17 a 24 de outubro de 1999, A seguir vê-se nas Figuras 1 e 2, imagens obtidas pelo instrumento EIT, que foi baixada pelo aluno diretamente dos arquivos de dados do satélite SOHO, que posteriormente foram trabalhadas no Solarsoft. Nesta imagem no comprimento de onda de 19,5nm (195 Å) obtida as 23:36 horas do dia 17 de outubro de 1999, é mostrada a zona ativa que esta relacionada a ejeção de massa coronal, que é a estrutura que esta contida dentro do retângulo vermelho (ver Figura 1 e 2). Identificou-se tal região ativa através da análise de uma seqüência de imagens carregadas no Solarsoft, que são mostradas como um pequeno filme.

Figura 1 - Uma imagem do Sol no comprimento de onda de 195° obtida pelo instrumento EIT , abordo do satélite SOHO, a zona ativa encontra-se dentro do retângulo vermelho

Figura 2 - Na figura A tem-se a imagem da região ativa onde os campos magnéticos estão configurados de uma determinada maneira, na figura B, temos um momento posterior, onde nota-se uma variação do campo magnético local. Os dados para a construção dessa imagem foram retirados dos arquivos do satélite SOHO e processados no SolarSoft pelo aluno nas dependências do Laboratório de Clima Espacial e Previsão de Tempestades Magnéticas do CRSPE/INPE-MCT, em Santa Maria, RS.

Conforme observa-se nos gráficos do painel da Figura 3, os parâmetros do vento solar foram substancialmente alterados a partir do dia 294 de 1999 do calendário Juliano que corresponde ao dia 21 de outubro de 1999. Fato esse que se deve ao choque provocado pela propagação supersônica da ICME no vento solar, que elevou os parâmetros do plasma. Nessa tempestade geomagnética houve um pico do índice Dst de -230 nT, indicando se tratar de uma tempestade intensa.

Figura 3 - Painel com gráficos referentes aos parâmetros do plasma do Meio Interplanetário, que foram alterados por uma onda de choque provocada pela complexa estrutura de plasma proveniente do Sol. Os dados para a construção dessa imagem foram retirados dos arquivos do satélite ACE e processados pelo aluno nas dependências do Laboratório de Clima Espacial e Previsão de Tempestades Magnéticas do CRSPE/INPE-MCT, em Santa Maria, RS.

No primeiro gráfico de cima para baixo temos a densidade de prótons, onde se observa que esta, em um valor quase constante, sofreu um aumento com a chegada da onda de choque, logo em seguida decrescendo. O trecho em que o gráfico não aparece se deve a falha no instrumento do satélite ACE. No segundo gráfico que é o da temperatura dos prótons, não houve um aumento muito elevado em sua intensidade no principio do evento, o trecho sem gráfico indica falha nos instrumentos do ACE. Para o terceiro gráfico, que é da velocidade do plasma da componente x, verificou-se uma pequena queda de sua intensidade permanecendo constante durante o tempo que ocorreu o evento. No quarto gráfico, da componente y do campo magnético, notou-se que essa componente de valores estáveis sofreu um aumento abrupto, logo em seguida decaindo até um determinado patamar. Para o quinto gráfico, que é o gráfico que representa a componente z do campo magnético, observa-se que os valores não mudaram muito em relação aos valores que antecederam a chegada do choque. O sexto gráfico mostra os valores para o módulo do campo magnético da estrutura, observa-se um aumento na intensidade durante o período de vigência do evento, logo em seguida voltando a valores normais gradativamente. O último gráfico mostra o índice Dst para o evento, onde nota-se que depois de um leve aumento, este caiu muito repentinamente para valores negativos chegando em um pico de -230 nT, que caracterizou se tratar de uma Tempestade Geomagnética intensa, uma vez que o valor mínimo negativo para se caracterizar uma tempestade geomagnética intensa é -100 nT.

5. CONCLUSÃO

Observando a configuração dos campos magnéticos do Sol nas proximidades das regiões ativas através de sucessivas imagens, conseguiu-se observar estruturas com alta probabilidade de estarem relacionadas com a ICME geofetiva estudada. Foram identificadas duas regiões ativas que poderiam estar relacionadas com a ICME. Entretanto com base em mapas de boracos coronais, Dal Lago et al. (2006) considerou que a região de onde veio a CME era a localizada mais a esquerda da Figura 2 pois nas proximidades desta região notou-se um Buraco Coronal com

polaridade positiva, consistente com as observações no meio interplanetário. A análise dos parâmetros da estrutura de plasma revelou que a estrutura provocou uma onda de choque, que ficou evidente na Figura 3 com um salto dos valores dos parâmetros do plasma.

AGRADECIMENTOS:

Os autores gostariam de agradecer à N. Ness (Bartol Research Institute), D. J. McComas (Southwest Research Institute), R. Lepping (NASA GSFC), K. Ogilvie (NASA GSFC), e à CDAWeb pelos dados de plasma e campo magnético do satélite ACE, e à Kyoto WDC pelo índice Dst. . Gostaríamos de agradecer as equipes do Satélite SOHO, instrumento EIT pelos dados utilizados nesse trabalho. SOHO é uma cooperação internacional entre ESA e NASA. Agradecemos ao CNPq às bolsas do programa PIBIC e ao projeto 472396/04-8.

REFERENCIAS

- [1] Dal Lago, A. Estudo de Nuvens Magnéticas Geofetivas no Meio Interplanetário. São José dos Campos. 122p. (INPE – 7263 – TDI/705). Dissertação (Mestrado em Geofísica Espacial) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1999.
- [2] DAL LAGO, A. ; GONZALEZ, Walter D ; BALMACEDA, Laura Antonia ; VIEIRA, Luis Eduardo Antunes ; ECHER, Ezequiel ; GUARNIERI, Fernando Luis ; SANTOS, Jean Carlo ; SILVA, Marlos Rockenbach da ; LUCAS, Aline de ; GONZALEZ, Alicia L Clua de ; SCHWENN, Rainer ; SCHUCH, Nelson Jorge . The October 17th-22nd (1999) solar-interplanetary-geomagnetic event: very intense geomagnetic storm associated with a pressure balance between an average-speed interplanetary coronal mass ejection and a high speed stream. Journal of Geophysical Research, Estados Unidos, v. 111, n. A07S14, p. 1-5, 2006.
- [3] DAL LAGO, A. ; SCHWENN, Rainer ; GONZALEZ, Wlater D . Relation between the radial speed and the expansion speed of coronal mass ejections. Advances in Space Research, v. 32, n. 12, p. 2637-2640, 2003.
- [4] Gonzalez, W. D.; e Tsurutani, B. T. Criteria of interplanetary parameters causing intense magnetic storms ($Dst < -100$ nT). Planet. Space Sci., v.35, n.9, p.1101-1109, jul. 1987.
- [5] Gonzalez, W. D.; Joselyn, J. A.; Kamide, Y.; Kroehl, H. W.; Rostoker, G.; Tsurutani, B. T.; e Vasyliunas, V. M. What is a magnetic storm?. J. Geophys. Res., v.99, n.A4, p.5771-5792, Apr. 1994.

ESTUDO DE IDENTIFICAÇÃO DE ESTRUTURAS INTERPLANETÁRIAS

Dos Santos, L. C. N. [1,2]; Braga, C. R. [1,2]; Da Silva, M. R. [3]; Dal Lago, A. [3];
Savian, J. F. [1,2]; Da Silva, S. M. [1,2]; Schuch, N. J. [1]

[1] Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais,
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CRSPE/INPE - MCT),
Av. Roraima, bairro Camobi CEP 97110-970
Santa Maria, RS, Brasil

[2] Laboratório de Ciência Espacial de Santa Maria,
Universidade Federal de Santa Maria (LACESM/CT – UFSM),
Av. Roraima, bairro Camobi CEP 97110-970
Santa Maria, RS, Brasil

[3] Divisão de Geofísica Espacial, Coordenação de Ciências Espaciais e
Atmosféricas,
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (DGE/CEA/INPE – MCT)
Caixa Postal 515
São José dos Campos, SP, Brasil

RESUMO

Foram feitos estudos de estruturas do Meio Interplanetário com a utilização dos dados fornecidos pelos Satélites Espaciais SOHO (Solar & Heliospheric Observatory) e ACE

(Advanced Composition Explorer). Dados recentes indicam que os parâmetros do plasma do Vento Solar são substancialmente alterados devido à passagem de nuvens de plasma conhecidas por Ejeções Coronais de Massa (CMEs). Quando no Meio Interplanetário as CMEs se caracterizam por apresentarem um campo magnético intenso, que combinado com baixas temperaturas levam a baixos valores do parâmetro β do plasma. Tais estruturas apresentam rotação da direção do campo magnético, e recebem a denominação especial de Nuvem Magnética quando apresentam aumento do seu campo magnético por um fator maior que 2, e uma rotação suave em um grande ângulo e uma baixa temperatura iônica. Estudou-se um evento de caráter geofetivo com o uso de imagens do instrumento EIT (Extreme ultraviolet Imaging Telescop) combinado com as imagens do instrumento LASCO C2 e LASCO C3 (Large Angle and Spectrometric Coronagraph) foram feitos esboços para identificar as origens solares do evento. Posteriormente foram utilizados dados fornecidos pelo satélite ACE, para analisar os parâmetros do plasma da estrutura no Meio Interplanetário. As análises preliminares mostram que é possível localizar regiões ativas no Sol que se relacionam com as CMEs. Com base nos dados fornecidos pelo ACE calculou-se o parâmetro β para o evento, observou-se significativa concordância dos valores obtidos com a literatura especializada.



ANEXO 4

CERTIFICADOS