



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



Conselho Nacional de Desenvolvimento  
Científico e Tecnológico

# **ESTUDO DO DECRÉSCIMO DA INTENSIDADE DE RAIOS CÓSMICOS CAUSADO POR DIFERENTES ESTRUTURAS INTERPLANETÁRIAS DO VENTO SOLAR**

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

**Thallis de Lourenço Pessi**

Julho de 2015



Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais –CRS/INPE – MCT  
Relatório Final de Atividades 2015

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

**Thallis de Lourenço Pessi**

(UFSM – Bolsista PIBIC/INPE – CNPq/MCTI)

**E-mail:** thallis.pessi@gmail.com

**Dr. Marlos Rockenbach da Silva**

Orientador

CRS/INPE – MCTI em colocaboração com LACESM/UFSM

**Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais**

INPE - MCTI

**E-mail:** marlosrs@gmail.com

Julho de 2015



## **DADOS DE IDENTIFICAÇÃO:**

### **Título:**

Estudo do decréscimo da intensidade de raios cósmicos causado por diferentes estruturas interplanetárias do vento solar.

**Processo:** 102064/2015-6

### **Aluno Bolsista no período de Fevereiro/2015 a Julho/2015:**

**Thallis de Lourenço Pessi**

Acadêmico do Curso de Física Bacharelado

Centro de Ciências Naturais e Exatas – CCNE/UFSM

Universidade Federal de Santa Maria – UFSM

### **Orientador:**

**Dr. Marlos Rockenbach da Silva**

CRS/INPE – MCTI em colocaboração com LACESM/UFSM

### **Co-Orientador:**

**Dr. Nelson Jorge Schuch**

CRS/INPE – MCTI em colocaboração com LACESM/UFSM

### **Local de Trabalho/Execução do projeto:**

Laboratório de Física da Relação Sol - Meio Interplanetário - Terra – CRS/INPE -  
MCTI



## **AGRADECIMENTOS**

Gostaria de agradecer a minha família por todo apoio e incentivo que tem me dado.

Ao Dr. Nelson Shuch e ao Dr. Marlos Rockenbach por terem me acolhido no Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais, pela orientação e pelos conhecimentos compartilhados.

Ao CNPq, por ter possibilitado e financiado esta pesquisa.

Aos colegas do CRS, sempre prestativos em ajudar e compartilhar informações.

De maneira geral, gostaria de agradecer a todos que ajudaram para a realização deste projeto.



## Estudante

### **Thallis de Lourenço Pessi**

Endereço para acessar este espelho: [dgp.cnpq.br/dgp/espelhorh/2586865900346912](http://dgp.cnpq.br/dgp/espelhorh/2586865900346912)

#### **Dados Gerais**

Nome em citações bibliográficas:

PESSI, T. L.

Nível de Treinamento

Áreas de atuação:

- Física

Bolsista CNPq:

- IC

Última atualização do Currículo Lattes:  
10/03/2015

Contato: [thallis.pessi@gmail.com](mailto:thallis.pessi@gmail.com)

Homepage:

Grupos de pesquisa em que atua

<b>Nome do grupo</b>	<b>Instituição Ações</b>
Clima Espacial, Interações Sol -Terra, Magnetosferas, Geoespaço, Geomagnetismo: Nanosatélites	INPE

Linhas de pesquisa em que atua

<b>Linha de pesquisa</b>	<b>Nome do grupo</b>	<b>Ações</b>
MEIO INTERPLANETÁRIO - CLIMA ESPACIAL	Clima Espacial, Interações Sol -Terra, Magnetosferas, Geoespaço, Geomagnetismo: Nanosatélites	

Orientadores participantes de grupos de pesquisa

<b>Orientador</b>	<b>Grupo de pesquisa</b>	<b>Ações</b>
Marlos Rockenbach da	Clima Espacial, Interações Sol -Terra, Magnetosferas, Geoespaço,	



Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais –CRS/INPE – MCT  
Relatório Final de Atividades 2015

Orientador	Grupo de pesquisa	Ações
Silva	Geomagnetismo: Nanosatélites	

**Grupo de pesquisa**

**Clima Espacial, Interações Sol -Terra, Magnetosferas, Geoespaço,  
Geomagnetismo: Nanosatélites**



Endereço para acessar este espelho: [dgp.cnpq.br/dgp/espelhogrupo/7918598292063418](http://dgp.cnpq.br/dgp/espelhogrupo/7918598292063418)

Identificação

Situação do grupo:

Certificado

Ano de formação:

1996

Data da Situação:

23/08/2013 17:01

Data do último envio:

12/06/2015 17:27

Líder(es) do grupo:

Nelson Jorge Schuch

Natanael Rodrigues Gomes

Área predominante:

Ciências Exatas e da Terra; Geociências

Instituição do grupo:

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

**Endereço / Contato**

***Endereço***

Logradouro: Caixa Postal 5021

Número: 1000



Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais –CRS/INPE – MCT  
Relatório Final de Atividades 2015

Complemento:

Bairro: Camobi

UF: RS

Localidade: Santa Maria

CEP: 97110970

Caixa Postal:

**Localização geográfica**

Latitude: -29.6894633

Longitude: -53.745050900000024

**Contato do grupo**

Telefone: (55) 33012026

Fax: (55) 33012030

Contato do grupo:

[njschuch@gmail.com](mailto:njschuch@gmail.com)

**Repercussões**

**Repercussões dos trabalhos do grupo**

O Grupo - CLIMA ESPACIAL, MAGNETOSFERAS, GEOMAGNETISMO:INTERAÇÃO TERRA-SOL, NANOSATÉLITES do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais - CRS/INPE-MCT, em Santa Maria, e Observatório Espacial do Sul - OES/CRS/INPE - MCT, Lat. 29°26'24"S, Long. 53°48'38"W, Alt. 488m, em São Martinho da Serra, RS, criado por Nelson Jorge Schuch em 1996, colabora com Pesquisadores da: UFSM (CT-LACESM), INPE, CRAAM-Universidade P. Mackenzie, IAG/USP, OV/ON e DPD/UNIVAP 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 (DLR e Max Planck Institute for Solar System Research), Austrália (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, NANOSATÉLITES. Áreas de interesse: Heliosfera, Física Solar, Meio Interplanetário, Clima Espacial, Magnetosferas, Geomagnetismo, Aeronomia, Ionosferas, Aeroluminescência, Raios Cósmicos, Muons, Desenvolvimento de Nanosatelites Científicos, em especial CubeSats: o NANOSATC-BR1 e NANOSATC-BR2. Objetivos: Pesquisar o acoplamento energético na Heliosfera, mecanismos de geração de energia no Sol, Vento Solar, sua propagação no Meio Interplanetário, acoplamento com as magnetosferas planetárias, no Geoespaço com a Ionosfera e a Atmosfera Superior, previsão de ocorrência de tempestades magnéticas e das intensas correntes induzidas na superfície da Terra, Eletricidade Atmosférica e seus Eventos Luminosos Transientes (TLEs). As Pesquisas base de dados de sondas no Espaço Interplanetário e dentro de magnetosferas planetárias, e de modelos computacionais físicos e estatísticos. Vice-Líderes: Alisson Dal Lago, Nalin Babulau Trivedi, Otávio Santos Cupertino Durão, Natanael Rodrigues Gomes.

**Participação em redes de pesquisa**

Rede de pesquisa      Website/Blog



Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais –CRS/INPE – MCT  
Relatório Final de Atividades 2015

**Rede de pesquisa Website/Blog**

Nenhum registro adicionado

Linhas de pesquisa

<b>Nome da linha de pesquisa</b>	<b>Quantidade de Estudantes</b>	<b>Quantidade de Pesquisadores Ações</b>
AERONOMIA - IONOSFERAS x AEROLUMINESCÊNCIA	9	18
DESENVOLVIMENTO DE NANOSATÉLITES - CubeSats: NANOSATC-BR	21	41
MAGNETOSFERAS x GEOMAGNETISMO	8	15
MEIO INTERPLANETÁRIO - CLIMA ESPACIAL	14	23

Recursos humanos

<b>Pesquisadores</b>	<b>Titulação máxima</b>	<b>Data inclusão</b>	<b>Ações</b>
Adriano Petry	Doutorado	Não informada	
Alexandre Alvares Pimenta	Doutorado	Não informada	
Alicia Luisa Clúa de Gonzalez	Doutorado	Não informada	
Alisson Dal Lago	Doutorado	Não informada	
Andrei Piccinini Legg	Doutorado	Não informada	
Antonio Claret Palerosi	Doutorado	Não informada	
Barclay Robert Clemesha	Doutorado	Não informada	
Carlos Roberto Braga	Doutorado	Não informada	
Cassio Espindola Antunes	Mestrado	Não informada	
Clezio Marcos De Nardin	Doutorado	Não informada	
Cristiano Sarzi Machado	Mestrado	Não informada	
Delano Gobbi	Doutorado	Não informada	
Eduardo Escobar Bürger	Mestrado	Não informada	
Eurico Rodrigues de Paula	Doutorado	Não informada	



Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais –CRS/INPE – MCT  
Relatório Final de Atividades 2015

Everton Frigo	Doutorado	Não informada
Ezequiel Echer	Doutorado	Não informada
Fabiano Luis de Sousa	Doutorado	Não informada
Fernanda de São Sabbas Tavares	Doutorado	Não informada
Fernanda Gusmão de Lima Kastensmidt	Doutorado	Não informada
Geilson Loureiro	Doutorado	Não informada
Gelson Lauro Dal' Forno	Doutorado	Não informada
Guilherme Simon da Rosa	Mestrado	Não informada
Gustavo Fernando Dessbesell	Mestrado	Não informada
Hisao Takahashi	Doutorado	Não informada
Igor Freitas Fagundes	Graduação	Não informada
Jean Pierre Raulin	Doutorado	Não informada
Jose Humberto Andrade Sobral	Doutorado	Não informada
João Baptista dos Santos Martins	Doutorado	Não informada
Juliano Moro	Doutorado	Não informada
Lilian Piecha Moor	Mestrado	Não informada
Lucas Lopes Costa	Graduação	Não informada
Lucas Ramos Vieira	Mestrado	Não informada
Mangalathayil Ali Abdu	Doutorado	Não informada
Marco Ivan Rodrigues Sampaio	Especialização	Não informada
Marlos Rockenbach da Silva	Doutorado	Não informada
Nalin Babulal Trivedi	Doutorado	Não informada
Natanael Rodrigues Gomes	Doutorado	Não informada
Nelson Jorge Schuch	Doutorado	Não informada



Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais –CRS/INPE – MCT  
Relatório Final de Atividades 2015

Odim Mendes Junior	Doutorado	Não informada	
Osmar Marchi dos Santos	Doutorado	Não informada	
Otávio Santos Cupertino Durão	Doutorado	Não informada	
Pawel Rozenfeld	Doutorado	Não informada	
Petrônio Noronha de Souza	Doutorado	Não informada	
Polinaya Muralikrishna	Doutorado	Não informada	
Rajaram Purushottam Kane	Doutorado	Não informada	
Renato Machado	Doutorado	Não informada	
Ricardo Augusto da Luz Reis	Doutorado	Não informada	
Rubens Zolar Gehlen Bohrer	Graduação	Não informada	
Severino Luiz Guimaraes Dutra	Doutorado	Não informada	
Tardelli Ronan Coelho Stekel	Mestrado	Não informada	
Walter Demetrio Gonzalez Alarcon	Doutorado	Não informada	
William do Nascimento Guareschi	Graduação	Não informada	
<b>Estudantes</b>	<b>Nível de Treinamento</b>	<b>Data inclusão</b>	<b>Ações</b>
Alex Müller	Graduação	11/03/2015	
Anderson Vestena Bilibio	Graduação	Não informada	
Andreos Vestena Bilibio		Não informada	
Claudio Machado Paulo	Graduação	Não informada	
Fernando Landerdahl Alves		Não informada	
Gabriel Augusto Giongo	Graduação	12/03/2015	
Gabriel Henrique da Rosa Vizcarra	Graduação	10/03/2015	
Guilherme Paul Jaenisch	Graduação	Não informada	



Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais –CRS/INPE – MCT  
Relatório Final de Atividades 2015

Iago Camargo Silveira	Graduação	Não informada		
José Paulo Marchezi	Mestrado	Não informada		
Leonardo Zavareze da Costa	Graduação	Não informada		
Lorenzo Quevedo Mantovani	Graduação	10/03/2015		
Lucas Lourencena Caldas Franke	Doutorado	Não informada		
Marcos Antonio Laurindo Dal Piaz	Graduação	25/11/2014		
Maurício Ricardo Balestrin	Graduação	Não informada		
Michel Baptistella Stefanello	Graduação	Não informada		
Pietro Fernando Moro	Ensino Médio (2o grau)	Não informada		
Rodrigo Passos Marques	Graduação	Não informada		
Thales Nunes Moreira	Graduação	Não informada		
Thales Ramos Mânica	Graduação	Não informada		
Thallis de Lourenço Pessi	Graduação	10/03/2015		
Tiago Bremm		Não informada		
Tális Piovesan	Graduação	Não informada		
Viktor Leon Bizarro Dutra	Graduação	12/06/2015		
Vinícius Deggeroni	Graduação	Não informada		
Ândrei Camponogara		Não informada		
<b>Técnicos</b>	<b>Formação acadêmica</b>	<b>Data inclusão</b>	<b>Ações</b>	
Nenhum registro adicionado				
<b>Colaboradores estrangeiros</b>	<b>País</b>	<b>Data inclusão</b>	<b>Ações</b>	
Nenhum registro adicionado				
<b>Egressos</b>				
<b>Pesquisadores</b>		<b>Período de participação no grupo</b>	<b>Ações</b>	



Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais –CRS/INPE – MCT  
Relatório Final de Atividades 2015

<b>Pesquisadores</b>	<b>Período de participação no grupo</b>	<b>Ações</b>
Nivaor Rodolfo Rigozo	De Não informada a 12/06/2015	

<b>Estudantes</b>	<b>Período de participação no grupo</b>	<b>Ações</b>
Dimas Irion Alves	De Não informada a 05/12/2014	
Bruno Knevez Hammerschmitt	De Não informada a 05/12/2014	
Miguel Rossatto Bohrz	De Não informada a 05/12/2014	

Instituições parceiras relatadas pelo grupo

<b>Nome da Instituição Parceira</b>	<b>Sigla</b>	<b>UF</b>	<b>Ações</b>
Alpha South América - Representações e Consultoria Aeroespacial	ALPHA	SP	

Indicadores de recursos humanos do grupo

<b>Formação acadêmica</b>	<b>Pesquisadores</b>	<b>Estudantes</b>	<b>Técnicos</b>	<b>Colaboradores estrangeiros</b>	<b>Total</b>
Doutorado	39	1	0	0	40
Mestrado	8	1	0	0	9
Especialização	1	0	0	0	1
Graduação	4	19	0	0	23
Ensino Médio (2o grau)	0	1	0	0	1
Outros	0	4	0	0	4

### Linha de Pesquisa

#### **MEIO INTERPLANETÁRIO - CLIMA ESPACIAL**

Endereço para acessar este espelho: [dgp.cnpq.br/dgp/espelholinha/791859829206341842447](http://dgp.cnpq.br/dgp/espelholinha/791859829206341842447)

Dados da linha de pesquisa

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.

Nome do grupo:

Clima Espacial, Interações Sol -Terra, Magnetosferas, Geoespaço, Geomagnetismo: Nanosatélites



Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais –CRS/INPE – MCT  
Relatório Final de Atividades 2015

Palavras-chave

- Tempestade Geomagnética
- Raios Cósicos
- Campo Magnético Interplanetário
- Muons

Áreas do conhecimento

- Ciências Exatas e da Terra > Geociências
- Ciências Exatas e da Terra > Astronomia > Astrofísica do Sistema Solar
- Ciências Exatas e da Terra > Geociências > Geofísica Espacial

Setores de aplicação

- Pesquisa e desenvolvimento experimental em ciências físicas e naturais

Recursos humanos

*Pesquisadores relacionados à linha*

<b>Nomes</b>	<b>Formação acadêmica</b>	<b>Ações</b>
Alexandre Alvares Pimenta	Doutorado	
Renato Machado	Doutorado	
Tardelli Ronan Coelho Stekel	Mestrado	
Rubens Zolar Gehlen Bohrer	Graduação	
Walter Demetrio Gonzalez Alarcon	Doutorado	
Nelson Jorge Schuch	Doutorado	
Ezequiel Echer	Doutorado	
Eduardo Escobar Bürger	Mestrado	
Adriano Petry	Doutorado	
Everton Frigo	Doutorado	
Cassio Espindola Antunes	Mestrado	
Alicia Luisa Clúa de Gonzalez	Doutorado	
Marlos Rockenbach da Silva	Doutorado	
Severino Luiz Guimaraes Dutra	Doutorado	



Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais –CRS/INPE – MCT  
Relatório Final de Atividades 2015

Juliano Moro Doutorado

Rajaram Purushottam Kane Doutorado

Lucas Ramos Vieira Mestrado

Andrei Piccinini Legg Doutorado

Jean Pierre Raulin Doutorado

Carlos Roberto Braga Doutorado

Lucas Lopes Costa Graduação

Lilian Piecha Moor Mestrado

Alisson Dal Lago Doutorado

<b>Nomes</b>	<b><i>Estudantes relacionados à linha</i></b>	<b>Nível de Treinamento</b>	<b>Ações</b>
Pietro Fernando Moro		Ensino Médio (2o grau)	
José Paulo Marchezi		Mestrado	
Vinícius Deggeroni		Graduação	
Michel Baptistella Stefanello		Graduação	
Tális Piovesan		Graduação	
Claudio Machado Paulo		Graduação	
Andreas Vestena Bilibio			
Tiago Bremm			
Thallis de Lourenço Pessi		Graduação	
Iago Camargo Silveira		Graduação	
Thales Ramos Mânica		Graduação	
Leonardo Zavareze da Costa		Graduação	
Gabriel Henrique da Rosa Vizcarra		Graduação	
Thales Nunes Moreira		Graduação	



## RESUMO

Este relatório tem como objetivo expor as atividades realizadas pelo aluno bolsista Thallis de Lourenço Pessi, acadêmico do curso de Física Bacharelado, da Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, durante o período de Fevereiro de 2015 a Julho de 2015, com a seguinte linha de pesquisa: “ESTUDO DO DECRÉSCIMO DA INTENSIDADE DE RAIOS CÓSMICOS CAUSADO POR DIFERENTES ESTRUTURAS INTERPLANETÁRIAS DO VENTO SOLAR”. O trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Física da Relação Sol - Meio Interplanetário – Terra, nas dependências do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRS/INPE – via Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE/MCTI – e tem como objetivo estudar o decréscimo na intensidade de raios cósmicos, observado em superfície com detectores de muons e nêutrons localizados no Observatório Espacial do Sul – OES/CRS/INPE - MCTI – em São Martinho da Serra, RS e no espaço com dados das espaçonaves IMP-8 e ACE, durante a passagem pela Terra.



## Sumário

LISTA DE FIGURAS .....	17
INTRODUÇÃO.....	18
CAPÍTULO 1.....	19
<b>Atividade Solar</b> .....	19
1.1 Manchas Solares .....	19
1.2 O Ciclo Solar .....	20
1.3 Estruturas Interplanetárias .....	21
CAPÍTULO 2.....	23
<b>Raios Cósmicos</b> .....	23
2.1 Decréscimos na Intensidade de Raios Cósmicos .....	24
CAPÍTULO 3.....	26
<b>Metodologia</b> .....	26
CAPÍTULO 4.....	29
<b>Resultados e Discussões</b> .....	29
CONCLUSÃO .....	31
ATIVIDADES A CONCLUIR.....	32
REFERÊNCIAS.....	33



## LISTA DE FIGURAS

1.1 – Manchas Solares registradas por Galileu.....	19
1.2 - Imagem de uma mancha solar registrada pelo NST (New Solar Telescope).....	20
1.3 - Ciclo solar registrado desde 1750.....	20
1.4 - Simulação (densidade) de uma CIR. ....	21
1.5 - Uma CME capturada pelo coronógrafo LASCO C2 do satélite SOHO.....	22
2.0 - Clássico decréscimo de Forbush observado por três monitores de nêutrons (Deep River, Mt. Wellington, Kerguelen).....	24
2.1 - Representação de uma ICME, com a ejeção e o choque causado por ela. ....	25
3.0 - Detectores de Múons instalados no Observatório Espacial do Sul, em São Martinho da Serra, RS.	26
3.1 - Exemplo de um gráfico dos dados da espaçonave ACE.....	26
3.2 - Exemplo de um gráfico do índice DST.....	27
3.3 - Exemplo de um gráfico da contagem de raios cósmicos, feito a partir dos dados obtidos pelos detectores de múons instalados no Observatório Espacial do Sul.....	27
4.0 - Tempestade geomagnética causada por uma CIR.....	28
4.1 - Tempestade geomagnética causada por uma ICME com uma nuvem magnética.....	29
4.2 – Outra tempestade geomagnética causada por uma ICME com uma nuvem magnética.....	30



## **INTRODUÇÃO**

A variabilidade solar está fortemente relacionada com os distúrbios observados no espaço próximo da Terra, afetando uma diversidade de sistemas tecnológicos tanto espaciais quanto de superfície, tais como os sistemas de telecomunicações, e é muito importante para a nossa sociedade estudá-la e ser capaz de prevê-la.

A área de estudo do sistema Sol-Terra foi recentemente nomeada de “Clima Espacial”, e está para a física espacial no mesmo nível que a meteorologia foi para o clima atmosférico algumas décadas atrás. Entre os fenômenos solares, as ejeções de massa coronais (CMEs) são as principais fontes das tempestades geomagnéticas. Essas estruturas são também as principais causadoras de decréscimos nas contagens de raios cósmicos detectados na superfície terrestre, tornando fundamental o estudo da relação entre essas estruturas e os decréscimos de raios cósmicos observados.

Analisando os dados de equipamentos como os detectores de múons localizados no Observatório Espacial do Sul – OES/CRS/INPE - MCTI – em São Martinho da Serra, RS e as espaçonaves IMP-8 e ACE, podemos identificar essas estruturas e os seus efeitos na Terra, como tempestades geomagnéticas.

## CAPITULO 1

### ATIVIDADE SOLAR

#### 1.1 Manchas Solares

As manchas solares sempre foram um mistério para a humanidade, até que em 1610 o astrônomo italiano Galileu Galilei apontou sua luneta para o Sol e concluiu que essas manchas ocorriam em sua superfície. Ele elaborou um conjunto de desenhos, registrando as manchas, em seu livro intitulado *Istoria e Dimostrazioni Intorno Alle Macchie Solari e Loro Accidenti Rome* (História e Demonstrações Relativas às Manchas Solares e as Suas Propriedades).

Hoje sabemos que o surgimento das manchas solares está ligado a algo muito complexo: o campo magnético do Sol.

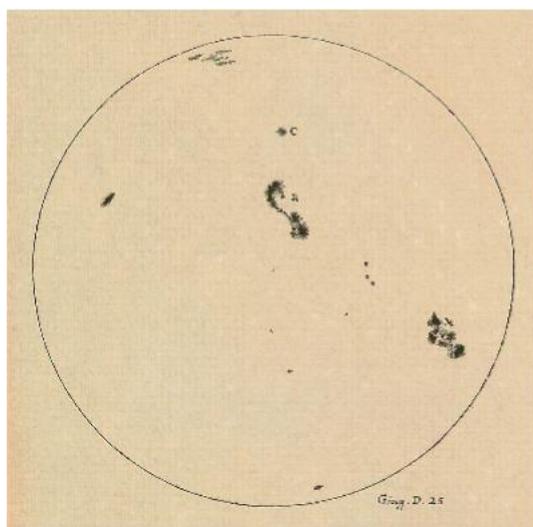


Figura 1.1 – Manchas Solares registradas por Galileu. Créditos: Albert Van Helden & Prof. Owen Gingerich.

Como não é um corpo rígido, o Sol apresenta uma rotação diferencial: o período de rotação da região equatorial é de 26 dias, enquanto nos polos é de 30 dias. Essa rotação intensifica o campo magnético da superfície pelo acúmulo de linhas de campo e faz com que um fluxo magnético comece a emergir para fora da fotosfera. Então ocorre a expulsão de matéria em direção às linhas de campo magnético, criando laços magnéticos. As regiões em que esses laços saem e retornam para a fotosfera possuem polaridades opostas, criando assim as manchas solares.

O motivo pelo qual as manchas são mais escuras que o seu redor é porque são regiões em torno de 2000 K mais frias que a fotosfera. A parte mais negra no seu interior é chamada de umbra, rodeada por uma região com filamentos mais claros, chamada penumbra, como mostra a figura 1.2.

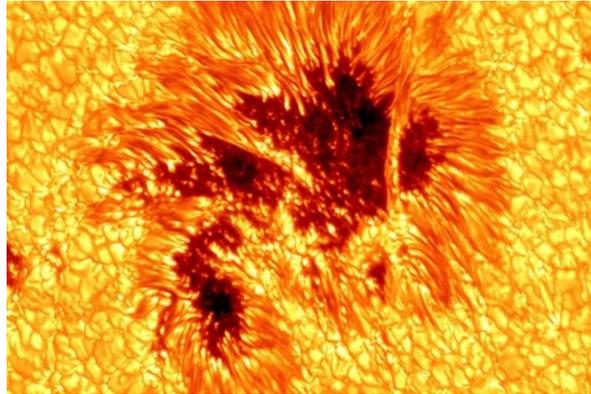


Figura 1.2 - Imagem de uma mancha solar registrada pelo NST (New Solar Telescope). Fonte: BBSO

## 1.2 O Ciclo Solar

A contagem de manchas solares é de grande importância, pois serve para determinar os períodos em que o Sol alcança seu máximo e seu mínimo de atividade. Elas seguem um ciclo de 11 anos, variando sua duração de 9 a 14 anos.

A figura 1.3 mostra o registro da atividade solar desde 1750. Podemos notar que há uma assimetria, onde a fase ascendente é mais curta, em torno de 4 anos, e a fase descendente é mais longa, em torno de 6 anos.

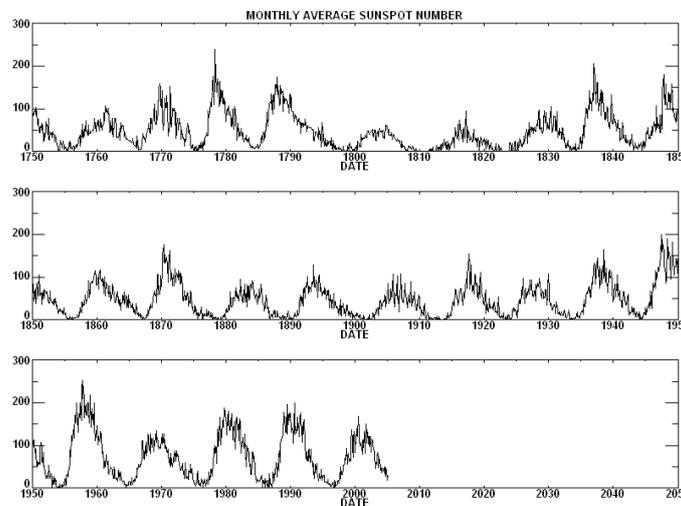


Figura 2.3 - Ciclo solar registrado desde 1750.

O ciclo solar é o meio mais confiável de sabermos quando o Sol entra em seu máximo e em seu mínimo. Ele também é relacionado ao surgimento de vários eventos solares, como as ejeções de massa coronal (Coronal Mass Ejection - CME) e os flares. Algumas estruturas, como lâmina de corrente heliosférica (Heliospheric Current Sheet – HCS), estão sempre presentes e não dependem do período solar.

### 1.3 Estruturas Interplanetárias

Na latitude mais baixa do Sol, as linhas de campo magnético são geralmente fechadas, formando mais resistência, o que faz com que o vento solar seja mais lento que na latitude superior, onde as linhas de campo são comumente abertas, oferecendo menos resistência e fazendo com que o vento atinja maiores velocidades. Assim, a velocidade de ejeção não é uniforme pela superfície solar.

Com a expansão do vento solar, as linhas de campo são arrastadas e deformadas, até que numa certa distância elas se tornam antiparalelas. Quando isso ocorre uma lâmina de corrente surge, denominada *Lâmina de Corrente Heliosférica* (Heliospheric Current Sheet – HCS). A HCS divide o Sol em dois polos, um oposto ao outro, e essa polaridade é invertida no início de cada ciclo solar (A.G. Izzo de Oliveira et al, 2014).

Como o Sol está girando enquanto ejeta o vento solar, ele assume um formato espiral. Quando se distanciam, a interação dos ventos de baixa e alta velocidade formam estruturas estáveis, corrotacionando com o Sol. A essas estruturas damos o nome de *Regiões de Interação Corrotante* (corotating interaction regions – CIR).

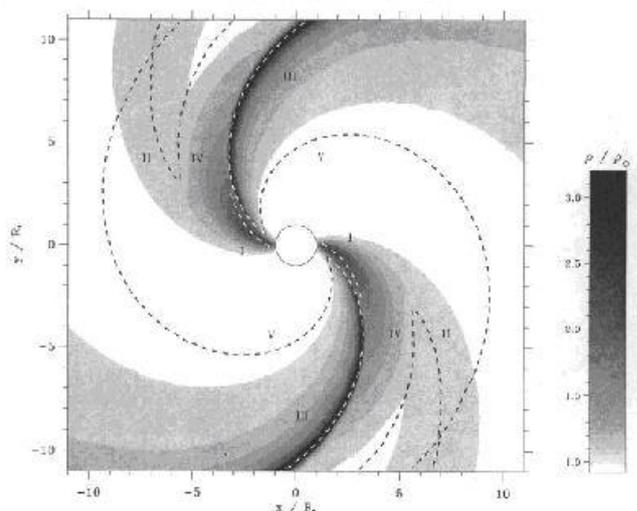


Figura 1.4 - Simulação (densidade) de uma CIR. Fonte: (Cranmer & Owocki 1996, ApJ, 462, 469; Fig. 5)

Quando manchas solares de cargas magnéticas opostas se encontram, ocorre um processo de reconexão magnética, causando um *Flare* ou *Explosão Solar*. Essa

repentina explosão joga partículas com intensa energia para o meio interplanetário, denominadas Partículas Energéticas Solares (Solar Energetic Particle – SEP). O pulso de radiação emanado é tão forte que abrange o espectro eletromagnético, desde os raios gama até as ondas de rádio.

Os flares são classificados em três tipos: Classe C, que são os menores e mais comuns, não afetando nosso planeta; Classe M, de média intensidade, afetam os pólos e podem causar alguma interferência em emissões de rádio; Classe X, o maior tipo, causado por grandes erupções, podem causar diversos efeitos na Terra, como problemas em aparelhos eletrônicos e causar tempestades geomagnéticas de longa duração.

*Ejeções de Massa Coronal* (Coronal Mass Ejections – CME) são erupções que ocorrem na coroa solar, causadas pela liberação súbita de energia e matéria que ocorre quando há uma reconexão magnética. As ejeções tem uma velocidade média de 400 km/s. Durante o máximo solar, elas são mais rápidas e mais frequentes – média de três por dia – enquanto no mínimo elas são menos frequentes – média de uma a cada cinco dias.

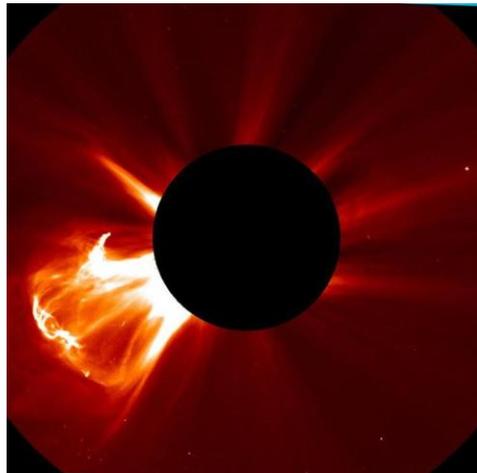


Figura 1.5 - Uma CME capturada pelo coronógrafo LASCO C2 do satélite SOHO. Um coronógrafo é um instrumento que bloqueia o Sol, causando um eclipse artificial, nos possibilitando de ver a coroa solar.  
Créditos: NASA/ESA SOHO, LASCO C2.

A CME em si não alcança a Terra, porém seu remanescente interplanetário, denominada *Ejeção de Massa Coronal Interplanetária* (Interplanetary Coronal Mass Ejection) causa tempestades geomagnéticas quando atingem o nosso planeta.

Podemos separar as ICMEs entre as que não possuem e as que possuem nuvens magnéticas. Como visto em Gonzales et al (2009), as ejeções acompanhadas por essas estruturas estão ligadas a tempestades geomagnéticas mais intensas e segundo Cane et al (1997) correspondem a 50% das ICMEs registradas.



## **CAPITULO 2**

### **RAIOS CÓSMICOS**

No início do século XX, em um experimento realizado por Charles Wilson, Hans Geitel e Julius Elster, foi observado que a condutividade contida num eletroscópio de folhas de ouro permanecia constante, mesmo se os íons fossem retirados por um campo elétrico. Esses íons adicionais vinham de algum local desconhecido que no começo pensava-se que tinham origem na própria Terra. Assim, concluíram que com o aumento de altitude a radiação diminuiria.

Foi então que em um experimento em meados de 1912, onde foram amarrados contadores Geiger em um balão, realizado por Victor Hess, foi observado que a medida que o balão subia a radiação aumentava. Hess concluiu que a radiação deveria vir do espaço e a ela deu o nome de raios cósmicos, recebendo o Nobel de física de 1936 pela descoberta.

O estudo dos raios cósmicos tem muita importância, como por exemplo, a descoberta de novas partículas, já que a magnetosfera serve como um grande acelerador. Esses dados também são importantes no estudo do meio interplanetário e na previsão de tempestades geomagnéticas, já que observando essas partículas que chegam a Terra podemos saber que tipo de estrutura está a caminho.

Primeiramente acreditava-se que os raios cósmicos eram fótons com grande energia, porém hoje sabemos que eles são divididos em dois tipos: raios cósmicos primários, compostos principalmente por prótons que viajam próximos da velocidade da luz, que quando se chocam com a atmosfera criam os raios cósmicos secundários, formados de hádrons e píons, que podem decair, formando múons, neutrinos e fótons. Esse processo é conhecido como “chuveiro de partículas”.

Os raios cósmicos atingem a Terra em um fluxo constante, diminuições ou aumento nesse fluxo são causados por interferências no meio interplanetário, como CMEs, que causam um decréscimo na contagem dessas partículas, conhecido como decréscimo de Forbush.

## 2.1 DECRÉSCIMOS NA INTENSIDADE DE RAIOS CÓSMICOS

Os raios cósmicos atingem a Terra diariamente e decréscimos na taxa desses raios são observados e podem nos indicar algo. Esses decréscimos foram primeiro estudados em 1937, pelo geofísico americano Scott Forbush. Porém foi apenas nos anos 50 que o físico John Simpson descobriu, usando monitores de nêutrons, que a origem desses decréscimos está no meio interplanetário.

Há dois tipos básicos de decréscimos: os recorrentes e os não recorrentes. Os recorrentes têm um começo gradual e são geralmente relacionados com CIRs. Já os não recorrentes têm um começo súbito e uma recuperação mais gradual, sendo causado pelas ICMEs.

Os decréscimos que têm um começo súbito e uma recuperação gradual são conhecidos como ‘Decréscimos de Forbush’. Quando a Terra é atingida por uma ICME e seu respectivo choque, observamos o chamado ‘clássico decréscimo de Forbush’ (Cane, H. V., 2000), como mostrado na figura abaixo.

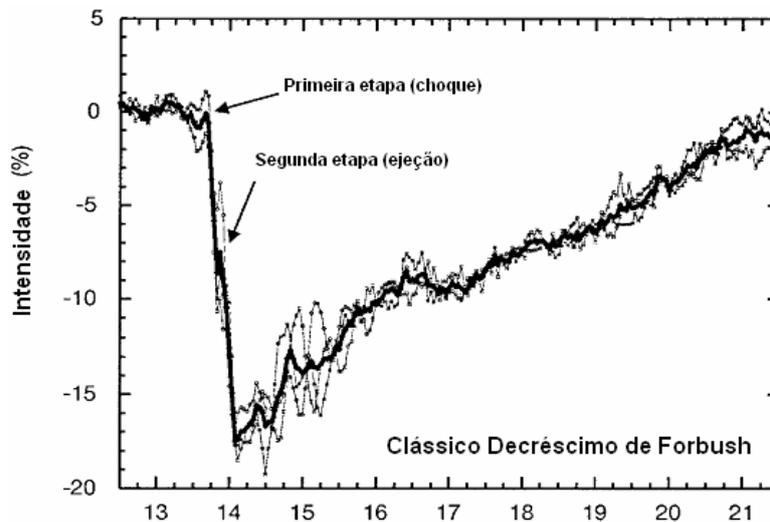


Figura 2.0 - Clássico decréscimo de Forbush observado por três monitores de nêutrons (Deep River, Mt. Wellington, Kerguelen). O eixo vertical indica a intensidade de raios cósmicos e o eixo horizontal indica os dias do mês de Julho de 1982. Fonte: Cane, H.V, 2000.

Decréscimos relacionados com ICMEs são divididos em três tipos: aqueles causados pela ejeção e pelo choque, aqueles causados apenas pelo choque e aqueles causados apenas pela ejeção.

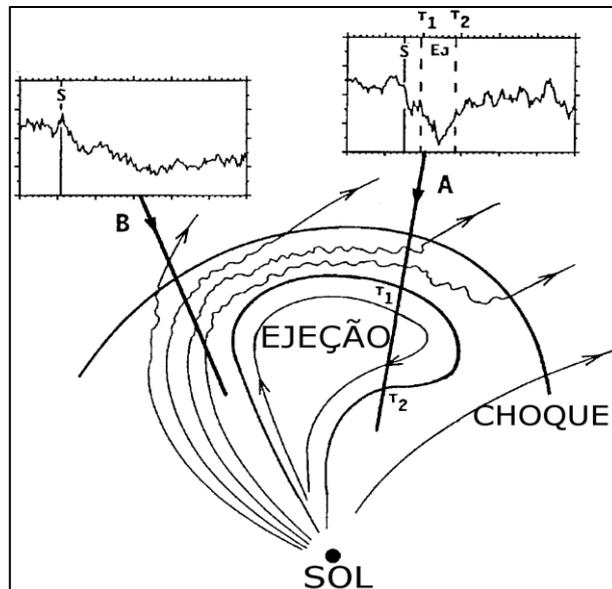


Figura 2.1 - Representação de uma ICME, com a ejeção e o choque causado por ela. Fonte: Cane, H.V, 2000.

Uma ejeção que ocorre sozinha e é pouco energética não consegue criar um choque e é muito pequena para causar um decréscimo significativo. Porém, como o choque causado por uma ejeção energética é maior que a própria estrutura, é possível interceptar o choque sem a ejeção, como mostra a seta B da figura 3.1. Quando o choque vem seguido da ejeção, ocorre o que vemos na seta A da figura.



## CAPÍTULO 3

### METODOLOGIA

O trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Física da Relação Sol – Meio Interplanetário – Terra, do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais. Os dados da intensidade de raios cósmicos foram obtidos a partir dos detectores de múons localizados no Observatório Espacial do Sul – OES/CRS/INPE – MCTI – em São Martinho da Serra, RS. Enquanto os valores da intensidade do campo magnético interplanetário e velocidade, densidade e temperatura dos prótons foram obtidos a partir dos dados da espaçonave ACE. A partir desses dados é possível demonstrar graficamente uma tempestade geomagnética e com isso identificar as estruturas que a causaram.



Figura 3.0 - Detectores de Múons instalados no Observatório Espacial do Sul, em São Martinho da Serra, RS.

Na imagem abaixo temos um exemplo de um gráfico feito a partir dos dados da espaçonave ACE. Podemos observar de cima para baixo, a intensidade do campo magnético interplanetário,  $B$  (nT) e seus componentes,  $B_x$  (nT),  $B_y$  (nT) e  $B_z$  (nT), a velocidade do vento solar,  $V_{sw}$ (km/s) e a densidade de prótons,  $N_p$ ( $\text{cm}^{-3}$ ).

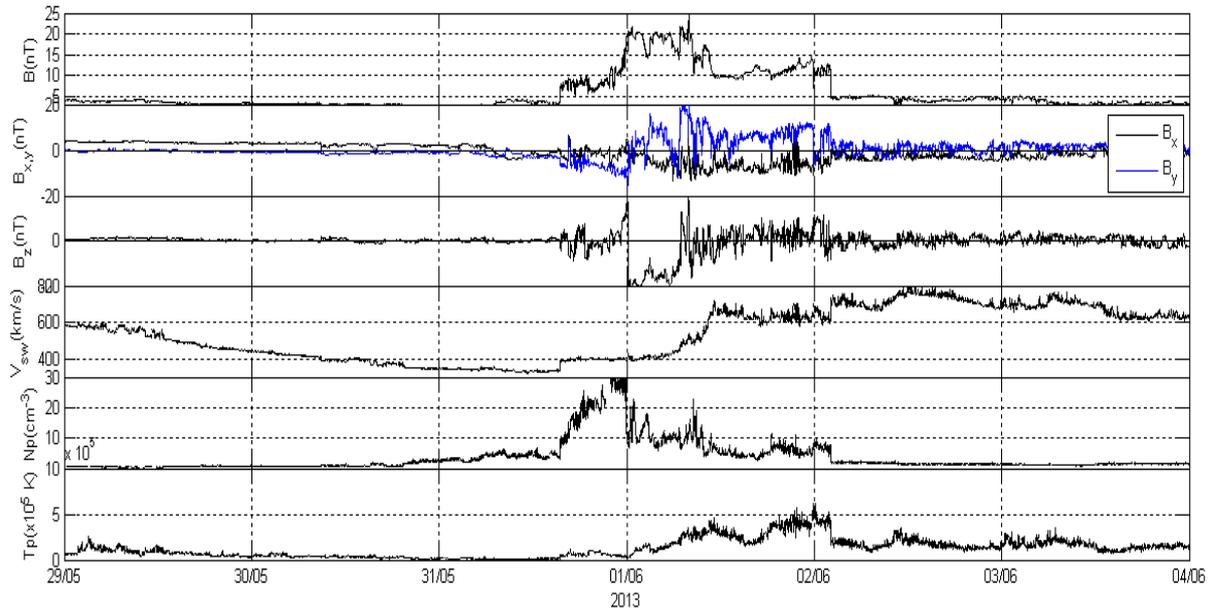


Figura 3.1 - Exemplo de um gráfico dos dados da espaçonave ACE.

Abaixo podemos ver uma imagem de um gráfico do índice DST (Disturbance Storm Time) medido a partir de magnetômetros ao redor do mundo. Esse índice mostra os distúrbios na magnetosfera terrestre e indica a sua magnitude.



Figura 3.2 - Exemplo de um gráfico do índice DST.

A partir disso podemos saber a tamanho das tempestades geomagnéticas e classificá-las da seguinte forma:

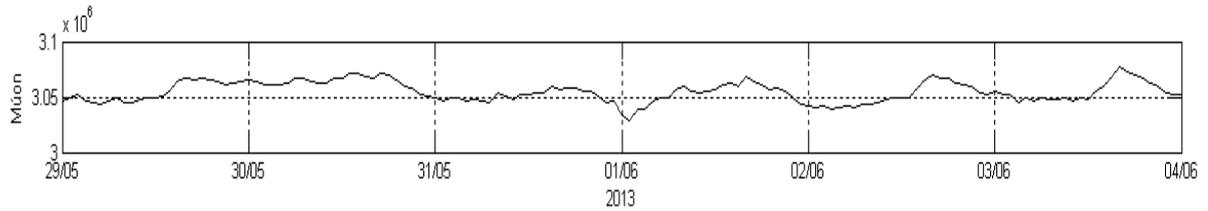
Moderadas:  $-50\text{nT} > \text{Dst} > -100\text{nT}$

Intensas:  $-100\text{nT} > \text{Dst} > -250\text{nT}$

Superintensas:  $\text{Dst} < -250\text{nT}$



Com base nos dados obtidos dos detectores de múons podemos montar gráficos da contagem de raios cósmicos, como o mostrado na imagem abaixo.



**Figura 3.3 - Exemplo de um gráfico da contagem de raios cósmicos, feito a partir dos dados obtidos pelos detectores de múons instalados no Observatório Espacial do Sul.**

Dessa forma, podemos reunir vários parâmetros e assim classificar que tipo de estrutura interplanetária está a caminho ou passando pela Terra.

## CAPÍTULO 4

### RESULTADOS E DISCUSSÕES

O gráfico a seguir mostra uma tempestade geomagnética intensa, chegando a  $-119$  nT, ocorrida no dia 01 de Junho de 2013. Analisando os parâmetros podemos concluir que foi ocasionada por uma CIR. A primeira linha vermelha indica o começo do vento lento que é empurrado pelo vento rápido, indicado na segunda linha. Podemos perceber que os componentes do campo magnético ficam embaralhados nessa região e há um leve decréscimo na contagem de raios cósmicos, características dessa estrutura.

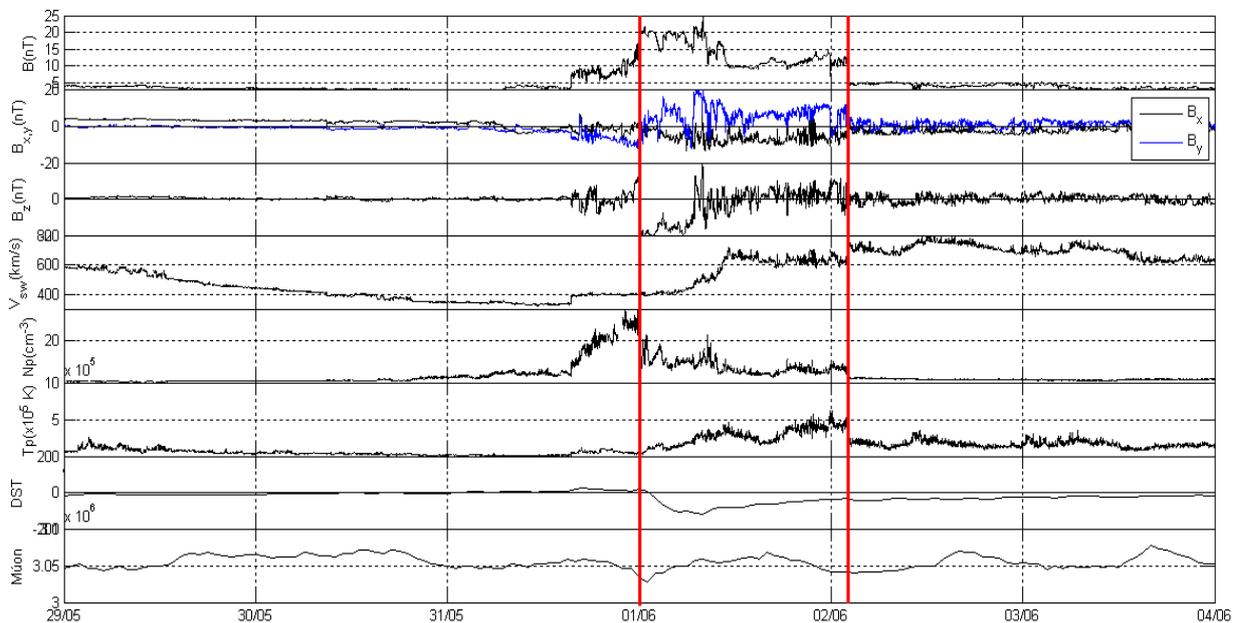


Figura 4.0 - Tempestade geomagnética causada por uma CIR.

No próximo gráfico, temos uma tempestade geomagnética moderada, com  $-60$  nT, ocorrida no dia 6 de Abril de 2011. A primeira linha indica a elevação de vários parâmetros, como a velocidade do vento solar, a densidade de prótons, a temperatura e um aumento na contagem de raios cósmicos, causada pela chegada do choque de uma ICME. Podemos notar que a partir da segunda linha há uma rotação na componente y do campo magnético, uma baixa temperatura relativa e um grande decréscimo de raios cósmicos. Assim, podemos dizer que essa tempestade geomagnética foi ocasionada por uma ICME com uma nuvem magnética.

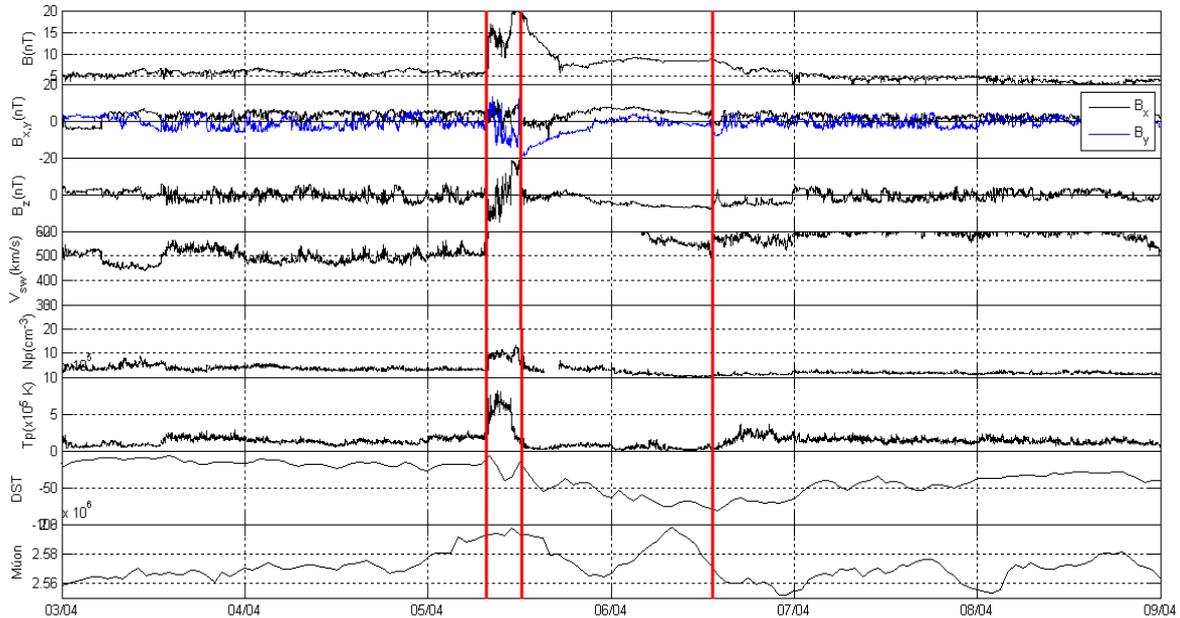


Figura 4.1 - Tempestade geomagnética causada por uma ICME com uma nuvem magnética.

Na imagem abaixo temos outro gráfico de uma tempestade geomagnética intensa causada por uma ICME. A tempestade ocorreu no dia 15 de Julho de 2012 e chegou até -127 nT. A primeira linha indica a chegada do choque, onde claramente podemos ver o aumento de vários parâmetros e um leve decréscimo na contagem de múons. As outras duas linhas delimitam a nuvem magnética, onde há uma rotação no componente z do campo magnético.

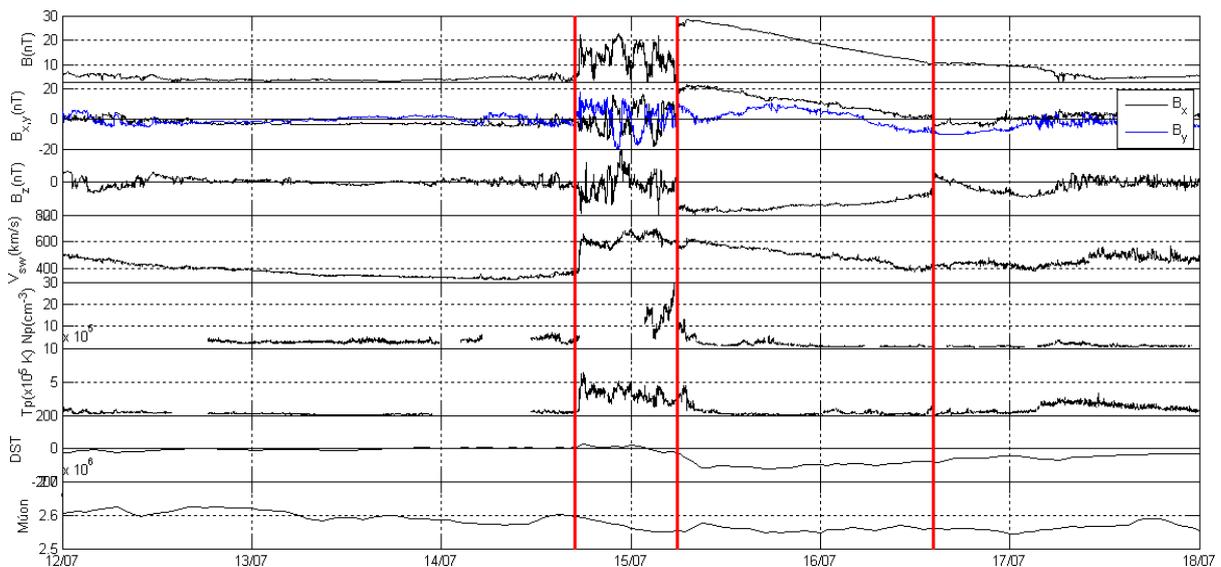


Figura 4.2 – Outra tempestade geomagnética causada por uma ICME com uma nuvem magnética.



## **CONCLUSÃO**

Foram analisados dados da intensidade de raios cósmicos, obtidos a partir dos detectores de múons localizados no Observatório Espacial do Sul – OES/CRS/INPE – MCTI – em São Martinho da Serra, RS, e também dados do vento solar, obtidos pelas espaçonaves IMP-8 e ACE. A partir desses dados pudemos estudar e classificar certas estruturas oriundas do vento solar.

As tempestades geomagnéticas causadas por essas estruturas podem trazer certas consequências, como a danificação de satélites e da rede de telecomunicações. O estudo dessas estruturas é importante para podermos analisa-las e prevê-las com antecedência, além da importância científica e acadêmica.



### **ATIVIDADES A CONCLUIR**

Continuação da análise de estruturas do vento solar a partir de dados dos detectores de múons e das espaçonaves IMP-8 e ACE;

Elaboração de trabalhos científicos e participação em congressos;

Continuação da revisão bibliográfica sobre os assuntos estudados.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

**Cane, H.;** Richardson, I.; Wibberenz, G. *Helios 1 and 2 observations of particles decreases, ejecta and magnetic clouds*. *Journal of Geophysical Research*, v. 102, p. 7075–7086, 1997.

**Walter D. Gonzalez;** Bruce T. Tsurutan; Alicia L. Clúa de Gonzalez , *Interplanetary Origin of geomagnetic storms*, Instituto Nacional Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, São Paulo, Brazil; Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology, Pasadena, California, U.S.A., 2009.

**A.G. Izzo de Oliveira,** M. Rockenbach, A.A. Pacini, *Raios cósmicos e a heliosfera*, Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento, Universidade do Vale do Paraíba, São José dos Campos, SP, Brasil, *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 36, n. 2, 2316, 2014.

**Cane, H. V,** *Coronal Mass Ejections and Forbush Decreases*, School of Mathematics and Physics, University of Tasmania, Tasmania, Australia, 2000.