



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**



## **ESTUDO DE ESTRUTURAS INTERPLANETÁRIAS UTILIZANDO OBSERVAÇÕES DE SATÉLITES E OBSERVAÇÕES DE RAIOS CÓSMICOS**

**PROCESSO N.º. 105371/2005-0**

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

**Marcos Vinicius Dias Silveira (CRS/CIE/INPE - MCT, Bolsista PIBIC/CNPq –  
INPE/MCT, Março – Julho 2007) E-mail: [silveira@lacesm.ufsm.br](mailto:silveira@lacesm.ufsm.br)**

**Luiz Cezar Nunes dos Santos (CRS/CIE/INPE - MCT, Bolsista Agosto 2006 –  
Fevereiro 2007)**

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

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

**Santa Maria, Julho de 2007.**

## **Dados de Identificação:**

### **Título do Projeto:**

**ESTUDO DE ESTRUTURAS INTERPLANETÁRIAS UTILIZANDO  
OBSERVAÇÕES DE SATÉLITES E OBSERVAÇÕES DE RAIOS CÓSMICOS**

### **Bolsista:**

Marcos Vinicius Dias Silveira  
Acadêmico de Física Licenciatura Plena  
Universidade Federal de Santa Maria – UFSM

### **Bolsista Substituído:**

Luiz Cezar Nunes dos Santos  
Acadêmico do Curso de Física Bacharelado  
Universidade Federal de Santa Maria – UFSM

### **Orientador:**

Dr. Alisson Dal Lago  
Divisão de Geofísica Espacial – DGE/CEA/INPE - MCT  
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE/MCT

### **Co – Orientador:**

Dr. Nelson Jorge Schuch  
Centro Sul de Pesquisas Espaciais – CRS/CIE/INPE – MCT

### **Local de execução do projeto**

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

Laboratório de Clima Espacial – CRS/CIE/INPE – MCT, Santa Maria, RS.

### **Pesquisadores e Estudantes Colaboradores:**

- Doutorando Marlos Rockenbach da Silva – DGE/CEA/INPE – MCT
- Acadêmico Carlos Roberto Braga – UFSM
- Acadêmico Nikolas Kemmerich – UFM
- Acadêmico Samuel Martins da Silva – UFSM

**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](mailto:nelson.schuch@pq.cnpq.br)  
Ademar Michels - [michels@ct.ufsm.br](mailto: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@lacesm.ufsm.br](mailto:njschuch@lacesm.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, IAGA/USP, OV/ON, DPD/UNIVAP e SEFET/GO, no Brasil e internacionais do: Japão (Universidades: Shinshu, Nagoya, Kyushu, Takushoku e National Institute of Polar Research), EUA ((Bartol Research Institute/University of Delaware e NASA (Jet Propulsion Laboratory e Goddard Space Flight Center)), Alemanha (University of Greifswald e Max Planck Institute for Solar System Research), 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](#)[Jean Carlo Santos](#)[Alan Prestes](#)[Jean Pierre Raulin](#)[Alicia Luisa Clúa de Gonzalez](#)[Joao Paulo Minussi](#)[Alisson Dal Lago](#)[Mangalathayil Ali Abdu](#)[Barclay Robert Clemesha](#)[Marcelo Barcellos da Rosa](#)[Clezio Marcos De Nardin](#)[Nalin Babulau Trivedi](#)[Cristiano Max Wrasse](#)[Natanael Rodrigues Gomes](#)[Delano Gobbi](#)[Nelson Jorge Schuch](#)[Eurico Rodrigues de Paula](#)[Osmar Pinto Junior](#)[Ezequiel Echer](#)[Otavio Santos Cupertino Durão](#)[Fábio Augusto Vargas dos Santos](#)[Polinaya Muralikrishna](#)[Fernando Luís Guarnieri](#)[Severino Luiz Guimaraes Dutra](#)[Hisao Takahashi](#)[Walter Demetrio Gonzalez Alarcon](#)**Estudantes****Total: 25**[Carlos Roberto Braga](#)[Marcelo dos Santos Zastawny](#)[Cassio Espindola Antunes](#)[Marcos Vinicius Dias Silveira](#)[César Augusto Daroit](#)[Mateus Sabadi Schuh](#)[Cleomar Pereira da Silva](#)[Micael da Silva Bacellar](#)[Cristiano Sarzi Machado](#)[Nikolas Kemmerich](#)[Eduardo Ceretta Dalla Favera](#)[Pablo Fernando Carlesso](#)[Fagner Chagas Rother](#)[Rafael Lopes Costa](#)[Jean Carlos Daroit](#)[Rodrigo Gerlach Silva](#)[Jose Fernando Thuorst](#)[Samuel Martins da Silva](#)[Josemar de Siqueira](#)[Sandro Fettermann Bertagnoli](#)[Juliano Moro](#)[Silvano Lucas Prochnow](#)[Lilian Piecha Moor](#)[Tiago Jaskulski](#)[Lucas Lopes Costa](#)

<b>Técnicos</b>		<b>Total: 4</b>
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		
<b>Linhas de pesquisa</b>		<b>Total: 4</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• <a href="#">AERONOMIA - IONOSFERAS x AEROLUMINESCÊNCIA</a></li><li>• <a href="#">MAGNETOSFERAS x GEOMAGNETISMO</a></li><li>• <a href="#">MEIO INTERPLANETÁRIO - CLIMA ESPACIAL</a></li><li>• <a href="#">NANOSATC-BR</a></li></ul>		
<b>Relações com o setor produtivo</b>		<b>Total: 0</b>
<b>Indicadores de recursos humanos do grupo</b>		
<b>Integrantes do grupo</b>		<b>Total</b>
Pesquisador(es)		26
Estudante(s)		25
Técnico(s)		4

**Diretório dos Grupos de Pesquisa no Brasil****Estudante****Marcos Vinicius Dias Silveira**[Link para  
Currículo Lattes](#)**Dados gerais****Indicadores de produção C, T & A****Dados gerais****Identificação do estudante****Nome:** Marcos Vinicius Dias Silveira**Nível de treinamento:** Graduação**Currículo Lattes:** 02/05/2007 15:05**E-mail:** [silveira@lacesm.ufsm.br](mailto:silveira@lacesm.ufsm.br)**Homepage:****Grupos de pesquisa que atua na instituição**[Clima Espacial, Magnetosferas: Interações Terra - Sol, NanoSatC-Br](#) - INPE**Linhas de pesquisa que atua**[MEIO INTERPLANETÁRIO - CLIMA ESPACIAL](#)[NANOSATC-BR](#)**Orientadores participantes de grupos de pesquisa na instituição**[Alisson Dal Lago](#)**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



### Linha de Pesquisa MEIO INTERPLANETÁRIO - CLIMA ESPACIAL

#### Linha de pesquisa

#### MEIO INTERPLANETÁRIO - CLIMA ESPACIAL

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

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

#### Pesquisadores:

[Alan Prestes](#)  
[Alicia Luisa Clúa de Gonzalez](#)  
[Alisson Dal Lago](#)  
[Ezequiel Echer](#)  
[Fernando Luís Guarnieri](#)  
[Jean Pierre Raulin](#)  
[Nelson Jorge Schuch](#)  
[Severino Luiz Guimaraes Dutra](#)  
[Walter Demetrio Gonzalez Alarcon](#)

#### Estudantes:

[Carlos Roberto Braga](#)  
[Fagner Chagas Rother](#)  
[Jose Fernando Thuorst](#)  
[Josemar de Siqueira](#)  
[Marcos Vinicius Dias Silveira](#)  
[Nikolas Kemmerich](#)  
[Samuel Martins da Silva](#)  
[Sandro Fettermann Bertagnoli](#)

#### Árvore do conhecimento:

Ciências Exatas e da Terra; Geociências; Geofísica Espacial;  
Ciências Exatas e da Terra; Astronomia; Astrofísica do Sistema Solar;  
Ciências Exatas e da Terra; Geociências; Instrumentação Científica;

#### Setores de aplicação:

Aeronáutica e espaço

#### Objetivo:

Pesquisar e prover em tempo real com o Telescópio Multidirecional de Raios Cósmicos-Muons, 2x(4mx7m), >50GeV, no Observatório Espacial do Sul, o monitoramento de muons e fenômenos das interações Sol-Terra, a previsão no Geoespaço de eventos solares e distúrbios geofísicos, graves efeitos das tempestades e subtempestades geomagnéticas sobre dispositivos e sistemas tecnológicos afetando equipes de trabalho e equipamentos na superfície da Terra e no Espaço. Vice-Líder: Alisson Dal Lago.





## 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](#)  
[Natanael Rodrigues Gomes](#)  
[Nelson Jorge Schuch](#)  
[Otavio Santos Cupertino Durão](#)  
[Severino Luiz Guimaraes Dutra](#)  
[Walter Demetrio 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 Bertagnolli](#)  
[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: potencia, propulsão, telemetria, controle: attitude, térmico, Vice-Líder: Ademar Michels



## Agradecimentos

Agradeço em primeiro lugar a Deus por ter me concedido o dom da vida, a minha avó Tereza, minha tia Rosa e ao meu irmão Paulo pela ajuda financeira, carinho e apoio nos momentos difíceis da vida. Agradeço a minha namorada Eveline pela compreensão, apoio e confiança que tem em mim neste tempo em que convivemos.

Ao meu orientador Dr. Alisson Dal Lago, pela sua atenção e disposição em auxiliar-me durante a realização de minhas atividades de iniciação científica. Em especial ao Dr. Nelson Jorge Schuch, pelos seus ensinamentos e pelas oportunidades oferecidas.

Aos grandes amigos do CRS/CIE/INPE – MCT que sempre estiveram dispostos a auxiliar e aos inúmeros amigos e colegas da UFSM.

Ao Programa de Bolsas de Iniciação Científica do CNPq e ao Coordenador do Programa PIBIC/INPE – CNPq/MCT, pela bolsa, atenção e em especial e com carinho a secretaria do Programa Egidia I. Rosa, sempre atenta para informar e cobrar informações.

## **Preâmbulo**

O projeto teve o bolsista Luiz Cezar Nunes dos Santos, aluno do Curso de Física Bacharelado da UFSM, substituído no mês de fevereiro do ano de 2007 pelo acadêmico Marcos Vinicius Dias Silveira, aluno do Curso de Física Licenciatura Plena da UFSM, que passou a realizar os trabalhos referentes ao projeto a partir do mês de março de 2007. O novo bolsista concluiu a etapa 6 onde deveria elaborar trabalhos para serem apresentados no congresso do PIBIC do INPE e está realizando as etapas 1, 2 e 3 referentes aos Planos de Trabalho do Projeto. O relatório parcial de atividades do bolsista substituído está em anexo neste relatório.

## Resumo

O Projeto visa à análise de parâmetros de plasma das estruturas interplanetária através da utilização de dados fornecidos pelos coronógrafos LASCO (*Large Angle and Spectroscopic Coronagraph*) e EIT (*Extreme Ultraviolet Imaging Telescope*), ambos a bordo do satélite SOHO (Solar and Heliospheric Observatory) e pelo satélite ACE (*Advanced Composition Explorer*). Estes satélites localizam-se no ponto Lagrangeano L1, definido como o ponto de equilíbrio gravitacional no caminho Sol-Terra. Muitas dessas estruturas originadas no Sol, quando expelidas para o Meio Interplanetário, acabam atingindo a Terra. Dentre as estruturas em questão estão as CMEs (sigla em inglês que significa “Ejeções de Massa Coronal”) que são estruturas de plasma observadas na coroa solar. As CMEs possuem um campo magnético próprio, mais intenso que o do Meio Interplanetário, e ao se aproximarem da Terra, interagem com sua magnetosfera podendo ocasionar Tempestades Geomagnéticas, com as quais estão associados inúmeros danos, como é o caso dos sistemas de comunicação e de transmissão de energia elétrica, entre outros. Outra forma de estudar as estruturas interplanetárias é pela observação de raios cósmicos de alta energia (muons), através de uma rede de detectores localizados na superfície terrestre. Com os dados obtidos dos satélites e da rede de detectores são confeccionados gráficos, com cuja análise é possível estudar as estruturas interplanetárias, tais como CMEs, e até mesmo prever a ocorrência de Tempestades Geomagnéticas. O Projeto está em fase de revisão teórica das bibliografias recomendadas pelo orientador e adaptação com programação em ambiente IDL, linguagem utilizada para analisar dados e produzir gráficos. Os passos seguintes serão a confecção de gráficos e análise dos parâmetros encontrados para eventos selecionados.

## ÍNDICE

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>14</b>
<b>Introdução e Objetivos</b> .....	<b>14</b>
1.1- Introdução .....	14
1.2 – Objetivos.....	15
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>16</b>
<b>Estruturas Magnéticas do Meio Interplanetário</b> .....	<b>16</b>
2.1 - O Sol.....	16
2.1.1 Interior Solar.....	17
2.1.2 Atmosfera Solar .....	17
2.1.3 Vento Solar .....	17
2.1.4 O Campo Magnético Interplanetário .....	18
2.2 Atividade Solar .....	21
2.2.1 Ciclo de 11 Anos .....	21
2.3 Estruturas magnéticas do Meio Interplanetário .....	23
2.3.1 Ondas de Choque.....	23
2.3.2 Ejeção de Massa Coronal Interplanetária .....	23
2.3.3 Nuvens Magnéticas .....	26
2.3.4 Geofetividade das Nuvens Magnéticas.....	27
2.4 Raios Cósmicos .....	27
2.5 Clima Espacial.....	30
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>31</b>
<b>Metodologia</b> .....	<b>31</b>
3.1 O Satélite ACE .....	31
3.2 Satélite SOHO .....	36
3.3 Telescópio Cintilador de Muons.....	39
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>42</b>
<b>Conclusão</b> .....	<b>42</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>43</b>
<b>Anexo 1</b> .....	<b>45</b>
<b>Programas e Gráficos Confeccionados Pelo Bolsista Substituto</b> .....	<b>45</b>
<b>Anexo 2</b> .....	<b>51</b>
<b>Relatório Parcial de Atividades do Bolsista Substituído</b> .....	<b>51</b>

## ÍNDICE DE ILUSTRAÇÕES

Ilustração 1 - Estrutura do interior e atmosfera solar. (a) Fonte: <a href="http://www.astro.iag.usp.br">http://www.astro.iag.usp.br</a> , (b) Adaptado de Kivelson e Russel (1995).....	16
Ilustração 2 Campo inicial poloidal evoluindo para um campo toroidal devido à rotação diferencial solar. Fonte: Hoyt e Schatten (1997, p.112).....	18
Ilustração 3 Polaridade das manchas solares nos diferentes hemisférios em um dado ciclo solar. Fonte: Dal Lago, 2004, pg. 29. ....	19
Ilustração 4 Apresentação esquemática do campo Magnético Interplanetário. Fonte: <a href="http://nedwww.ipac.caltech.edu/level5/March03/Vallee2/Vallee3_2.html">http://nedwww.ipac.caltech.edu/level5/March03/Vallee2/Vallee3_2.html</a> .....	20
Ilustração 5. Esquema da Heliosfera e suas principais características. Fonte: Modificado de <a href="http://canopy.lsmal.com/schryver/Public/homepage/coolstarimages4.html">http://canopy.lsmal.com/schryver/Public/homepage/coolstarimages4.html</a> .....	20
Ilustração 6(a) Grupo de manchas solares. Fonte: <a href="http://www.altega.com/CienciaDidactica/LibroEclipse/Imaxes/EclipsesSolManualDidacticoGalego45_html_m69a01c57.jpg">http://www.altega.com/CienciaDidactica/LibroEclipse/Imaxes/EclipsesSolManualDidacticoGalego45_html_m69a01c57.jpg</a> . (b) Detalhes da estrutura das manchas solares. Fonte: <a href="http://www.dialogica.com.ar/astrolabio/archivos/Imagenes/manchasolar.jpg">http://www.dialogica.com.ar/astrolabio/archivos/Imagenes/manchasolar.jpg</a> .....	21
Ilustração 7 Gráfico do Ciclo Solar dado em anos, mostra o Ciclo Solar de 11 anos. ....	22
Ilustração 8 Sequência de imagens mostrando a ocorrência de uma CME observada pelo Coronógrafo LASCO C3 a bordo do satélite SOHO. Fonte: <a href="http://sohowww.nascom.nasa.gov">http://sohowww.nascom.nasa.gov</a> . ....	24
Ilustração 9 Geometria de uma Nuvem Magnética. Fonte: Adaptado de Burlaga et al. (1990, p.376). ....	26
Ilustração 10 Diagrama esquemático de um chuveiro de raios cósmicos. Fonte: Modificado de Forbush (1993). ....	29
Ilustração 11 Fenômenos que afetam o Clima Espacial, energias envolvidas, tempo de duração de seus efeitos e principais tipos de danos em sistemas tecnológicos. Fonte: Schwenn (comunicação pessoal), (apud Dal Lago, 2003).....	30
Ilustração 12 Ilustração representativa da órbita do ACE. Fonte: <a href="http://www.srl.caltech.edu/ACE">http://www.srl.caltech.edu/ACE</a> .....	31
Ilustração 13 Tabela de dados obtidos do Satélite ACE, dados baixados da internet pelo bolsista para confecção de gráficos. Fonte dos dados: <a href="http://www.srl.caltech.edu/ACE/ASC/level2/mag_l2desc.html">http://www.srl.caltech.edu/ACE/ASC/level2/mag_l2desc.html</a> .....	32
Ilustração 14 Rotina desenvolvida pelo bolsista no IDL para plotar gráficos com dados do Meio Interplanetário. ....	33



Ilustração 15 Gráficos obtidos a partir do programa IDL. ....	34
Ilustração 16 Gráficos feitos pelo bolsista através do programa Origin.....	35
Ilustração 17 Esquema da órbita do Satélite SOHO. Fonte: <a href="http://sohowww.nascom.nasa.gov">http://sohowww.nascom.nasa.gov</a> . ....	36
Ilustração 18 Imagem do instrumento EIT. Fonte: <a href="http://umbra.nascom.nasa.gov/eit/EIT.html#WHAT_EIT">http://umbra.nascom.nasa.gov/eit/EIT.html#WHAT_EIT</a> .....	37
Ilustração 19 O Sol dividido em 4 quadrantes, onde cada quadrante corresponde a um comprimento de onda distinto. Fonte: <a href="http://sohowww.nascom.nasa.gov">http://sohowww.nascom.nasa.gov</a> . ....	38
Ilustração 20 Foto do protótipo do TCM instalado em março de 2001, em São Martinho da Serra, Brasil. ....	39
Ilustração 21 Fotografia do TCM expandido em dezembro de 2005, em São Martinho da Serra.....	40
Ilustração 22 Esquema de um TCM. ....	40

## CAPÍTULO 1

### Introdução e Objetivos

#### 1.1- Introdução

O Sol exerce uma grande influência sobre a região ao seu redor, sendo possível, por exemplo, observar vários distúrbios próximos a Terra. Os efeitos da variabilidade solar são inúmeros, dentre os quais se podem citar os danos nos sistemas tecnológicos no espaço e na superfície da Terra.

Algumas das perturbações resultantes da Atividade Solar que a Terra sofre merecem uma atenção especial, tendo em vista sua vulnerabilidade diante dos eventos como as chamadas Ejeções de Massa Coronal (*Coronal Mass Ejections*, CMEs), Explosões Solares (*Flares*), e Proeminências. Estes eventos liberam uma enorme quantidade de matéria na forma de plasma, que viajam pelo meio interplanetário, com velocidades supersônicas.

O conjunto de variações nas proximidades da Terra foi recentemente chamado de Clima Espacial e a sua previsão do se tornará tão necessária e importante quanto à previsão do clima dentro da atmosfera terrestre. Com isso tornam-se cada vez maiores os esforços internacionais para obter um conjunto de medidas *in situ* e fazer um sensoriamento remoto do Sol e do meio interplanetário.

Neste projeto foi dado um foco especial para as Ejeções de Massa Coronal (CMEs), as CMEs, que são originárias do Sol e possuem um campo magnético, muitas vezes elas deslocam-se até a Terra orientando-se através do Campo Magnético Interplanetário e, ao interagirem com a Magnetosfera, provocam as chamadas Tempestades Geomagnéticas.

As Tempestades Geomagnéticas são eventos que ocasionam grande perturbação no campo magnético terrestre, ficando a Terra vulnerável a entrada de partículas energéticas do Vento Solares. A característica principal de uma tempestade é o decréscimo acentuado da componente H (horizontal) do Campo Geomagnético e a posterior fase de recuperação.

Com os vários danos causados na Terra por estas estruturas fica óbvia a necessidade de um estudo detalhado sobre a natureza física das CMEs bem como dos mecanismos que as geram no Sol.



Para desenvolver o projeto de pesquisa, usaram-se os dados do satélite ACE, que fornece informações sobre o Campo Magnético Interplanetário e futuramente serão usados os dados referentes aos parâmetros do plasma existente no meio interplanetário, o satélite SOHO que tem a função de estudar a estrutura interna do Sol, sua extensa atmosfera e a origem do vento solar, e a Rede Internacional de Detectores de Muons, da qual o Observatório Espacial do Sul - OES/CRS/INPE - MCT – passou a fazer parte em 2001.

### **1.2 – Objetivos**

Os objetivos específicos deste projeto envolvem a familiarização do aluno, através de seu aprendizado com a física e as observações das estruturas observadas no meio interplanetário, o que será obtido a partir de leitura de bibliografia especializada, a análise de eventos de diferentes estruturas interplanetárias através de dados obtidos pelo Satélite ACE (*Advanced Composition Explorer*) situado no ponto Lagrangeano L1, fora da Magnetosfera Terrestre e o aprendizado de utilização de software de análise de dados de séries temporais, também análise dos parâmetros de plasma das estruturas interplanetárias, tais como o cálculo do parâmetro beta, que determina a relação entre a pressão cinética e a pressão magnética na estrutura, sendo muito interessante do ponto de vista da física do meio interplanetário a observação dos efeitos das estruturas nos raios cósmicos observados pelo protótipo de telescópio multi-direcional detector de muons instalado no OES/CRSPE/INPE em São Martinho da Serra (RS). O aluno deverá utilizar observações dos instrumentos LASCO (*Large Angle and Spectroscopic Coronagraph*), a bordo do satélite SOHO (*Solar and Heliospheric Observatory*), e EIT (*Extreme Ultraviolet Imaging Telescope*) em operação desde 1996, os quais permitem a observação das CMEs solares e utilizar as técnicas mais recentes de análise de dados de satélite, como por exemplo, o pacote SOLARSOFT da NASA, que é utilizado em ambiente IDL.

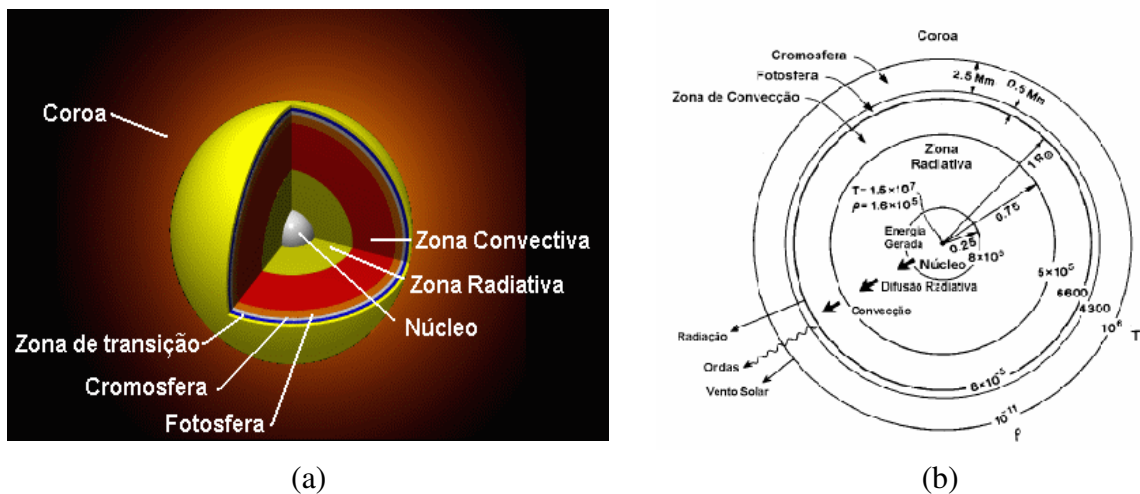
## CAPÍTULO 2

### Estruturas Magnéticas do Meio Interplanetário

#### 2.1 - O Sol

O Sol é uma estrela ativa com aproximadamente 4,5 bilhões de anos, sendo o responsável pela existência e manutenção da vida na Terra é o alvo de grandes estudos desde as civilizações mais antigas até os dias atuais. Possuindo uma massa média de  $1,99 \times 10^{30} \text{ kg}$ , raio de  $696,000 \text{ km}$  e luminosidade de  $3,9 \times 10^{26} \text{ W}$ , sua composição é predominantemente hidrogênio e hélio. A energia térmica proveniente do Sol que sentimos, é uma mínima parte da energia que é gerada em seu núcleo pelo processo de fusão de núcleos de hidrogênio (prótons), formando núcleos de hélio (partículas alfa).

O Sol pode ser dividido em Interior e Atmosfera Solar. O Interior Solar é constituído do Núcleo, Zonas Radiativa e Convectiva, já a atmosfera é subdividida em Fotosfera, Cromosfera e Coroa. A Ilustração 1 mostra um esquema da estrutura solar.



**Ilustração 1** - Estrutura do interior e atmosfera solar. (a) Fonte: <http://www.astro.iag.usp.br>, (b) Adaptado de Kivelson e Russel (1995)

### 2.1.1 Interior Solar

O interior solar é constituído pelas seguintes regiões: **Núcleo**, que se estende até 0,25 raios solares, possuindo uma temperatura da ordem de  $1,5 \times 10^7 K$  e uma densidade de aproximadamente  $1,6 \times 10^5 m^{-3}$ ; **Zona Radiativa**, compreendida no intervalo entre 0,25 e 0,75 raios solares, nesta região a energia é dissipada pelo processo de difusão radiativa, possuindo uma temperatura da ordem de aproximadamente  $8 \times 10^6 K$ ; **Zona de Convecção**, compreendida no intervalo entre 0,75 e 1 raio solar, com uma temperatura variando aproximadamente entre  $5 \times 10^5 K$  e  $6600 K$ , nesta região a energia é dissipada através do processo de convecção.

### 2.1.2 Atmosfera Solar

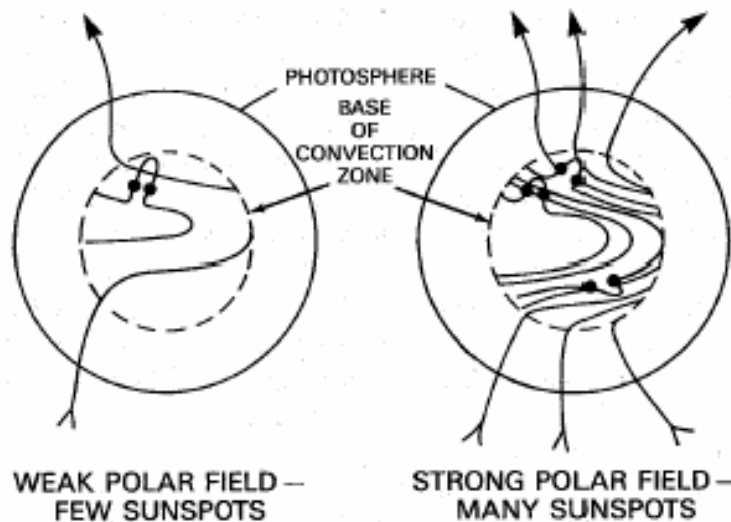
A atmosfera solar é constituída pelas seguintes regiões: **Fotosfera**, camada mais inferior da atmosfera solar, com uma espessura de aproximadamente  $0,5 \times 10^6 m$  e temperatura de aproximadamente  $6600 K$ , esta camada emite radiação eletromagnética na faixa da luz visível; **Cromosfera**, situada acima da fotosfera, com espessura de aproximadamente  $2,5 \times 10^6 m$ , temperatura no intervalo entre  $4300$  e  $10^6 K$ , apresenta densidade na ordem de  $10^{-11} m^{-3}$ , esta camada pode ser vista observando-se o Sol com um filtro solar conhecido como H-alfa; **Coroa Solar**, região situada acima da cromosfera e sem limite superior, possui uma temperatura da ordem de  $10^6 K$ , sendo essa camada mais importante da atmosfera solar, por causa da evaporação constante de seu material constituindo o Vento Solar.

### 2.1.3 Vento Solar

O Vento Solar é um plasma, ou seja, gás composto por íons e elétrons emitidos radialmente pelo Sol como resultado da diferença entre as pressões dos gases da coroa solar e do espaço interestelar nas proximidades do Sol. O Vento Solar passa pela Terra com uma velocidade média de  $450 km/s$  e tem densidade média de prótons e elétrons de  $7 cm^{-3}$ . Seu fluxo propaga-se até uma região, cuja localização não é bem definida denominada *Heliopausa* onde a sua pressão e a do vento interestelar se equilibram.

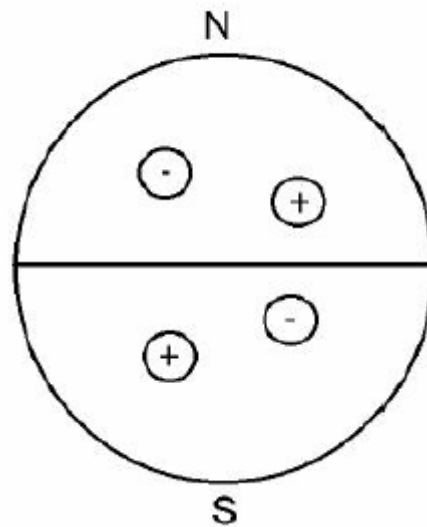
### 2.1.4 O Campo Magnético Interplanetário

Acredita-se que o campo magnético solar é gerado por um mecanismo de dínamo. O campo do dínamo é constantemente transformado de um dipolo poloidal para um campo toroidal (Ilustração 2) devido ao fato do Sol apresentar rotação diferencial, ou seja, a região do equador tem velocidade angular maior que a região dos pólos. Este fato intensifica o Campo Magnético pelo acúmulo de linhas de campo fazendo com que fluxo magnético comece a emergir para fora da fotosfera, originando os pares de manchas solares fotosféricas, que na Ilustração 2 são representadas pelos “pontos” conectados pelos pequenos arcos de campo magnético que se elevam (baseado em Hoyt e Schatten, 1997).



**Ilustração 2** Campo inicial poloidal evoluindo para um campo toroidal devido à rotação diferencial solar. Fonte: Hoyt e Schatten (1997, p.112).

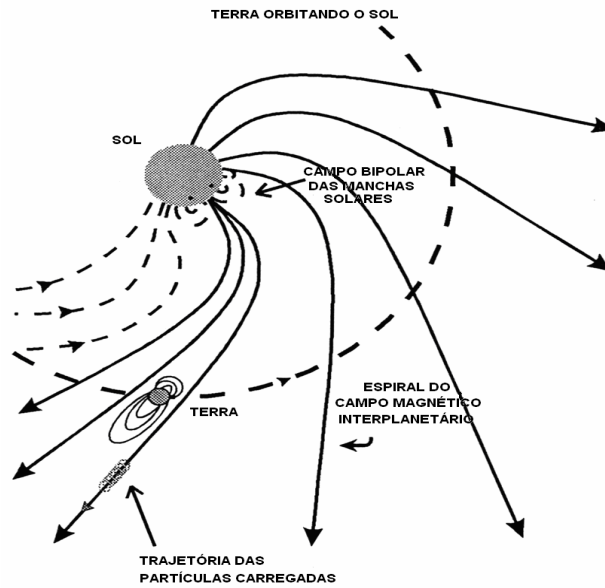
As polaridades dos pares de manchas solares serão no caso da Ilustração 3, [+ -] (“saindo”, “entrando”) no hemisfério sul e [- +] no hemisfério norte, como pode ser visto na Ilustração 3.



**Ilustração 3** Polaridade das manchas solares nos diferentes hemisférios em um dado ciclo solar. Fonte: Dal Lago, 2004, pg. 29.

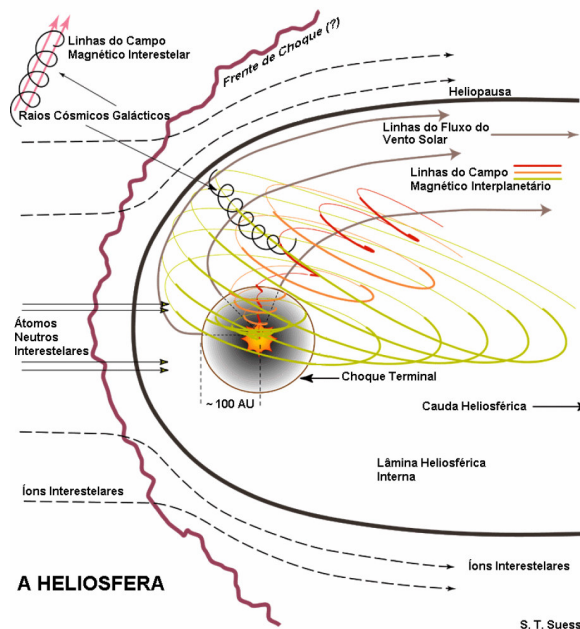
A intensidade do campo magnético solar é da ordem de  $10^{-4}$  T na superfície da Fotosfera. Devido ao fato do Vento Solar ser altamente condutor ele é transportado para grandes distâncias, constituindo o Campo Magnético Interplanetário (*Interplanetary Magnetic Field*, IMF), com intensidade de aproximadamente 5 nT nas circunvizinhanças da Terra.

Devido à rotação do Sol, o IMF tem, em larga escala, o aspecto de uma espiral de Arquimedes, conforme o exemplo da Ilustração 4, sendo quase radial próximo ao Sol e praticamente perpendicular à direção radial além de 5 – 10 AU. Na circunvizinhança da Terra, em 1 AU, o IMF tem inclinação de aproximadamente  $45^\circ$  em relação à reta que liga a Terra ao Sol.



**Ilustração 4** Apresentação esquemática do campo Magnético Interplanetário. Fonte: [http://nedwww.ipac.caltech.edu/level5/March03/Vallee2/Vallee3\\_2.html](http://nedwww.ipac.caltech.edu/level5/March03/Vallee2/Vallee3_2.html)

A região dominada pelos processos do IMF é conhecida como Heliosfera. A Ilustração 5 mostra um esquema da Heliosfera e suas principais características.



**Ilustração 5.** Esquema da Heliosfera e suas principais características. Fonte: Modificado de <http://canopy.lsmal.com/schryver/Public/homepage/coolstarimages4.html>.

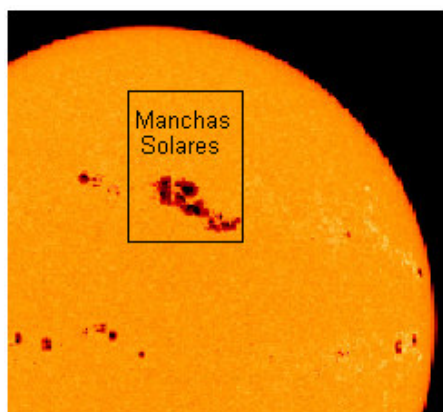
## 2.2 Atividade Solar

O Sol possui regiões situadas no interior de configurações de campo magnético em forma de ferradura ou arco, com linhas de fluxo magnético que se projetam pela Cromosfera até a Coroa Solar, cujas extremidades, pólos magnéticos norte e sul, estão presas na fotosfera associadas às manchas solares. Devido à ação destes campos, é nas regiões ativas que se observam os fenômenos conhecidos como explosões solares (*Flare*) e ejeções de massa coronais (CMEs). Estas explosões e CMEs ocorrem com maior frequência nos períodos de máxima atividade do chamado ciclo solar de 11 anos.

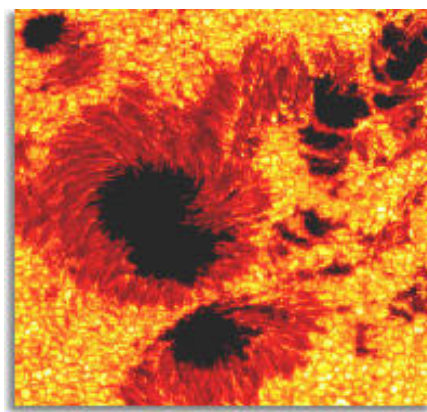
### 2.2.1 Ciclo de 11 Anos

A atividade solar varia em um período de aproximadamente 11 anos, afetando a variabilidade das estruturas do Meio Interplanetário e do Campo Magnético Interplanetário, sendo este ciclo tradicionalmente medido através do número de manchas solares.

As manchas solares são sempre geradas aos pares, possuindo um campo intenso e com polaridades opostas. A Ilustração 6 (a) mostra um grupo de manchas solares e a Ilustração 6 (b) mostra os detalhes da estrutura destas manchas, onde são identificadas a Umbra, região central e escura, e a Penumbra, região mais clara que o centro da mancha, mas mais escura que sua vizinhança.



(a)

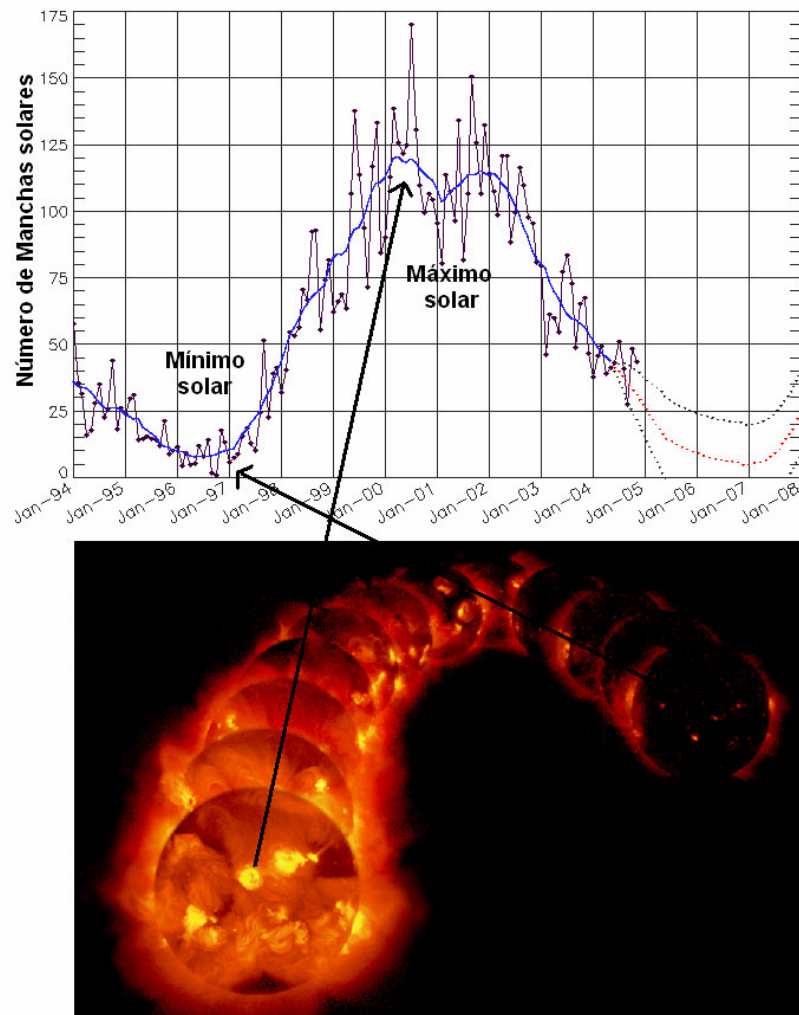


(b)

**Ilustração 6**(a) Grupo de manchas solares. Fonte: [http://www.altega.com/CienciaDidactica/LibroEclipse/Imaxes/EclipsesSolManualDidacticoGalego45\\_html\\_m69a01c57.jpg](http://www.altega.com/CienciaDidactica/LibroEclipse/Imaxes/EclipsesSolManualDidacticoGalego45_html_m69a01c57.jpg). (b) Detalhes da estrutura das manchas solares. Fonte: <http://www.dialogica.com.ar/astrolabio/archivos/Imagenes/manchasolar.jpg>.



Durante o ciclo solar são identificadas as distintas fases: mínimo, fase ascendente, máximo e fase descendente. No máximo solar ocorre o aumento de fenômenos energéticos nas regiões ativas associadas às manchas solares. Estes fenômenos são as explosões solares (*flares*) e as Ejeções de Massa Coronais, estas últimas podendo causar as Tempestades Geomagnéticas. A Ilustração 2.7 mostra um gráfico do ciclo solar dado em anos.



**Ilustração 7** Gráfico do Ciclo Solar dado em anos, mostra o Ciclo Solar de 11 anos.

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

## **2.3 Estruturas magnéticas do Meio Interplanetário**

### **2.3.1 Ondas de Choque**

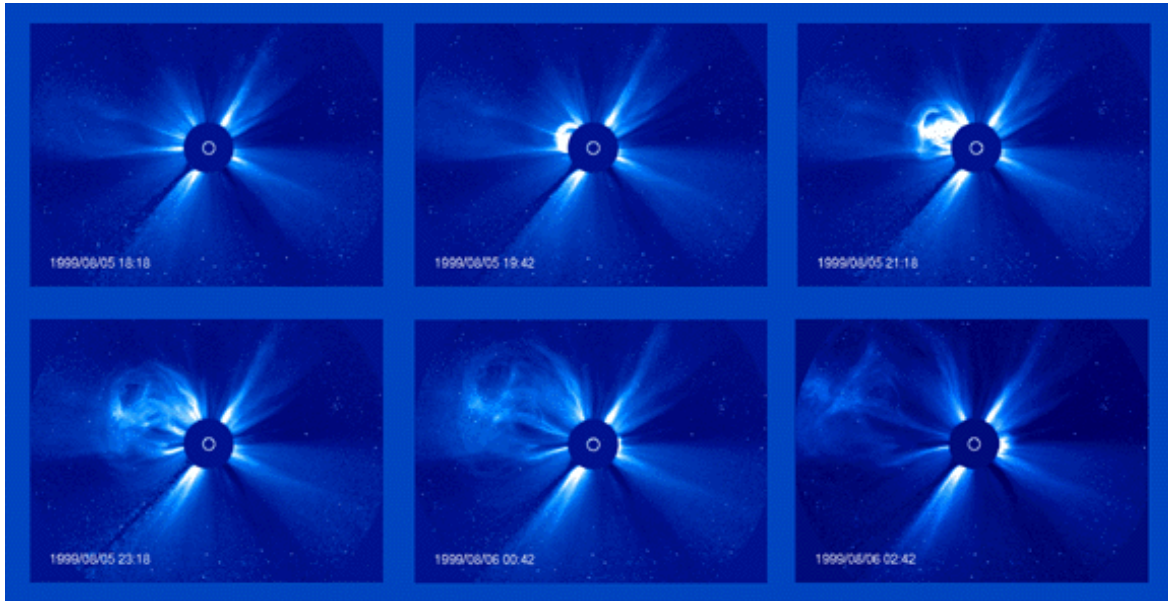
Tanto na teoria magnetohidrodinâmica (MHD) quanto na dinâmica de fluidos, existem superfícies sobre as quais os campos físicos variam descontinuamente, permanecendo constantes em qualquer um dos lados destas superfícies (Richter et al., 1985). Estas discontinuidades são chamadas de Ondas de Choque e são geradas quando um objeto físico desloca-se com uma velocidade acima das características do meio em que estão se propagando. Na teoria MHD, que descreve um fluido magnetizado, existem três velocidades características, a velocidade do som, a velocidade de Alfvén e a velocidade magnetossônica.

Para que uma onda de choque seja formada, uma estrutura que viaje pelo meio interplanetário deve se deslocar com uma velocidade no mínimo maior do que uma das três velocidades características deste meio (Parks, 1991). Estas velocidades podem produzir cinco tipos de choques MHD: choques rápidos, choques lentos e três tipos de choques intermediários. Apenas os choques rápidos e lentos estão presentes no Vento Solar, sendo identificados pela elevação da intensidade do Campo Magnético para o caso do choque rápido, ou pela redução da intensidade do Campo Magnético para o caso do choque lento.

### **2.3.2 Ejeção de Massa Coronal Interplanetária**

Uma Ejeção de Massa Coronal é um desprendimento de plasma solar que se propaga através do espaço interplanetário e produz distúrbios geomagnéticos devido a sua interação com o Campo Magnético Terrestre. Estas estruturas viajam com uma velocidade de várias centenas de *km/s*, arrastando consigo o plasma do vento solar e o Campo Magnético Interplanetário. Devido a sua velocidade estas estruturas são quase sempre acompanhadas por uma onda de choque.

As seqüências de imagens de Coronógrafos mostram a estrutura da densidade da Coroa Solar e suas variações temporais, bem como suas expulsões transientes de plasma, que são a essência das Ejeções de Massa Coronais (Hundhausen, 1997). Podemos ver um exemplo na Figura 2.8.



**Ilustração 8** Seqüência de imagens mostrando a ocorrência de uma CME observada pelo Coronógrafo LASCO C3 a bordo do satélite SOHO. Fonte: <http://sohowww.nascom.nasa.gov>.

O Coronógrafo mede a radiação fotosférica espalhada por de elétrons no Plasma Coronal Ionizado, mostrando a estrutura da densidade da Coroa. A possível causa destes fenômenos é ainda desconhecida, porém, é possível que as origens solares das CME estejam associadas aos Buracos Coronais (Hentish e Bravo, 1986). Os Buracos Coronais são regiões escuras, apresentando configurações de Campo Magnético aberto, de onde se originam Feixes de Altas Velocidades. Tipicamente as CMEs têm uma frequência relacionada com o Ciclo Solar, podendo ser observado cerca de um evento por semana, no mínimo do ciclo enquanto podem ocorrer 2 a 3 eventos por dia nos períodos do máximo da Atividade Solar.

Recentemente as CMEs foram divididas em dois tipos principais (Sheeley et al., 1999): (1) CMEs graduais, aparentemente formadas pela elevação de proeminências e suas cavidades, vindas da baixa coroa, apresentando aceleração gradual até valores máximos da ordem de 400-600 km/s<sup>2</sup> e (2) CMEs impulsivas, associadas a explosões e ondas EIT, que são ondas observadas em comprimento de onda ultravioleta, não apresentando aceleração e com velocidades iniciais maiores eu 750 km/s. Portanto a relação entre explosões e CMEs não está esclarecida, não sendo possível afirmar que um é causa/efeito do outro ou que são eventos independentes.

Quando observadas no meio interplanetário, as Ejeções de Massa Coronal são denominadas “Ejeções de Massa Coronal Interplanetária” (*Interplanetary Coronal Mass Ejections*, ICMEs). As observações de CMEs no meio interplanetário são feitas por satélites orbitando a Terra fora da Magnetosfera Terrestre, o ponto Lagrangeano interno L1 do sistema Sol-Terra localizado a aproximadamente 240 raios terrestres da Terra e por sondas em missões distantes da Terra. Estes instrumentos medem intensidade e direção do campo magnético e parâmetros de plasma tais como, temperatura, densidade e velocidade de íons e elétrons.

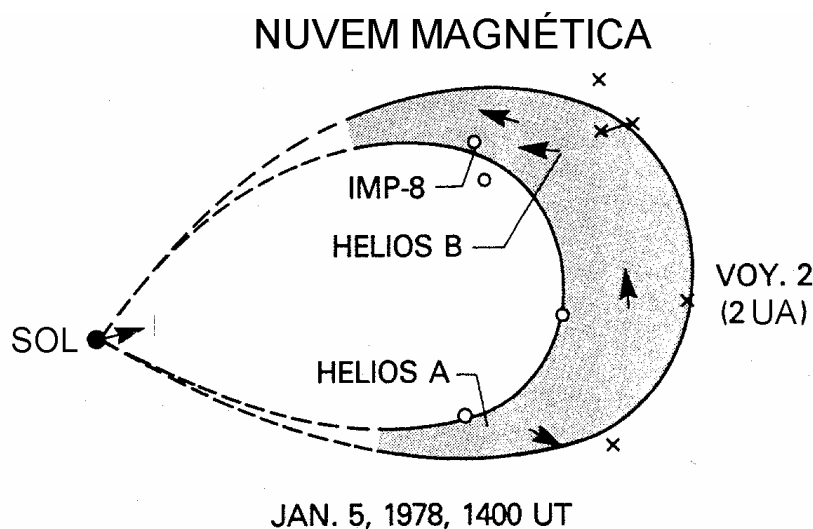
Segundo Neugebauer e Goldstein (1997), algumas das características das ICMEs são:

- (a) Baixa temperatura de íons para uma dada velocidade do vento solar, razão para tal característica é a expansão da estrutura;
- (b) Anisotropia não usual da distribuição de prótons com temperatura paralela superior a temperatura perpendicular ao Campo Magnético Interplanetário, causado pela conservação do momento magnético dos íons à medida que o Plasma se expande;
- (c) Abundância de Hélio não usual;
- (d) Abundância de outras espécies iônicas;
- (e) Feixes bidirecionais de elétrons supratermais e íons energéticos. Caracteriza uma configuração de Campo Magnético Interplanetário é possível que seja o Campo Magnético Interno de uma injeção, fechado e com extremidades presas no Sol;
- (f) Suave e intenso Campo Magnético interfere nos valores de parâmetro  $\beta$  de Plasma, que quando combinado com baixas temperaturas levam o parâmetro  $\beta$  a baixos valores. Este parâmetro é geralmente menor que 0,1;
- (g) Presença de rotação do Campo Magnético, algumas destas configurações são chamadas de Nuvens Magnéticas quando possuem: aumento de seu Campo Magnético por um fator maior que 2; suave rotação por um amplo intervalo de ângulo; e baixa temperatura iônica;
- (h) Decréscimo do fluxo de Raios Cósmiticos.

### 2.3.3 Nuvens Magnéticas

As Nuvens Magnéticas (*Magnetic Clouds*) são um subconjunto de massa coronal observadas no meio interplanetário (ICME), representando aproximadamente 1/3 das ICMEs observadas em 1UA (Gosling, 1990). Elas apresentam estruturas bem definidas e estão relacionadas às principais causas de Tempestades Geomagnéticas não recorrentes devido as suas características de campo magnético. Klein e Burlaga (1982) definiram Nuvem Magnética como uma estrutura com extensão radial com aproximadamente 0,25 UA (em 1 UA), levando aproximadamente 24 h para atravessar o satélite observador, com um campo magnético mais intenso que o do vento solar normal, normalmente  $B > 10$  nT, suave rotação da direção do campo magnético em um grande ângulo, próximo a  $180^\circ$ , baixa temperatura e baixo valor do parâmetro beta,  $\beta \sim 0,1$ .

Uma Nuvem Magnética observada por vários satélites possibilitou o estabelecimento de sua geometria, mostrada na Ilustração 9, adaptada de Burlaga et al. (1990). Na Ilustração estão indicados os satélites que observaram o evento ocorrido em 5 de Janeiro de 1978: IMP-8, Hélios A e Voyager 2. Na Ilustração 9, os “x” representam a fronteira dianteira da Nuvem Magnética vista por cada um dos satélites, e os círculos representam a fronteira traseira. As setas indicam a direção do campo magnético observado por cada um dos satélites. Esta situação é bastante rara, pois normalmente não é possível observar Nuvens Magnéticas com mais de um satélite simultaneamente.



**Ilustração 9** Geometria de uma Nuvem Magnética. Fonte: Adaptado de Burlaga et al. (1990, p.376).

### 2.3.4 Geofetividade das Nuvens Magnéticas

A razão principal das Nuvens Magnéticas estarem entre as principais causas de tempestades magnéticas é o fato de frequentemente apresentarem campo magnético  $B_z$  negativo e intenso ( $|B| > 10 nT$ ) por intervalos de tempos superiores à 3h, cumprindo os critérios de Gonzáles e Tsurutani (1987) para a ocorrência de tempestades intensas.

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

### 2.4 Raios Cósmicos

Os Raios Cósmicos são partículas que viajam pelo espaço e possuem um espectro de energia que varia desde alguns MeV até acima de  $10^{21}$  eV. Contendo um grande poder de penetração estas partículas bombardeiam a Terra em todas as direções, atingindo o topo da atmosfera terrestre com um fluxo com mais de  $10^{18}$  partículas por segundo.

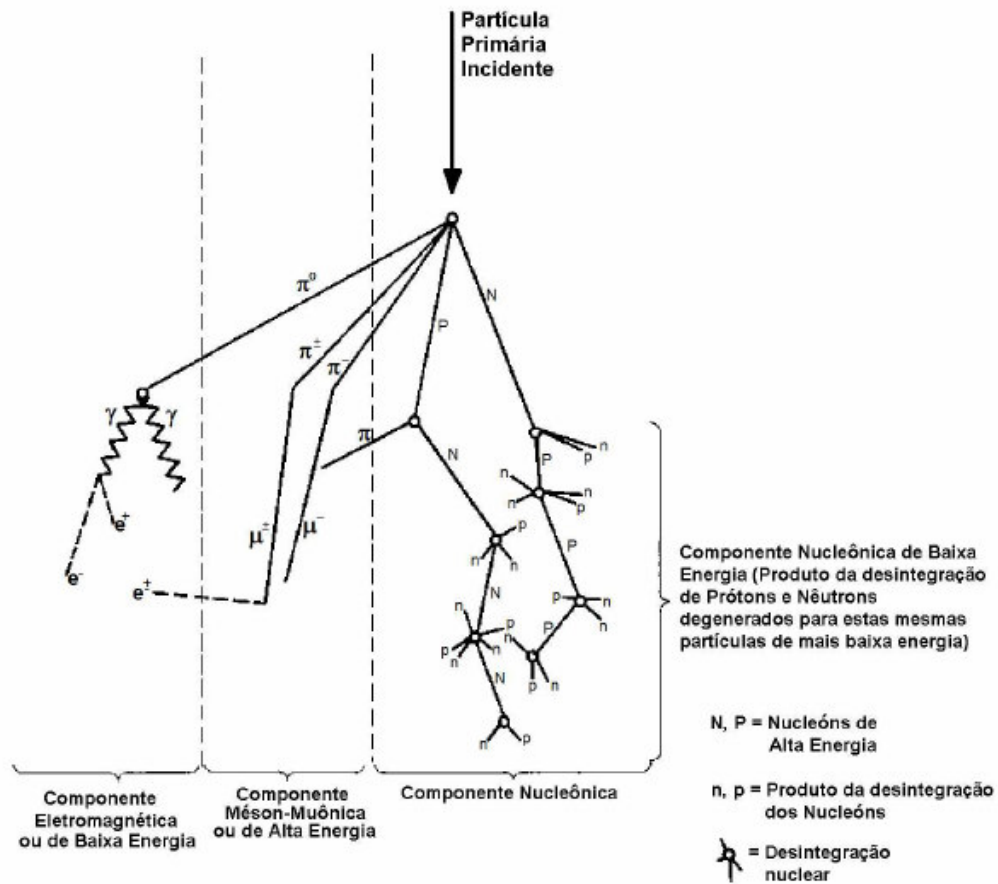
Os Raios Cósmicos podem ser divididos em duas categorias: os Raios Cósmicos Primários, que são as partículas que sofrem a modulação heliosférica, podendo ser originadas em três locais diferentes: no centro da galáxia, no Sol e na Heliosfera através da interação de partículas neutras do gás interestelar com o vento solar e os Raios Cósmicos Secundários, que são os produtos da interação dos Raios Cósmicos Primários com a atmosfera terrestre, sofrem as modulações principalmente do campo magnético e da atmosfera terrestre.

Os raios cósmicos primários se subdividem:

- a) Raios Cósmicos Galácticos (*Galactic Cosmic Rays, GCR*)\_ são oriundos de fora do sistema solar mas geralmente de dentro da Via Láctea. Os GCRs são núcleos atômicos dos quais os elétrons circunvizinhos foram acelerados durante a passagem em alta velocidade pela galáxia. Aproximadamente 90% dos raios cósmicos são núcleos de hidrogênio (prótons), 9% é composto por núcleos de hélio (partículas  $\alpha$ ) e apenas 1% de outros elementos mais pesados.
- b) Raios Cósmicos Solares (*Solar Cosmic Rays, SCR*)\_ são originários do Sol, algumas vezes bastante intensos, associados à explosões solares (*Flares*). A intensidade dos raios cósmicos retorna ao seu nível normal dentro de dezenas de minutos até alguns dias. Os SCR possuem aproximadamente a mesma composição que os GCR: aproximadamente 89% de prótons, 10% de partículas alfa e 1% de elementos mais pesados, mas com uma energia variando de algumas centenas de MeV até alguns GeV .
- c) Raios Cósmicos Anômalos (*Anomalous Cosmic Rays, ACR*)\_ são originários do espaço interestelar além da Heliopausa. Diferem dos RCG por apresentarem em sua composição uma porcentagem superior de Hélio (partículas Alfa).

Quando partículas de raios cósmicos primários atingem o topo da Atmosfera Terrestre, reações nucleares fazem com que um conjunto de várias partículas secundárias seja formado. Alguns dos rastros das colisões são reconhecidos como sendo píons, outros representando nucleons e um deles sendo o remanescente do núcleo original. A Ilustração 10 mostra, esquematicamente, algumas das partículas secundárias de um “chuveiro” de raios cósmicos, gerado a partir da interação das partículas primárias de raios cósmicos com os constituintes atmosféricos. A Ilustração mostra três tipos de componentes: componente méson-muônica; componente eletromagnética; componente nucleônica.



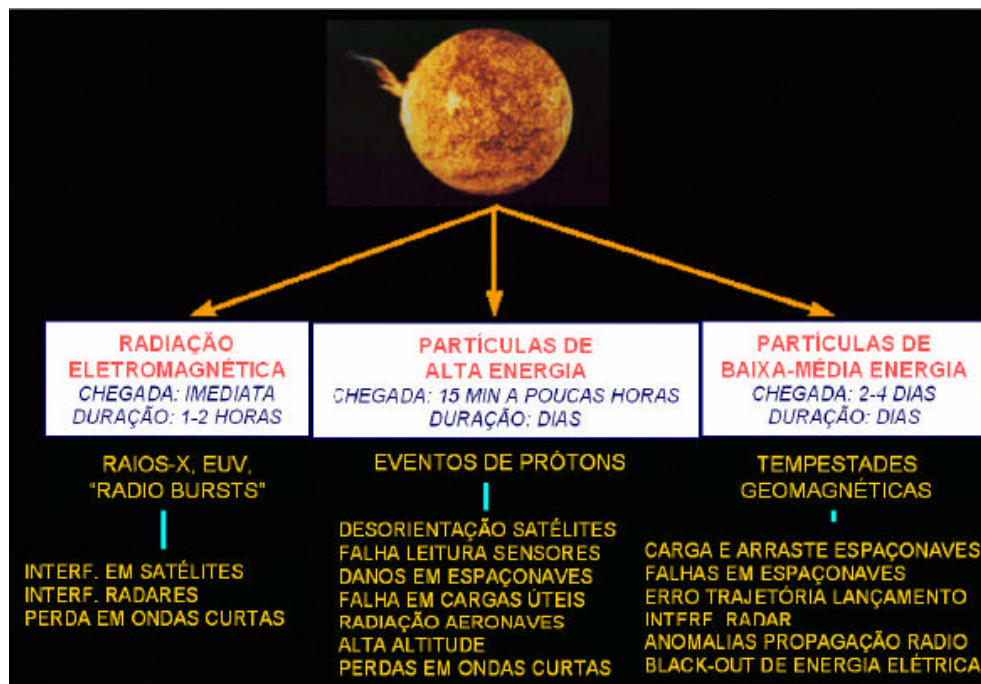


**Ilustração 10** Diagrama esquemático de um chuveiro de raios cósmicos. Fonte: Modificado de Forbush (1993).

A relação entre a incidência na Terra dos Raios Cósmicos e as Nuvens Magnéticas é de grande importância para o estudo do Clima Espacial, pois quando uma Nuvem Magnética se aproxima, ela age como um escudo fazendo com que a taxa de Raios Cósmicos que incidem na Terra, vindos daquela direção, diminua. Através disso é possível perceber quando uma Nuvem Magnética se aproxima da Terra e prever a ocorrência de uma Tempestade Magnética.

## 2.5 Clima Espacial

Como já foi comentado anteriormente Clima Espacial é o conjunto de variações das condições do Meio Interplanetário por influência da Atividade Solar. Alguns exemplos dessas condições são o Vento Solar, a Radiação Eletromagnética e o Campo Magnético Interplanetário. A Ilustração 11 mostra os fenômenos que afetam o Clima Espacial mostrando os seus tempos de chegada na Terra e de duração, as energias envolvidas e seus principais efeitos.



**Ilustração 11** Fenômenos que afetam o Clima Espacial, energias envolvidas, tempo de duração de eus efeitos e principais tipos de danos em sistemas tecnológicos. Fonte: Schwenn (comunicação pessoal), (apud Dal Lago, 2003).

São inúmeros os danos em sistemas tecnológicos tanto no espaço como na superfície da Terra, principalmente nos sistemas de telecomunicações é por isso que foram desenvolvidas várias técnicas para a previsão do Clima Espacial na tentativa de reduzi-los.

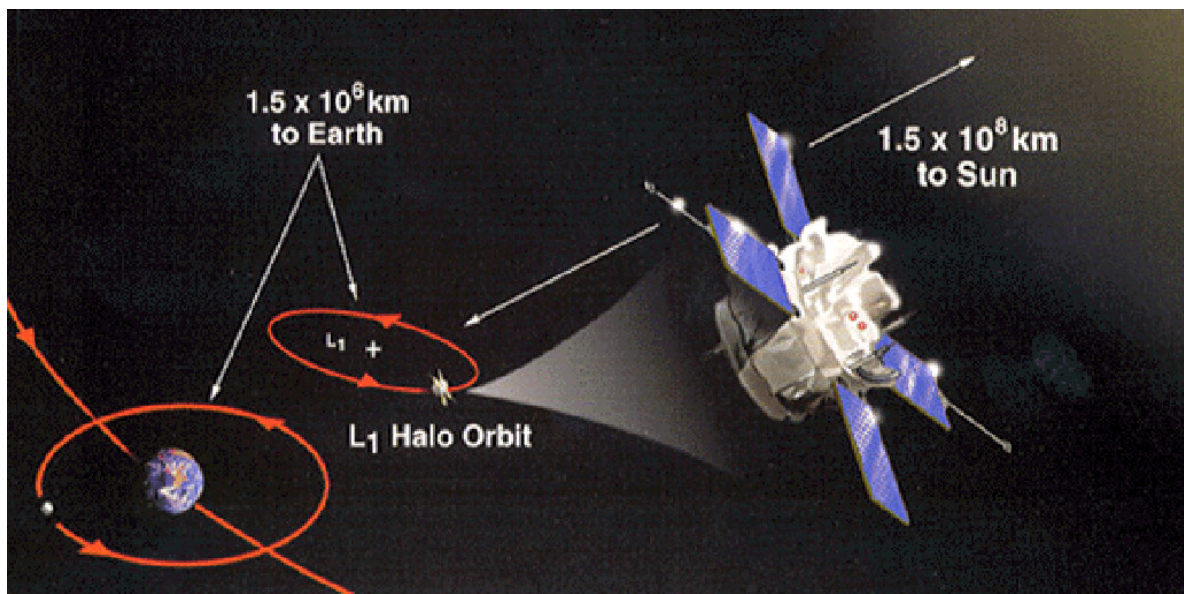
Duas formas são utilizadas projeto, através da análise de dados obtidos por dois satélites localizados no ponto Lagrangeano L1, ACE e SOHO, e por uma rede de Telescópios Cintilador de Muons localizada na superfície terrestre.

## CAPÍTULO 3

### Metodologia

#### 3.1 O Satélite ACE

O Satélite ACE (*Advanced Composition Explorer*) orbita o ponto Lagrange L1, definido como o ponto onde ocorre o equilíbrio gravitacional entre o Sol e a Terra a aproximadamente 1,5 milhões de quilômetros do Sol. Descrevendo uma órbita elíptica com o semi-eixo de aproximadamente 200.000 km o ACE possui uma visão primária do Sol e de regiões galácticas, como podemos ver na representação da Ilustração 12. Alguns dos instrumentos a bordo do ACE são: Espectrômetro Ultra das baixas energias, Analisador de Partículas Energéticas Solares (Íons carregados), espectrômetro de Vento Solar (Massa e composição iônica), Monitor de prótons, Elétrons e partículas Alfa, Magnetômetro.



**Ilustração 12** Ilustração representativa da órbita do ACE. Fonte: <http://www.srl.caltech.edu/ACE>.

Os dados usados do Satélite ACE são públicos e estão disponíveis na internet e estão dispostos em forma de colunas como mostra a Ilustração 13, que mostra um trecho dos dados de alguns dados fornecidos pelo ACE.

Year	day	hr	min	sec	fp_year	Np	Tp	Vp	B_gsm_x	B_gsm_y	B_gsm_z	Bmag
BEGIN DATA												
2004	305	0	0	17.021	2004.83060163	6.626	1.6244e+05	449.64	-5.701	-4.068	3.581	8.015
2004	305	0	1	21.043	2004.83060366	6.822	1.4809e+05	447.46	-7.378	-2.982	0.287	8.352
2004	305	0	2	24.979	2004.83060568	7.245	1.5794e+05	438.56	-7.439	-2.900	1.038	8.225
2004	305	0	3	29.002	2004.83060770	7.392	1.5806e+05	445.45	-7.082	-3.174	2.223	8.180
2004	305	0	4	33.024	2004.83060973	6.601	1.7844e+05	446.64	-7.378	-3.087	0.206	8.058
2004	305	0	5	37.046	2004.83061175	6.862	1.6687e+05	438.85	-7.725	-2.224	0.740	8.103
2004	305	0	6	40.982	2004.83061377	7.001	1.7078e+05	442.36	-7.437	-3.020	0.928	8.090
2004	305	0	7	45.005	2004.83061580	6.785	1.8775e+05	441.54	-8.103	-2.587	0.202	8.529
2004	305	0	8	49.027	2004.83061782	6.646	2.1039e+05	444.75	-8.274	-1.817	0.179	8.540
2004	305	0	9	53.050	2004.83061985	6.523	1.8604e+05	440.03	-8.009	-2.439	1.116	8.470
2004	305	0	10	56.986	2004.83062187	6.888	1.7058e+05	436.83	-7.514	-3.361	0.294	8.259
2004	305	0	12	1.008	2004.83062389	6.747	1.4938e+05	439.21	-7.489	-3.524	0.764	8.316
2004	305	0	13	5.030	2004.83062592	6.560	1.7307e+05	443.93	-7.239	-3.774	1.080	8.249
2004	305	0	14	9.053	2004.83062794	6.528	1.5840e+05	445.21	-6.526	-3.929	1.959	7.872
2004	305	0	15	12.989	2004.83062996	6.295	1.8536e+05	448.08	-6.262	-3.868	2.092	7.664
2004	305	0	16	17.011	2004.83063199	6.249	1.6868e+05	444.22	-6.183	-3.702	2.123	7.524
2004	305	0	17	21.034	2004.83063401	6.197	1.7737e+05	445.24	-6.204	-3.390	2.342	7.465
2004	305	0	18	25.056	2004.83063604	6.320	1.8735e+05	443.45	-6.388	-3.194	2.095	7.463
2004	305	0	19	28.992	2004.83063806	6.111	1.8575e+05	448.40	-6.448	-3.025	1.700	7.378
2004	305	0	20	33.014	2004.83064008	6.305	1.9047e+05	440.38	-6.996	-2.379	0.619	7.434

**Ilustração 13** Tabela de dados obtidos do Satélite ACE, dados baixados da internet pelo bolsista para confecção de gráficos. Fonte dos dados: [http://www.srl.caltech.edu/ACE/ASC/level2/mag\\_l2desc.html](http://www.srl.caltech.edu/ACE/ASC/level2/mag_l2desc.html)

O quadro acima contém colunas que indicam respectivamente o ano, dia, hora, minuto, segundo, ano fracionado, densidade, temperatura e velocidade dos prótons, os valores das componentes nas direções x, y e z do Campo Magnético da Nuvem Magnética e o módulo do Campo Magnético. Estes dados são utilizados para a confecção de gráficos para posterior análise. Os gráficos são feitos através de rotinas no programa IDL (*Interactive Data Language*). Um exemplo de rotina feita no IDL para plotar gráficos é mostrada na Ilustração 14..

```
pro dados : Deve sempre ser usado para iniciar o programa
result=read_ascii('C:\Documents and Settings\Marcos Vinicius\Meus documentos\laboratorio\IDL\teste_dados.txt')
;Indica a localização dos dados

data1=result.(0) ; result é apenas uma variável, pode ser substituída por qualquer outra
tempo =(data1(1,*)/1.0)+(data1(2,*)/24.0) + (data1(3,*)/(60.0*24.0)) + (data1(4,*)/(3600.0*60.0*24.0))
Vp=data1(8,*) ;o número dentro dos parenteses indica a coluna em que estão os dados e o * as linhas(todas)
Bmag=data1(12,*)
N=data1(6,*)
T=data1(7,*)
E_gsm_x=data1(9,*)
E_gsm_y=data1(10,*)
E_gsm_z=data1(11,*)

p=N*T*1381e-20 ;operação usada para encontra o valor da pressão.o * indica multiplicação
window,2,xsize=600,ysize=800; window foi usado para abrir outra janela para o gráfico, xsize e ysize são usados
;para aumentar os valores das letras dos gráficos size é dado em pixel

!P.MULTI = [0, 1, 6] ;!P.MULTI permite que varios gráficos sejam colocados na mesma janela.
;os numeros indicam a quantidade dos gráfico e como elas estão dispostos

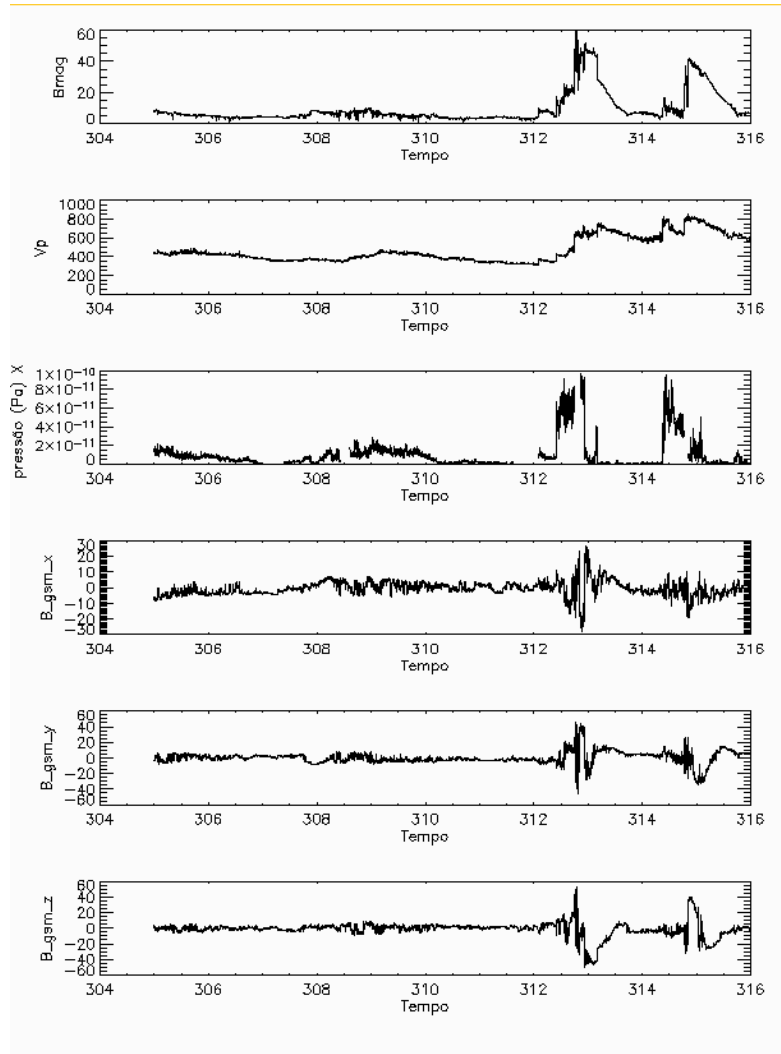
plot,Tempo,Bmag,min_value=0,xtitle='Tempo',ytitle='Bmag',charsize=2;min_value (mínimo valor),charsize tamanho dos
;dados do gráfico
plot,Tempo,Vp,min_value=0,xtitle='Tempo',ytitle='Vp',charsize=2
plot,Tempo,p,max_value=1e-10,min_value=0,xtitle='Tempo',ytitle='pressão (Pa) X ',charsize=2 ; max_value (máximo valor)
plot,Tempo,E_gsm_x,xtitle='Tempo',ytitle='E_gsm_x',charsize=2
plot,Tempo,E_gsm_y,xtitle='Tempo',ytitle='E_gsm_y',charsize=2
plot,Tempo,E_gsm_z,xtitle='Tempo',ytitle='E_gsm_z',charsize=2

stop ; comando que permite deixar as variáveis do programa abertas
;gravar um arquivo de saída

openw,lun,'C:\Documents and Settings\Marcos Vinicius\Meus documentos\laboratorio\IDL\teste_dados_saida.txt',/get_lun
for n=0, n_elements(Vp)-1 do begin
    printf,lun,format='(E0,1x,E0,1x,E0)',$,
    Tempo(n),p(n),N(n)
endfor
free_lun,lun
end ; fim do programa
```

**Ilustração 14** Rotina desenvolvida pelo bolsista no IDL para plotar gráficos com dados do Meio Interplanetário.

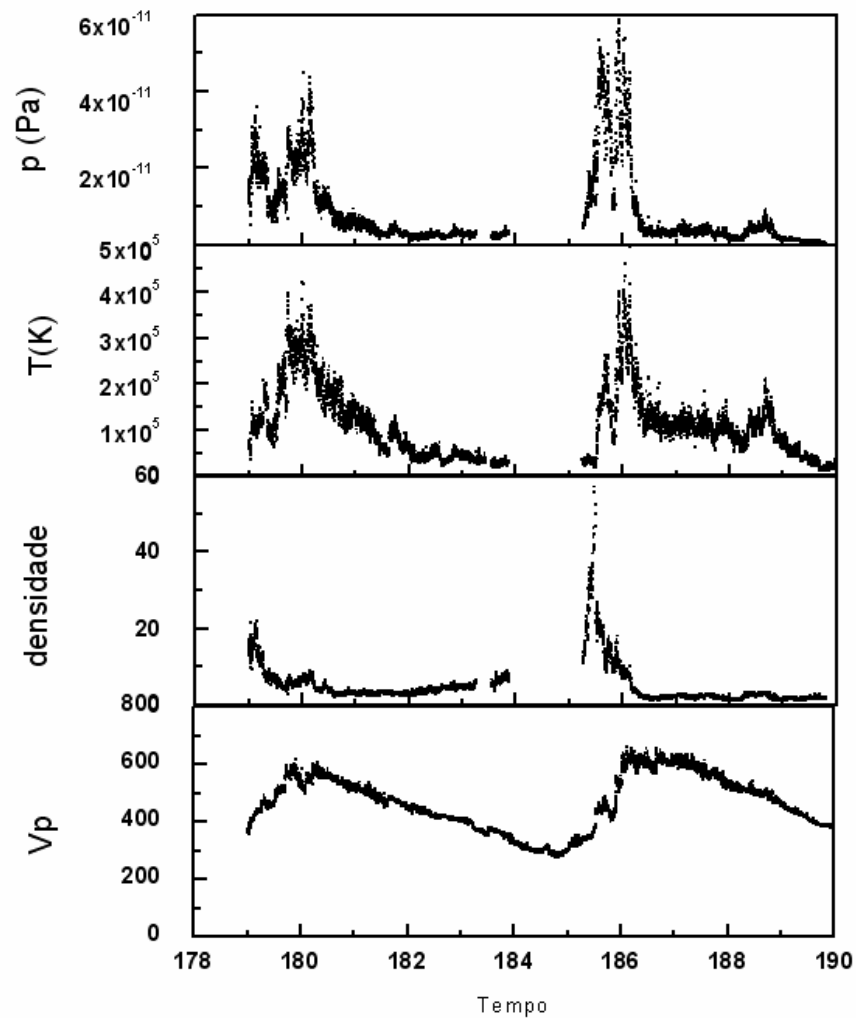
A rotina acima foi utilizada para plotar gráficos a partir de dados do meio interplanetário como o número, temperatura e velocidade dos prótons que compõem a nuvem magnética e o valor das coordenadas x, y e z e do módulo do seu campo magnético, respectivamente da coluna 7 a 13, o programa lê os dados em um arquivo que esta localizada na segunda linha. Além de plotar gráficos, a rotina também gera um arquivo de saída para facilitar futuras utilizações dos dados em outros graficadores como, por exemplo, o Origin. Os três primeiros gráficos obtidos da rotina, que estão na Ilustração 15, são respectivamente do módulo do Campo Magnético, velocidade dos prótons, pressão térmica da Tempestade Magnética e os últimos três gráficos são dos valores das coordenadas nas direções x, y e z do Campo Magnético.



**Ilustração 15** Gráficos obtidos a partir do programa IDL.

A vantagem de gerar um arquivo de saída no IDL é poder utilizar os dados em outros programas, onde muitas vezes os gráficos possuem melhor qualidade que os plotados pelo IDL. A Ilustração 16 mostra os gráficos da pressão térmica da Tempestade Magnética (*N.k.T*), da temperatura, densidade e velocidade dos prótons realizados pelo bolsista com os dados do dia 305 ao dia 315 do ano de 2004, a partir do arquivo de saída no programa Origin.





**Ilustração 16** Gráficos feitos pelo bolsista através do programa Origin

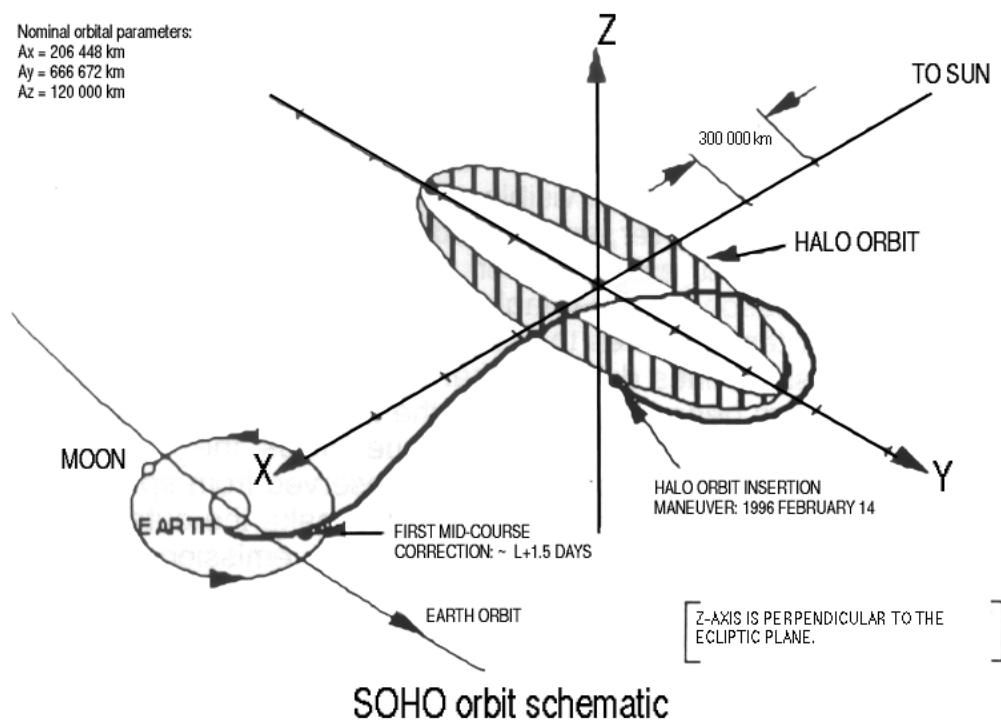
O Origin possibilitou a disposição dos gráficos em uma coluna sem espaços entre os gráficos, possibilitando uma maior facilidade para uma futura análise do evento.

A partir da confecção de gráficos de evento de ICMEs nos conformes da metodologia desenvolvida será possível a realização de análise de dados nas etapas seguintes do projeto.

### 3.2 Satélite SOHO

A cooperação entre a Agência Espacial Européia (ESA) e a Administração Nacional de Aeronáutica e Espaço (NASA) propiciou a realização da construção do Satélite SOHO (*Solar & Heliospheric Observatory*). Um dos objetivos principais da cooperação é o estudo científico das relações Sol-Terra.

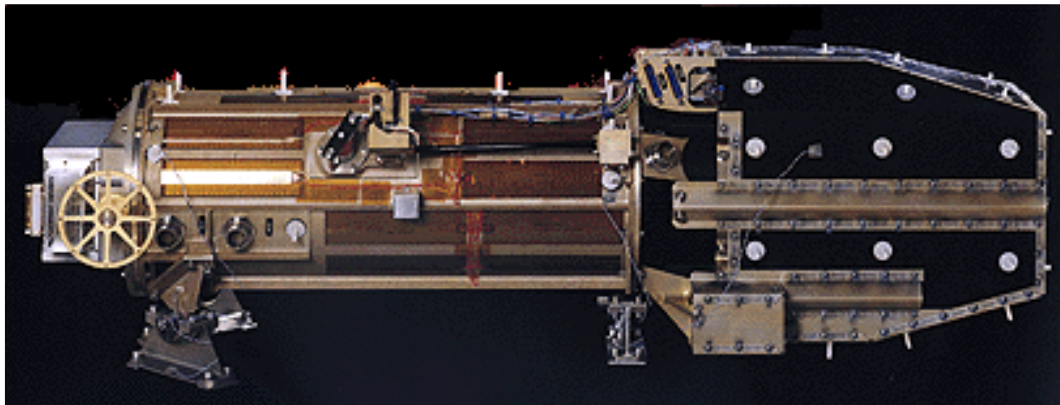
O Satélite SOHO é usado para estudar a estrutura interna e a atmosfera do Sol e a origem do vento solar, caracterizando-se como um ótimo instrumento para o estudo das interações Sol-Terra. Estando em operação desde 1995, a mais de 10 anos o SOHO faz um excelente trabalho ininterrupto de monitoramento do Sol. SOHO assim como o satélite ACE está localizado no ponto Lagrangeano L1. A Ilustração 17 mostra um esquema da órbita do Satélite SOHO.



**Ilustração 17** Esquema da órbita do Satélite SOHO. Fonte: <http://sohowww.nascom.nasa.gov>.

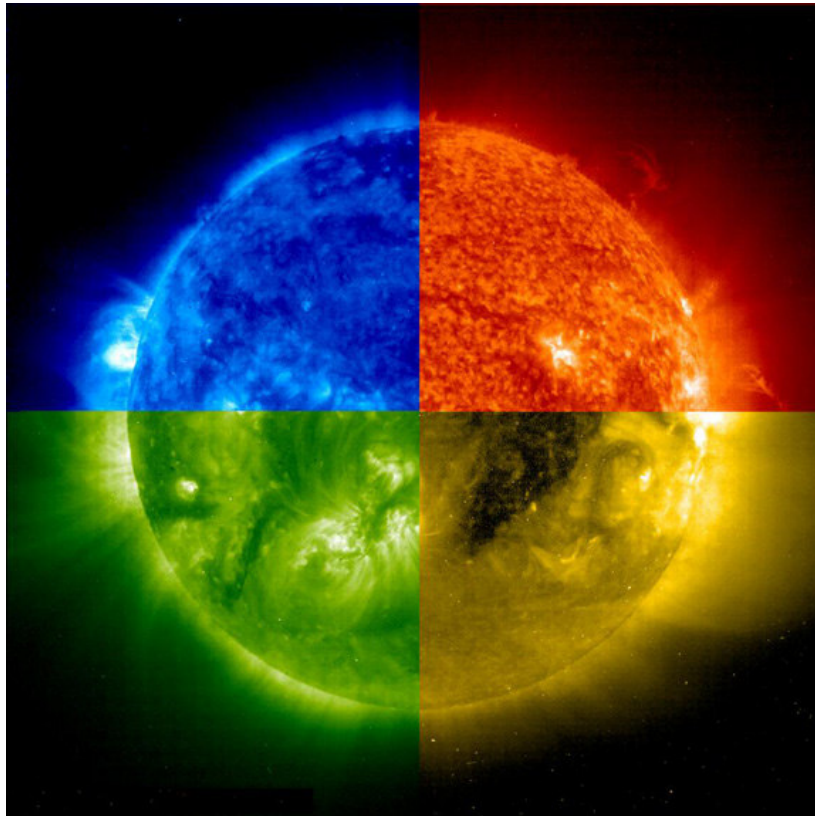


Dentre os instrumentos abordo do Satélite SOHO estão os Coronógrafos LASCO e o EIT. Coronógrafo LASCO (*Large Angle and Spectroscopic Coronagraph*) consiste em um conjunto de três coronógrafos que fornecem imagens da coroa solar de 1,1 a 32 raios solares. Os três coronógrafos que compõem o Coronógrafo LASCO são: C1 com uma cobertura de 1.1 a 3 raios solares, o C2 que abrange uma cobertura que pega partes do C1 e C3 e se estende de 2 a 6 raios solares e o C3 que fornece imagens da coroa exterior, estendendo-se de 3.7 a 32 raios solares. A utilização do Coronógrafo LASCO está na tarefa de descobrir o mecanismo de aquecimento da Coroa Solar, a origem e o mecanismo de aceleração do Vento Solar, estudar a causa das CME e o seu papel na evolução temporal do Campo Magnético em grande escala e na investigação do que é a distribuição e as propriedades da nuvem de poeira Zoadical. O Coronógrafo EIT (*Extreme Ultraviolet Imaging Telescope*) foi projetado para fornecer imagens de todo o disco solar, da região de transição e do interior do coroa solar, a Ilustração 18 traz uma fotografia do Coronógrafo EIT.



**Ilustração 18** Imagem do instrumento EIT. Fonte:  
[http://umbra.nascom.nasa.gov/eit/EIT.html#WHAT\\_EIT](http://umbra.nascom.nasa.gov/eit/EIT.html#WHAT_EIT)

O EIT consiste de um telescópio de Ritchey–Chrétien, diversos filtros em um detector CCD. O EIT é capaz de captar radiação eletromagnética em 4 comprimentos de onda distintos que são: 171 Å (Fe IX e Fe X); 195 Å (Fe XII); 284 Å (Fé XV); 304 Å (He II). A seguir na Ilustração 19 são exemplificados os quatro tipos de imagens obtidas pelo EIT.

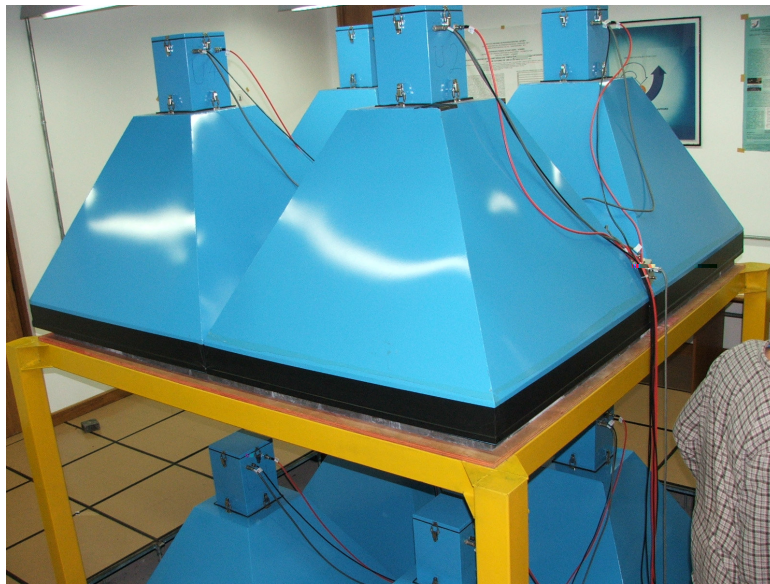


**Ilustração 19** O Sol dividido em 4 quadrantes, onde cada quadrante corresponde a um comprimento de onda distinto. Fonte: <http://sohowww.nascom.nasa.gov>.

### 3.3 Telescópio Cintilador de Muons

Um Telescópio Cintilador de Muons (TCM) está em atividade no Observatório Espacial do Sul (OES/CRS/INPE – MCT), em São Martinho da Serra, RS, Brasil (Latitude 29°, 26', 24''S, Longitude 53°, 48', 38''O, altitude 492m acima do nível do mar) no âmbito da parceria INPE/MCT – LACESM/CT/UFSM, desde março de 2001. O TCM faz parte da rede internacional de telescópios, constituída por seis telescópios, um em cada cidade: Nagoya (Japão), Hobart (Austrália), Kuwait (Kuwait), São Martinho da Serra (Brasil), Greifswald (Alemanha) e Yerevan (Armênia).

Durante a primeira parte do projeto em março de 2001 foi instalado um protótipo de um TCM no OES com duas camadas de 4 detectores em cada uma (Ilustração 20) e em dezembro de 2005 o TCM foi ampliado para duas camadas com 28 detectores em cada uma, Ilustração 21.

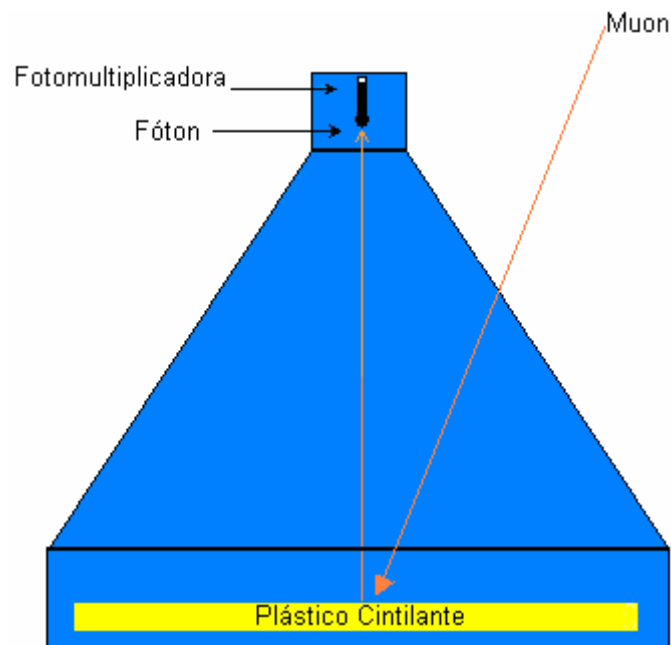


**Ilustração 20** Foto do protótipo do TCM instalado em março de 2001, em São Martinho da Serra, Brasil.



**Ilustração 21** Fotografia do TCM expandido em dezembro de 2005, em São Martinho da Serra.

A detecção e contagem dos muons são realizadas pelo método de contagem por cintilação. Quando um muon atinge o plástico cintilante, localizado dentro de cada telescópio, alguns fótons são emitidos e detectados por uma fotomultiplicadora que está acoplada em cada telescópio, a Ilustração 22 mostra uma esquema de um TCM.



**Ilustração 22** Esquema de um TCM.

As grandes vantagens que a previsão do clima espacial através rede de TCMs apresenta em relação aos instrumentos encontrados nos satélites ACE e SOHO, são a possibilidade de fácil manutenção dos instrumentos e principalmente o tempo de previsão de Tempestade Geomagnética que chega até a 9h de antecedência (Munakata et al. 201), enquanto os telescópios ACE e SOHO têm um tempo de previsão em média de 40 min.

Nas próximas etapas do projeto o bolsista fará análises dos parâmetros de plasma das estruturas interplanetárias e o cálculo do parâmetro beta ( $\beta$ ) que determina a relação entre a pressão cinética e a pressão magnética na estrutura a partir dos dados do TCM.

As análises serão feitas com os dados do TCM usando rotinas em linguagem de programação IDL de maneira semelhante às rotinas realizadas para a análise dos dados do Satélite ACE.



## CAPÍTULO 4

### Conclusão

Com o grande desenvolvimento dos sistemas tecnológicos torna-se necessário o monitoramento das atividades solares. Um dos resultados destas atividades são as CMEs que quando entram em contato com a Magnetosfera Terrestre provocam as tempestades geomagnéticas.

Com isso, crescem os esforços internacionais para o estudo das variabilidades solares e inúmeras as maneiras de realizar este estudo. Como, por exemplo, através dos Satélites ACE e SOHO e ainda pela Rede Internacional de Detectores de Muons, no qual, um dos TCMs que a compõem está instalado no OES em São Martinho da Serra, Brasil.

Os métodos usados para as análises do meio interplanetário são muito parecidos, embora, pelo fato do TCM estar localizado na superfície da Terra é mais viável a realização de reparos, propiciando que o bolsista juntamente com os demais integrantes do Laboratório de Clima Espacial e Previsão de Tempestades Magnéticas possam ter acesso ao TCM, fato que é de extrema relevância para o bolsista.

O TCM tem as vantagens de fazer uma previsão mais longa da ocorrência de uma tempestade geomagnética e sua manutenção é mais simples e barata do que os telescópios ACE e SOHO.

É de extrema importância a oportunidade que foi concedida ao bolsista de realizar a sua iniciação científica atuando na área de Clima Espacial, que está se tornando muito importante para prevenção de danos em sistemas de comunicação de transmissão de energia elétrica causados por tempestades magnéticas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DAL LAGO, A.; SCHWENN, Rainer; STENBORG, Guillermo; GONZALEZ, Walter D. Coronal mass ejection speeds measured in the solar corona using LASCO C2 and C3 images. **Advances in Space Research**, Inglaterra, v. 32, n. 12, p. 2619-2624, 2003.

DAL LAGO, A.; VIEIRA, Luis Eduardo Antunes; ECHER, Ezequiel; GONZALEZ, Walter D.; GONZALEZ, Alicia L Clua de; GUARNIERI, Fernando Luis; BALMACEDA, Laura Antonia; SANTOS, Jean Carlo; SILVA, Marlos Rockenbach da; LUCAS, Aline de ; SCHUCH, Nelson Jorge . Great geomagnetic storms in the rise and maximum of solar cycle 23. **Brazilian Journal of Physics**, Brasil, v. 34, n. 4B, p. 1542-1546, 2004.

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

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

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

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

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

Neugebauer e Goldstein, Particle and field signatures of coronal mass ejections in the solar Wind. In: **Coronal Mass Ejections**, Crooker et al. ed., Geophysical Monograph Series, 1997.

SCHWENN, Rainer ; DAL LAGO, A. ; HUTTUNEN, Emilia ; GONZALEZ, Walter D .  
The association of coronal mass ejection with their effects near the Earth. **Annales Geophysicae-Atmospheres Hydrospheres And Space Sciences**, v. 23, n. AG/2004180, p. 1033-1059, 2005.



## Anexo 1

### Programas e Gráficos Confeccionados Pelo Bolsista Substituto

Programa 1: realizado a demonstração dos comandos básicos do programa IDL.

```
!bro program1
x=fltarr(7)
y=fltarr(7)

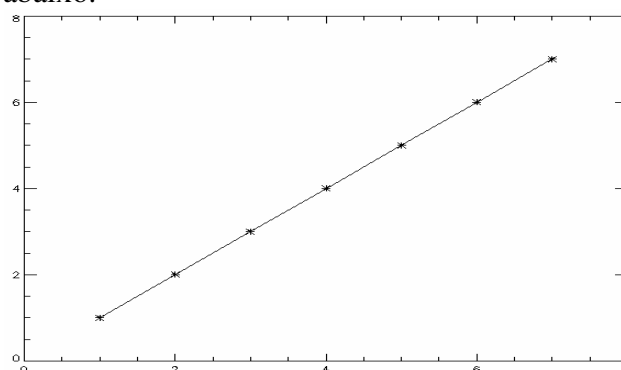
print,'Entre com os valores para x'

for i=0,6 do begin
read,a
x(i)=a
endfor
print,a
print,'Entre com os valores de y'

for j=0,6 do begin
read,b
y(j)=b
endfor
print,b

plot, x, y, psym=2
parametros=linfit(x,y)
reta=parametros(1)*x+y
print,parametros
oplot,x, reta
stop
end
```

O programa lê 7 dados na tela para x e 7 para y e plota o gráfico um ajuste linear conforme o gráfico abaixo.



Programa 2: Realizado com dados fornecidos pelo Telescópio ACE do Meio Interplanetário dos dias 305 ao dia 315 do ano de 2004. Este programa possui a instrução para gerar um arquivo de saída.

```
pro dados ; Deve sempre ser usado para iniciar o programa
result=read_ascii('C:\Documents and Settings\Marcos Vinicius\Meus documentos\laboratorio\ID1\teste_dados.txt')
;Indica a localização dos dados

data1=result.(0) ; result é apenas uma variável, pode ser substituída por qualquer outra

tempo =(data1(1,*)/1.0)+(data1(2,*)/24.0) + (data1(3,*)/(60.0*24.0)) + (data1(4,*)/(3600.0*60.0*24.0))
Vp=data1(8,*) ;o número dentro dos parenteses indica a coluna em que estão os dados e o * as linhas(todas)
Emag=data1(12,*)
N=data1(6,*)
T=data1(7,*)
E_gsm_x=data1(9,*)
E_gsm_y=data1(10,*)
E_gsm_z=data1(11,*)

p=N*T*1381e-20 ;operação usada para encontra o valor da pressão,o * indica multiplicação
window,2,xsize=600,ysize=800; window foi usado para abrir outra janela para o gráfico, xsize e ysize são usados
;para aumentar os valores das letras dos gráficos size é dado em pixel

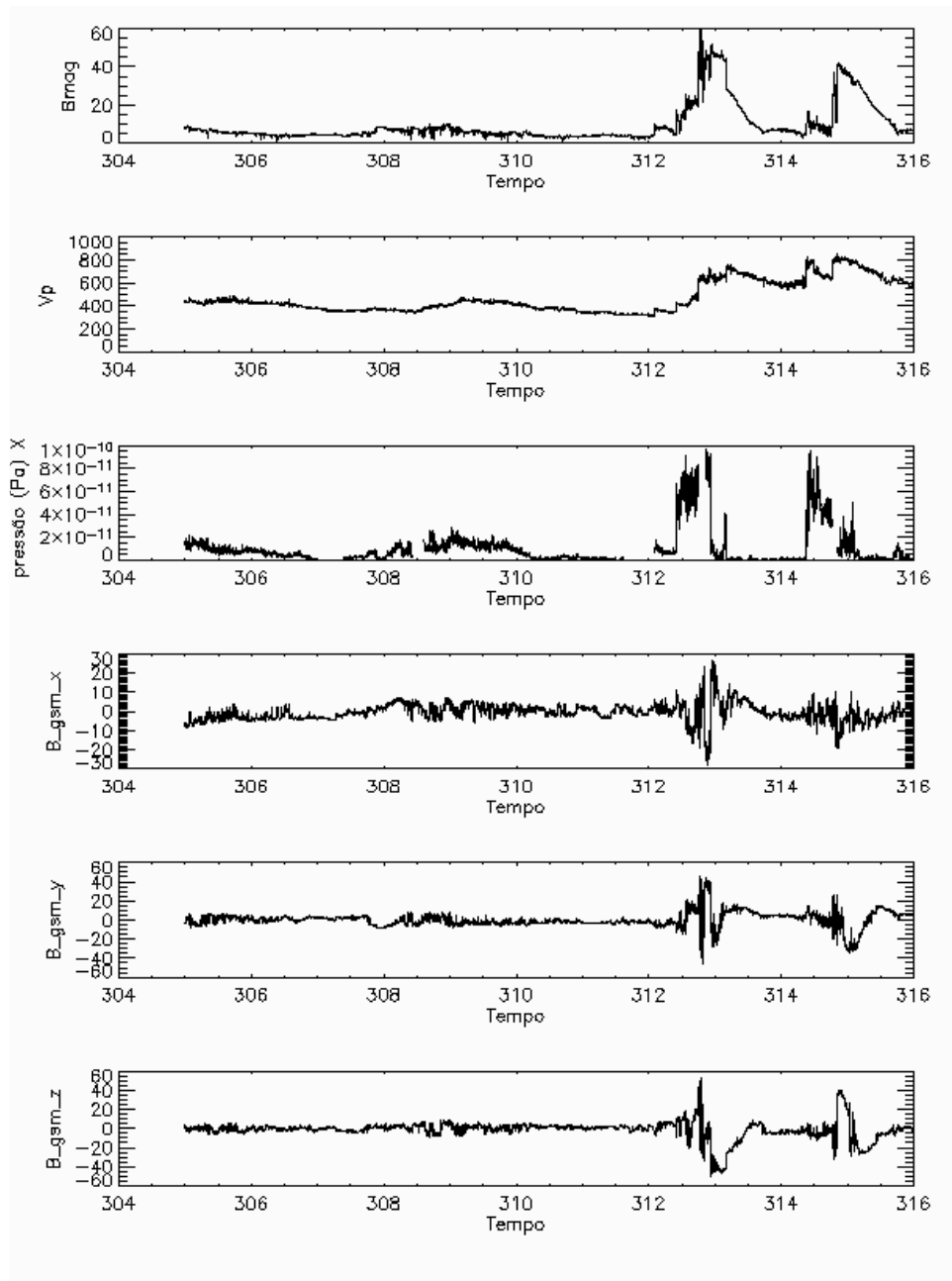
!P.MULTI = [0, 1, 6] ;!P.MULTI permite que varios gráficos sejam colocados na mesma janela,
;os números indicam a quantidade dos gráfico e como elas estão dispostos

plot,Tempo,p,max_value=1e-10,min_value=0,xtitle='Tempo',ytitle='pressão (Pa) X ',charsize=2 ; max_value (máximo valor)
plot,Tempo,Emag,min_value=0,xtitle='Tempo',ytitle='Emag',charsize=2;min_value (minimo valor),charsize tamanho dos
;dados do gráfico
plot,Tempo,Vp,min_value=0,xtitle='Tempo',ytitle='Vp',charsize=2
plot,Tempo,E_gsm_x,xtitle='Tempo',ytitle='E_gsm_x',charsize=2
plot,Tempo,E_gsm_y,xtitle='Tempo',ytitle='E_gsm_y',charsize=2
plot,Tempo,E_gsm_z,xtitle='Tempo',ytitle='E_gsm_z',charsize=2

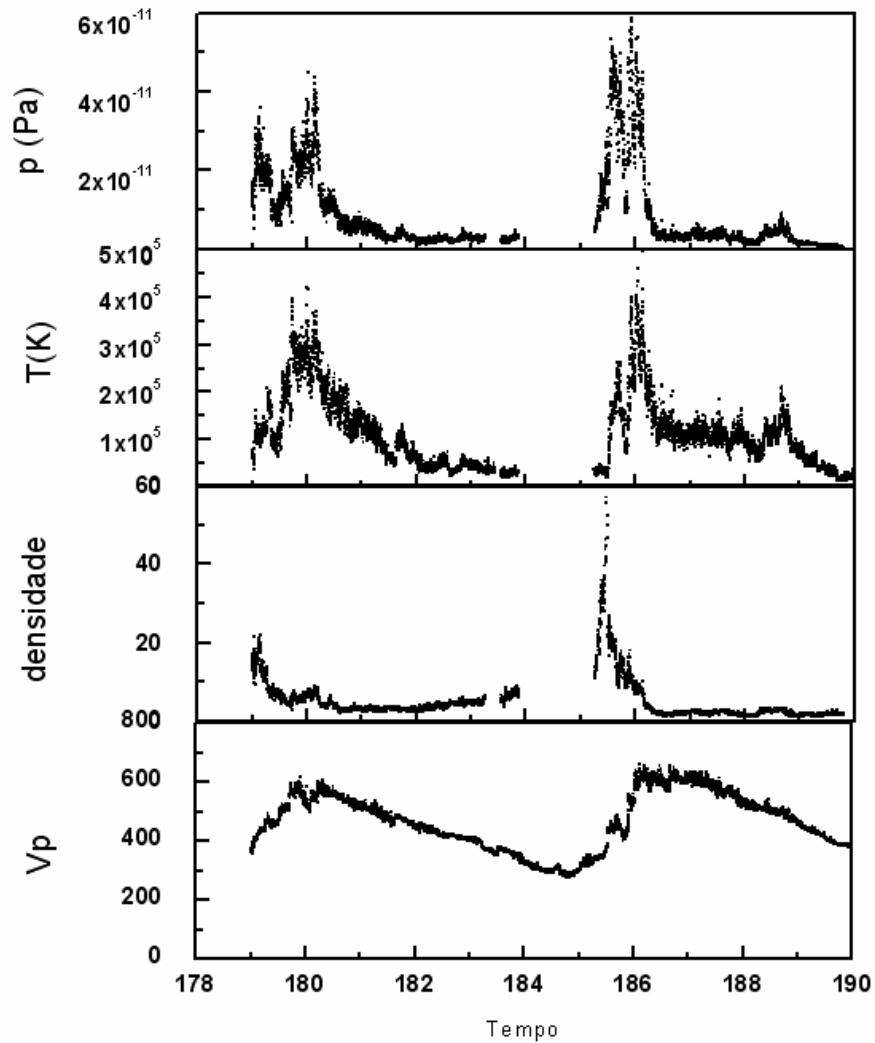
stop ; comando que permite deixar as variáveis do programa abertas
;gravar um arquivo de saída

openw,lun,'C:\Documents and Settings\Marcos Vinicius\Meus documentos\laboratorio\ID1\teste_dados_saida.txt',/get_lun
for m=0, n_elements(Vp)-1 do begin
    printf,lun,format='(E0,1x,E0,1x,E0)',$
        Tempo(m),p(m),N(m)
    endfor
free_lun,lun
end ; fim do programa
```

Painel com os gráficos do módulo do Campo Magnético (Bmag), velocidade dos prótons (Vp), pressão térmica da Tempestade Magnética (pressão) e o valor das componentes x (B\_gsm\_x), y (B\_gsm\_y) e z (B\_gsm\_z) do Campo Magnético obtidos a partir do Programa 2.



Gráficos da pressão térmica da Tempestade Magnética ( $p$ ), temperatura ( $T$ ), densidade e velocidade ( $V_p$ ) dos prótons, realizados com o Origin a partir do arquivo de saída gerado no Programa 2.



Programa 3: Programa utilizado para plotar gráficos de dados fornecidos pelo Telescópio ACE do meio interplanetário referente ao período do dia 179 ao dia 189 do ano de 2006.

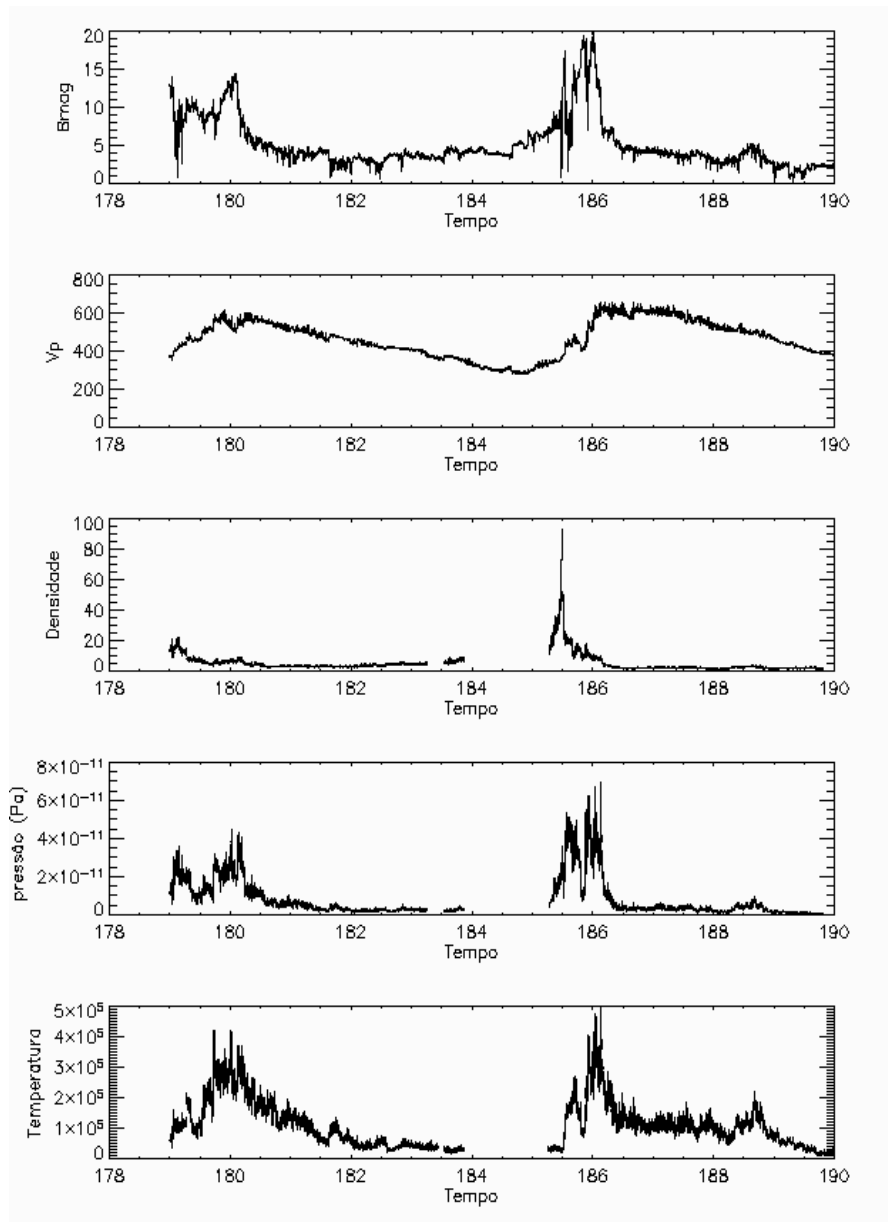
```
pro dados06 ; graficos com os dados do ACE dos dias 179 à 189 do ano e 2006
result=read_ascii('C:\Documents and Settings\Marcos Vinicius\Meus documentos\laboratorio\IDI\ACE_dados_06_179a189_Data.txt')
data1=result.(0)
tempo=data1(6,*) ; dia fracionado
Bmag=data1(13,*) ; modulo do B
Vp=data1(9,*) ; velocidade
N=data1(7,*) ; densidade
T=data1(8,*) ; temperatura
B_gsm_x=data1(10,*)
B_gsm_y=data1(11,*)
B_gsm_z=data1(12,*)
p=N*T*1381e-20 ; pressão em nT

!P.MULTI = [0, 1, 5]
window,2,xsize=600,ysize=800
plot,Tempo,Bmag,min_value=0,xtitle='Tempo',ytitle='Bmag',charsize=2
plot,Tempo,Vp,min_value=0,xtitle='Tempo',ytitle='Vp',charsize=2
plot,Tempo,N,min_value=0,xtitle='Tempo',ytitle='Densidade',charsize=2
plot,Tempo,p,min_value=0,max_value=1e-9,xtitle='Tempo',ytitle='pressão (Pa) ',charsize=2
plot,Tempo,T,xtitle='Tempo',min_value=0,ytitle='Temperatura',charsize=2

stop

end
```

Painel com os gráficos do módulo do Campo Magnético, velocidade (Vp) e densidade dos prótons, pressão térmica da Tempestade Geomagnética e temperatura dos prótons gerados a partir do Programa 3.



## Anexo 2

### Relatório Parcial de Atividades do Bolsista Substituído

RELATÓRIO PARCIAL DE ATIVIDADES PIBIC/CNPq-INPE – FEVEREIRO DE 2007

**1. Título: ESTUDO DE ESTRUTURAS INTERPLANETÁRIAS UTILIZANDO OBSERVAÇÕES DE SATÉLITES E OBSERVAÇÕES DE RAIOS CÓSMICOS**

**2. Identificação do aluno e orientador**

**Bolsista:** Luiz Cezar Nunes Dos Santos

**Orientador:** Dr. Alisson Dal Lago

**Co-orientador:** Dr. Nelson Jorge Schuch

**Protocolo:** 105371/2005-0

**3. Colocação do problema estudado:** o objetivo deste trabalho é a análise de parâmetros de plasma das estruturas interplanetárias e utilizar observações dos instrumentos LASCO (*Large Angle and Spectroscopic Coronagraph*), a bordo do satélite SOHO (*Solar and Heliospheric Observatory*), e EIT (*Extreme Ultraviolet Imaging Telescope*)

**4. Metodologia utilizada:** o bolsista utilizou dados dos satélites ACE e SOHO, instrumentos LASCO e EIT, para estudar estruturas no disco solar e os parâmetros do plasma do vento solar presente no meio interplanetário para os eventos selecionados.

**5. Resultados obtidos:** durante o segundo semestre letivo de 2006, o aluno utilizou observações de plasma e campo magnético feitas pelo satélite ACE (*Advanced Composition Explorer*), nas proximidades da Terra, as quais permitiram a identificação da estrutura interplanetária das ejeções de massa coronal, bem como de fenômenos relacionados (ondas de choque, por exemplo). Estes dados foram utilizados para correlacionar estruturas observadas nas proximidades da Terra com as observadas no Sol. No período, o aluno participou de 5 trabalhos científicos publicados:

- 1 Silva, Samuel Martins da, SAVIN, Jairo Francisco, BRAGA, Carlos Roberto, **SANTOS, Luiz Cezar Nunes dos**, ECHER, Ezequiel, SCHUCH, Nelson Jorge. *A COMPARATIVE STUDY BETWEEN THE EARTH AND VENUS MAGNETOSPHERES* In: Primer Encuentro de la Red de Investigadores Argentinos en Ciencias de la Heliósfera, realizado de 25 a 29 de Setembro de 2006 em Buenos Aires.
- 2 Savian, Jairo Francisco; Silva, Marlos Rockenbach da; Dal Lago, Alisson; Braga, Carlos Roberto; Dos Santos, Luiz Cezar Nunes; Silva, Samuel Martins da; Echer, Ezequiel; Vieira, Luis Eduardo; Munakata, Kazuoki; Kuwabara, Takaoa; Schuch, Nelson Jorge. *Solar. INTERPLANETARY AND COSMIC RAY EFFECTS NEAR THE EARTH MAGNETOSPHERE*. In: Primer Encuentro de la Red de

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

Investigadores Argentinos en Ciencias de la Heliósfera, 2006, realizado de 25 a 29 de Setembro de 2006 em Buenos Aires

- 3 **Dos Santos, Luiz.Cezar Nunes dos;** Savian, Jairo F; da Silva, Marlos R. ; Dal Lago, Alisson; Braga, Carlos R; da Silva, Samuel M.; Schuch, Nelson J. *STUDY OF INTERPLANETARY STRUCTURES USING COSMIC RAY AND SATELLITE OBSERVATIONS:* In: Primer Encuentro de la Red de Investigadores Argentinos en Ciencias de la Heliósfera, 2006, realizado de 25 a 29 de Setembro de 2006 em Buenos Aires.
- 4 **Dos Santos, Luiz Cezar Nunes dos.;** Braga, Carlos R.; Savian, J. F.; Da Silva, S. M.; Da Silva, M. R.; Dal Lago, A.; Schuch, N. J. *ESTUDO DE IDENTIFICAÇÃO DE ESTRUTURAS INTERPLANETÁRIAS.* In: 1º Brazilian Symposium of Space Geophysicist and Aeronomy, realizado em 23 a 26 de outubro de 2006 em São Jose dos Campos.
- 5 **Dos Santos, Luiz Cezar Nunes dos;** Savian, Jairo F; Silva, Samuel Martins da.; Braga, Carlos Roberto.; Dal Lago, Alisson.; Schuch, N. J. *IDENTIFICAÇÃO DAS ORIGENS SOLARES E ANÁLISE DAS FLUTUAÇÕES DO VENTO SOLAR PROVOCADO PELA EJEÇÃO DE MASSA CORONAL QUE OCASIONOU UMA TEMPESTADE GEOMAGNÉTICA NO PERÍODO DE 20 A 24 DE OUTUBRO DE 1999.* Em: XXI Jornada Acadêmica Integrada – JAI 28, 29 e 30 de novembro/2006
6. **Resultados futuros:** na próxima etapa do trabalho, o aluno irá continuar a análise dos dados do plasma do meio interplanetário, realizará a preparação de trabalhos e apresentação em eventos/congressos e elaborará o Relatório Final das atividades de Iniciação Científica do Programa PIBIC/INPE-CNPq/MCT, junto ao Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais-CRSPE/INPE – MCT.