



INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE/MCT
CENTRO REGIONAL SUL DE PESQUISAS ESPACIAIS – CRSPE/INPE - MCT
OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL – OES/CRSPE/INPE – MCT

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA – UFSM/MEC
LABORATÓRIO DE CIÊNCIAS ESPACIAIS DE SANTA MARIA – LACESM/CT/UFSM
PARCERIA: INPE/MCT – UFSM/MEC



PREVISÃO DE TEMPESTADES GEOMAGNÉTICAS INTENSAS ATRAVÉS DA OBSERVAÇÃO DE RAIOS CÓSMICOS E DE COMPONENTES DO MEIO INTERPLANETÁRIO.

Jairo Francisco Savian^(1,2), Marlos Rockenbach da Silva⁽³⁾, Vânia Fátima Andrioli^(1,2), Marcos Roberto Signori^(1,2), Alisson Dal Lago^(3,4), Ezequiel Echer⁽³⁾, Luis Eduardo Antunes Vieira^(3,4), Kazuoki Munakata⁽⁵⁾, Walter Demétrio Gonzalez Alarcon⁽³⁾, Nelson Jorge Schuch⁽¹⁾.

- (1) Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – Santa Maria – RS, Brasil – Contato: savian@lacsesm.ufsm.br
- (2) Universidade Federal de Santa Maria – Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria – Santa Maria, RS, Brasil;
- (3) Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – Divisão de Geofísica Espacial – São José dos Campos – SP, Brasil;
- (4) Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP - SP, Brasil;
- (5) Physics Dept., Shinshu University, Nagano, JAPAN.

Resumo

Acredita-se que o mecanismo físico responsável pela transferência de energia do Vento Solar para a Magnetosfera seja a reconexão entre o Campo Magnético Interplanetário, na direção do anoitecer, maior que 5mV/m, por um período maior que 3 horas. O objetivo do trabalho é estudar Tempestades Geomagnéticas com dados dos satélites localizados no ponto Lagrangeano - L1, e com o Telescópio Multi-Direcional de Raios Cósmicos (muons) do Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE/MCT, de São Martinho da Serra, RS, em preparação para futuras previsões destes distúrbios.

Introdução

A cada 11 anos o Sol passa por um período de intensa atividade magnética denominado de Máximo Solar, apresentando um maior número de instabilidades as quais liberam grandes quantidades de matérias na forma de Ejeções Coronais de Massa – CME (Figura 1). Estas manifestações de intensa atividade atingem o Meio Interplanetário e os planetas causando as chamadas Tempestades Geomagnéticas, que podem provocar distúrbios em sistemas eletrônicos.



Figura 1 – Representação artística da interação Sol-Terra mostrando uma Ejeção Coronal de Massa em direção à Terra, uma das causas das tempestades Geomagnéticas. Fonte: www.nasa.gov

Tempestades Geomagnéticas e seus efeitos

Os efeitos mais conhecidos das Tempestades Geomagnéticas são: intensificação de correntes elétricas no espaço e na superfície terrestre, ocorrência de auroras nos pólos, aceleração de partículas carregadas, e diversos prejuízos em satélites causando danos ao Sistema de Posicionamento Global – GPS, em telecomunicações, e até mesmo à saúde dos astronautas que se encontram em naves espaciais devido à alta dose de radiação emitida, como ilustrado na Figura 2.

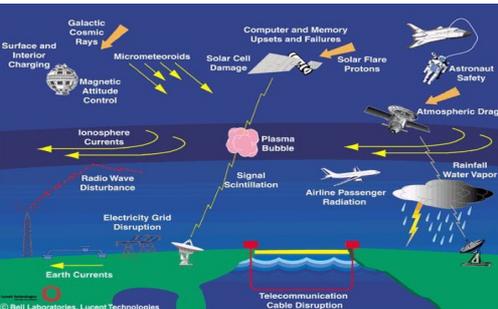


Figura 2 – Sistemas afetados por Tempestades Geomagnéticas. Fonte: http://www.spaceweathercenter.org

Outro efeito importante é o decréscimo da intensidade de raios cósmicos que chegam à Terra, causado pela presença da estrutura interplanetária que está causando a Tempestade Geomagnética.

Metodologia

Analisamos dados do Meio Interplanetário referente à estrutura interplanetária responsável pela Tempestade Geomagnética Intensa ocorrida em 19 de novembro de 2003, onde o índice Dst atingiu um valor de -472 nT, sendo uma das maiores Tempestades Geomagnéticas da história. As observações utilizadas foram feitas pelos satélites localizados no ponto Lagrangeano, L1, e pelo Telescópio Multi-Direcional de Raios Cósmicos (muons) do Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE/MCT, de São Martinho da Serra, RS, Parceria: Brasil – Japão – USA (Figura 3). O evento foi selecionado através de observações do índice Dst disponíveis no site da Universidade de Kyoto – Japão, que mede a corrente de anel magnetosférica (Mendes Jr., 1992). Em seguida analisamos dados de observações do Meio Interplanetário, preferencialmente do satélite ACE, disponíveis no sistema CDA – Coordinate Data Analysis, do Programa ISTEP – International Solar-Terrestrial Physics, juntamente com os dados de raios cósmicos (Munakata et al. (2000).



Figura 3 – Instrumentos utilizados na Previsão de Tempestades Geomagnéticas, a esquerda o satélite Advanced Composition Explorer (ACE) e a direita o Detector Multidirecional de Muons do Observatório Espacial do Sul (OES/CRSPE/INPE-MCT) em São Martinho da Serra, RS.

Resultados

No dia 18 de novembro de 2003 observou-se no disco solar uma explosão “flare” muito intensa e localizada próximo ao meridiano central do Sol, o que alertou para a possível ocorrência de uma Tempestade Magnética na Terra. A Figura 4 mostra a imagem do instrumento EIT do satélite SOHO, que observa o Sol em comprimento de onda do ultravioleta extremo, (195 Angstroms) e uma Ejeção Coronal de Massa (CME) observada pelo instrumento LASCO ambos a bordo do satélite SOHO, que oculta o disco solar fazendo um eclipse artificial, permitindo a observação detalhada da Coroa Solar.

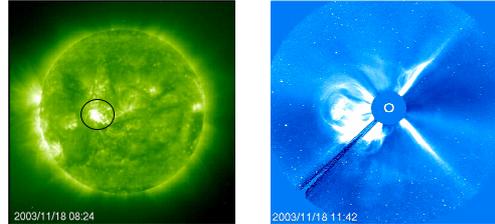


Figura 4 – A esquerda Flare solar observado em 18/11/2003 pelo instrumento EIT e a direita Ejeção Coronal de Massa tipo halo, observado pelo instrumento LASCO ambos a bordo do satélite SOHO. Fonte: http://star.mpae.gwdg.de

O decréscimo do índice Dst, sendo identificado como a maior Tempestade Geomagnética do Máximo Solar 23, atingiu um pico de -472 nT, e é apresentado na Figura 5.

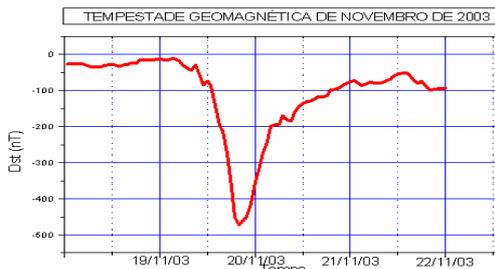


Figura 5 – Índice Dst de 18 à 22 de Novembro de 2003.

No dia 20 de Novembro de 2003 o Detector Multidirecional de Muons observou um leve decréscimo na contagem dos muons por volta das 06:00 UT, um leve acréscimo no final do dia, seguido de um decréscimo mais acentuado que se estendeu até as primeiras horas do dia 21. Acredita-se que estes decréscimos foram causados pela CME, que devido a onda de choque formada, obstruiu a passagem de parte dos raios cósmicos.

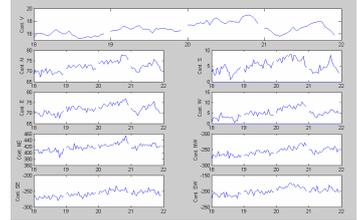


Figura 6 – Decréscimo da contagem de muons do dia 20 de Novembro de 2003.

Dados do satélite ACE mostram a chegada de uma estrutura interplanetária, conforme podemos ver na Figura 7. O painel superior à esquerda, mostra o Campo Magnético Interplanetário, o qual tipicamente apresenta valores de 5 nT em períodos calmos. Quando a frente de choque passou após às 6:00hs do dia 21, apresentou valores da ordem de 50 nT. Quando o campo magnético B apresenta um acréscimo súbito e sua componente Bz é negativa, estão favoráveis as condições para a ocorrência de uma Tempestade Geomagnética na Terra. No painel à direita mostramos dados da densidade, velocidade e temperatura do Vento Solar, que tem um acréscimo súbito, indicando a chegada da estrutura.

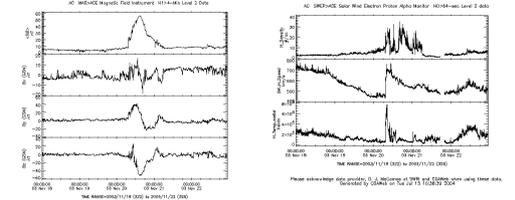


Figura 7 – Dados do satélite ACE. Fonte: http://www.srl.caltech.edu/ACE

Sumário e Comentários Finais

Após fazermos uma análise completa da Tempestade Geomagnética do dia 20 de Novembro de 2003, analisando dados do Meio Interplanetário e de raios cósmicos (muons) vimos a potencialidade desses dados para futura utilização em previsão de ocorrência desse tipo de distúrbio. O Telescópio Multi-Direcional de Raios Cósmicos do Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE/MCT integra a Rede Internacional de Telescópios do Detectores de Muons, seu tamanho e sensibilidade serão ampliadas em breve. Com a ampliação do telescópio do Observatório Espacial do Sul e com a utilização simultânea dos dados de raios cósmicos da rede internacional, será possível fazer uma previsão de chegada de distúrbios Geomagnéticos na Terra com antecedência de até aproximadamente 10 horas, conforme mostrado por Munakata et al. (2000). O monitoramento contínuo destes distúrbios se faz necessário para que possamos entendê-los melhor, e para que possamos trazer benefícios econômicos, no sentido da proteção de sistemas tecnológicos espaciais e em geral.

Agradecimentos

Agradecemos por disponibilizar os dados para que fossem analisados e ao pessoal de operação da missão ACE e da missão SOHO, bem como ao pessoal da Universidade de Kyoto, por fornecerem os dados interplanetários e de superfície utilizados no trabalho. Os autores gostariam igualmente de agradecer ao Programa PIBIC/INPE – CNPq/MCT e ao programa PET/UFSM – SeSu/MEC pelas bolsas de iniciação científica, e à FAPESP pelos Programas de Pós-Doutorado, processos 02/14150-0 e 02/12723-2.

Referências

- DAL LAGO, A. Estudo de nuvens magnéticas geofetivas no meio interplanetário. 1999. 112 p. (INPE-7283-TD/05). Dissertação (Mestrado em Geofísica Espacial) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, São Paulo, 1999.
- GONZALEZ, W.D.; TSURUTANI, B.T. Criteria of interplanetary causing intense magnetic storms(Dst<-100nT). *Planet Space Sci.*, v.35, n.9, p.1101-1109, Jul. 1987.
- GONZALEZ, W. D.; TSURUTANI, B. T.; CLUA da GONZALEZ, A. L. Interplanetary origin of geomagnetic storms. *Space Sci. Rev.*, v.88, p.529-562, 1999.
- GONZALEZ, W. D.; JOSELYN, J. A.; KAMIDE, Y.; KROEHL, H. W.; ROSTOKER, G.; TSURUTANI, B. T.; E VASYLIUNAS, V. M. What is a magnetic storm? *J. Geophys. Res.*, v.99, n.A4, p.5771-5792, Apr. 1994.
- MUNAKATA, K.; BIBER, J.W.; YASUE, S.I.; KATO, C.; KOYAMA, M.; AKAHANE, S.; FUJIMOTO, K.; FUJII, Z.; HUMBLE, J.E. e M. L. Duldig, Precursors of geomagnetic storms observed by the muon detector network. *J. Geophys. Res.*, v. 105, n. 27, p. 457, 2000.