



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

***FENÔMENOS SOLARES ENERGÉTICOS INVESTIGADOS POR
ESPECTROSCOPIA RÁDIO NA BANDA DECIMÉTRICA***

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

Bruna Cristina Braga (UNIFESP, Bolsista PIBIC/CNPq)
E-mail: crisbragmc@yahoo.com.br

Dr. José Roberto Cecatto (DAS/CEA/INPE, Orientador)
E-mail: jrc@das.inpe.br

**FÍSICA DO MEIO INTERPLANETÁRIO – FMI
DIVISÃO DE ASTROFÍSICA – DAS
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE**

08/2009 a 07/2010



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

***FENÔMENOS SOLARES ENERGÉTICOS INVESTIGADOS POR
ESPECTROSCOPIA RÁDIO NA BANDA DECIMÉTRICA***

SÃO JOSÉ DOS CAMPOS – 2010

Bolsista: Bruna Cristina Braga

Bacharelado em Matemática Computacional
UNIFESP- Universidade Federal de São Paulo
(Bolsista PIBIC/CNPq / Agosto 2009 - Julho 2010)

Orientador: Dr. José Roberto Cecatto

(Divisão da Astrofísica - DAS/ CEA/ INPE, Orientador)
Linha de pesquisa: Física do Meio Interplanetário
PROJETO: BSS – ESPECTRÓGRAFO SOLAR BRASILEIRO

Assinatura do orientador

Assinatura do bolsista

Sumário

Lista de Figuras	4
Lista de Tabelas	5
Resumo	6
1. Introdução	7
2. Sol, Atividade Solar e Fenômenos Solares	8
3. Instrumentação Relacionada ao Projeto	12
4. O software de visualização dos espectros dinâmicos e tratamento de dados de explosões solares - BSSView	14
5. Descrição das atividades desenvolvidas, análise preliminar e resultados obtidos	15
Conclusões	19
Agradecimentos	19
Referências Bibliográficas	20
Anexo I: Resumo de trabalho aceito para apresentação na XXXV Reunião Anual da SAB22	
Anexo II: Tabela CMES mais lentos ($v \leq 200\text{km/s}$) e associação com “Flares” Solares	23
Anexo III: Atividade Associada	26

Lista de Figuras

Figura 1: Dinâmica do fluxo magnético que estimula os ciclos de atividades solares.....	8
Figura 2: O maior “Flare” Solar já registrado dia 4 de novembro de 2003 às 19:48 UT.....	9
Figura 3: Ejeção de massa coronal ocorrida em 02 de dezembro de 2002.	10
Figura 4: Diagrama representativo dos arcos magnéticos da atmosfera solar.....	11
Figura 5: Imagem da antena do BSS acompanhada de suas principais características.	13
Figura 6 - Diagrama de blocos representando o Brazilian Solar Spectroscope (BSS).....	13
Figura 7: Histograma do número total de CMEs ocorridos no período de 1996 à 2010 em função de sua energia. A distribuição obtida nos mostra um pico no intervalo de energias de 10^{29} - 10^{30} erg.....	12

Lista de Tabelas

Tabela 1: Eventos extraídos do catálogo de espectros dinâmicos de explosões solares decimétricas registradas pelo Brazilian Solar Spectrope 16

Tabela 2: Distribuição de Energia em função da distribuição de Massa de CMEs com velocidades $v \leq 200$ km/s..... 18

Tabela 3: Número total de CMEs com velocidades $v \leq 200$ km/s em função de sua energia18

Tabela 4: CMEs associados a “Flares” Solares no período de março de 1997 à janeiro de 1998 18

Resumo

O Clima Espacial está relacionado às condições no Sol, no vento solar, na magnetosfera, ionosfera e termosfera terrestres que podem influenciar no desempenho e segurança de sistemas tecnológicos espaciais ou terrestres e ainda afetar a vida e saúde humanos. Devido a sua importância, foram criados programas de Clima Espacial em vários países. No Brasil, o Programa iniciou-se em 2008. Neste caso, com o início do período de máximo do atual ciclo de atividade solar (ciclo 24), é importante a investigação das causas e consequências dos fenômenos energéticos - Fulgurações (“Flares”) e Ejeções de Massa Coronal (CMEs) - referentes ao Clima Espacial, para consolidar o Programa de Clima Espacial do INPE criado recentemente. Dando continuidade ao projeto iniciado em agosto de 2006, estamos realizando a investigação de fenômenos energéticos solares – “Flares” e CMEs - usando tanto dados de observações solares do último ciclo de atividade solar (ciclo 23) quanto a infra-estrutura instalada do instrumento designado por “Brazilian Solar Spectroscope (BSS)”, bem como dados simultâneos provenientes de outros instrumentos instalados em solo ou em satélites artificiais - SOHO, RHESSI, Hinode e outros. Desde 1996, foram registrados pelo experimento LASCO, a bordo do satélite SOHO, mais de 8 mil CMEs, a maior parte (~ 73%) dentro do intervalo de 2000-2005. A distribuição de energias apresenta um pico em $10^{29} - 10^{30}$ erg, enquanto as velocidades variam no intervalo 20-3300 km/s com um valor médio de 470 km/s. Por outro lado, $10^{13} - 10^{14}$ g é o pico da distribuição de massas. O conjunto dos CMEs mais lentos ($v \leq 200$ km/s) – potencialmente importante para se determinar o limiar e condições de ocorrência deste tipo de fenômeno - apresenta o pico em energia uma ordem de grandeza menor, enquanto a distribuição de massas não difere muito da distribuição geral. Neste relatório, apresentamos estes resultados junto com aqueles das investigações de CMEs associados a “Flares” cujo espectro na banda decimétrica de ondas de rádio foi registrado pelo BSS.

1. Introdução

A partir de abril de 1998, entrou em operação regular, na sede do INPE, em São José dos Campos, SP, o rádio-espectrógrafo digital batizado de “Brazilian Solar Spectroscope – BSS”, que foi desenvolvido pela linha de pesquisas de Física do Meio Interplanetário - FMI (Sawant et al., 1996; Fernandes, 1997, Sawant et al., 2000; Sawant et al., 2001). Esse instrumento foi concebido para realizar observações solares na faixa de frequências decimétricas (200-2500 MHz), operando em conjunto com uma antena parabólica de 9 m de diâmetro de montagem polar. O instrumento apresenta alta sensibilidade (~ 2 sfu), e altas resoluções espectral (1-10 MHz) e temporal (10-1000 ms). Mais informações a respeito do instrumento são fornecidos na seção 3 adiante.

Este trabalho tem como principal objetivo fazer uma investigação da atividade observada em ondas decimétricas (rádio) associada aos fenômenos de ejeção de massa coronal (CME), uma vez que as regiões de aceleração de partículas dos fenômenos explosivos estão associadas a alturas de onde se originam as emissões rádio na banda decimétrica, como descrito adiante. Estas investigações visam determinar as características do espectro da emissão em rádio associada aos fenômenos solares energéticos: “Flares” e CMEs, com o intuito de pesquisar uma assinatura rádio associada à sua ocorrência. A partir destas, será possível determinar as condições físicas presentes na atmosfera solar (baixa coroa) necessárias e/ou suficientes para ocorrência destes fenômenos. Os conhecimentos adquiridos com estas investigações, em conjunto com outras informações, deverão auxiliar os programas de previsão do clima espacial.

Foi iniciado um programa de Iniciação Científica com o intuito de treinar um estudante para participar e atuar na análise de explosões solares observadas, e determinação de seus parâmetros observacionais, incluindo o desenvolvimento e/ou adaptação de rotinas computacionais específicas para esta finalidade. Além disso, as atividades incluem a pesquisa sobre fenômenos de Ejeção de Massa Coronal (CME), e suas características, associados aos espectros das explosões solares registradas em ondas de rádio decimétricas pelo instrumento BSS. Incluem também a participação no tratamento dos dados. Resultados preliminares já foram obtidos (Cecatto et al., 2005; Cecatto, 2009).

Neste relatório, apresentamos as atividades desenvolvidas e resultados obtidos no decorrer do período de agosto de 2009 a julho de 2010 relacionadas ao projeto de iniciação científica.

Este relatório está estruturado da seguinte forma, a seção 1 apresenta uma introdução. Na seção seguinte, descrevemos aspectos importantes sobre o Sol, atividade solar e fenômenos solares. A instrumentação utilizada no projeto está descrita na seção 3. Por sua vez, a seção 4 apresenta uma descrição sobre o software de visualização e tratamento de dados. Em seguida, descrevemos as atividades desenvolvidas e resultados obtidos até o presente. E finalmente, temos a conclusão, agradecimentos e referências bibliográficas.

2. Sol, Atividade Solar e Fenômenos Solares

O Sol, estrela mais próxima de nosso planeta, é um corpo cuja matéria constituinte é conhecida pelo nome de “plasma” – grosseiramente, um gás muito quente, formado de partículas elementares (elétrons e íons positivos) - que carrega consigo as linhas de força de seu campo magnético. Sua velocidade de rotação não é uniforme, sendo mais rápida nas regiões equatoriais do que nas regiões polares, por isso dizemos que o Sol possui rotação diferencial.

O processo de rotação diferencial causa distorções nas linhas do campo magnético que acabam por produzir regiões ativas – regiões da atmosfera solar mais quentes e densas com intensos campos magnéticos, de centenas a poucos milhares de Gauss, representadas por configurações magnéticas em forma de arcos (“loops”) - onde ocorrem os fenômenos chamados de explosões solares (Figura 1). O período durante o qual ocorre o aumento e posterior diminuição gradual no número de regiões ativas presentes no disco solar, cuja duração média é de 11 anos, é chamado de ciclo de atividade solar. Existem diversos fenômenos associados a este período, entre os principais podemos citar as manchas solares, granulações, fáculas, espículas, praias, proeminências eruptivas e quiescentes, os ventos solares, os “Flares” e os famosos CMEs – Ejeções de Massa Coronal. Entre os fenômenos citados acima, os que mais nos interessam são os chamados fenômenos energéticos (“Flares” e CMEs) que estão associados ao intervalo de máximo do ciclo de atividade solar.

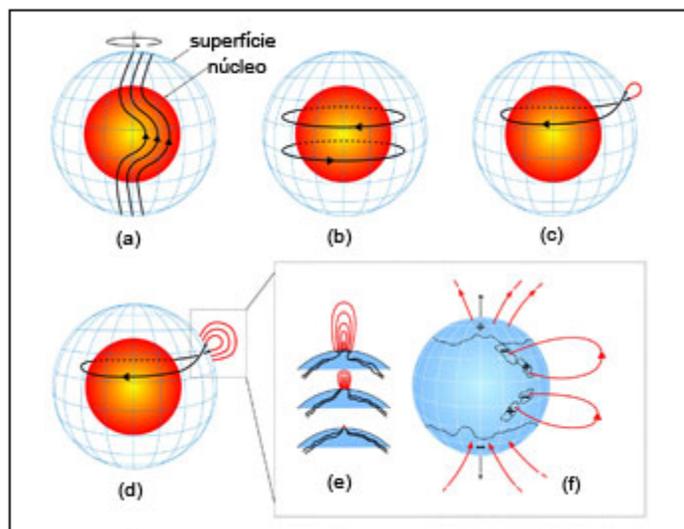


Figura 1: Dinâmica do fluxo magnético que estimula e prediz os ciclos de atividades solares. (a) o Sol tem rotação diferencial – as linhas de força de seu campo magnético são desviadas no equador; (b) em baixas e médias latitudes as linhas de força tornam-se paralelas ao equador solar; (c) a pressão dentro das linhas de força se torna muito intensa gerando emergência de arcadas magnéticas em direção à superfície – formam-se manchas solares; (d), (e) e (f) um fluxo adicional emerge da superfície, a partir das manchas, formando arcos magnéticos – “loops” – na atmosfera solar, que quando muito intensos causam explosões solares e outros fenômenos. Crédito: NASA. (Fonte: Adaptado <http://www.portaldoastronomo.org/noticia.php?id=627>).

As Fulgurações (“Flares”, do Inglês) solares, como são conhecidas na banda do visível, designados por explosões solares em outros comprimentos de onda, correspondem a fenômenos de liberação de grandes quantidades de energia (10^{26} - 10^{32} erg) que ocorrem em regiões ativas existentes na atmosfera solar (alta cromosfera-baixa coroa), numa escala de tempo que varia de segundos a poucas horas para os fenômenos mais energéticos (Figura 2). Como mencionado acima, a intensidade do campo magnético varia de centenas a poucos milhares de Gauss. O espectro das explosões é amplo, desde ondas de rádio quilométricas até raios-X e raios-gama. Através de observações de satélite na banda dos raios-X, sabe-se que a liberação de energia para a ocorrência destes fenômenos ocorre em alturas da atmosfera solar cujas densidades correspondem à emissão rádio na faixa decimétrica (Moore et al., 1980). As imagens em raios-X de alta resolução do satélite Yohkoh (Ohyama e Shibata, 1999) confirmaram tais evidências. Neste caso, a espectroscopia rádio na banda decimétrica permite identificar a altura aproximada da região de liberação de energia, bem como a região de aceleração de partículas, para os “Flares”. Por estes motivos, as observações solares na faixa de ondas de rádio decimétricas são essenciais como meio de investigação dos principais problemas fundamentais da Física solar (Bastian et al., 1998b; Bastian, 2006).

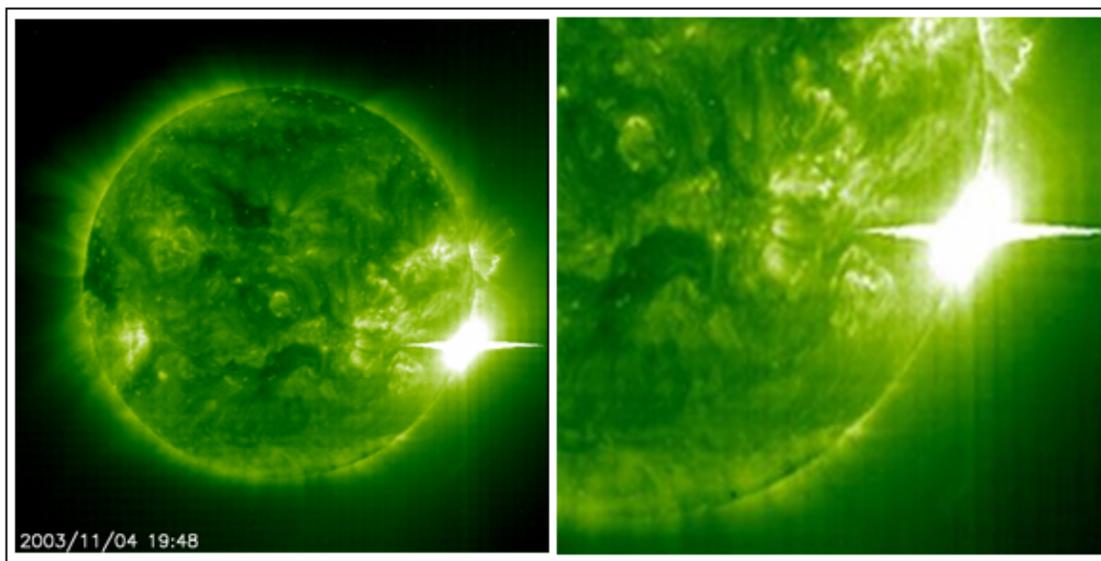


Figura 2: Imagem no ultravioleta (EIT- satélite SOHO) do maior “Flare” Solar (classe X45, em raios-X) já registrado que ocorreu no dia 4 de novembro de 2003 com máximo às 19:48 UT.

(Fonte: Adaptado- <http://solar.physics.montana.edu/reu/2004/sgaard/Flare.html>) 08/03/2010 – 16h33

Ejeções de massa coronal (CME) são grandes quantidades de matéria (10^{13} - 10^{14} g) na forma de bolhas de gás gigantes, envoltas em linhas de campo magnético, que são expulsas do Sol, durante um período de várias horas, formando uma enorme erupção que se expande para o espaço exterior, a velocidades dentro da faixa de dezenas a poucos milhares de km/s; a velocidade média dos CME é de cerca de 470 km/s. Os CME são acelerados conforme vão se movendo para o espaço exterior (Figura 3). Ainda não se sabe qual a causa destes fenômenos, e também não está certo de onde se originam. A maior parte encontra-se associada a proeminências eruptivas. O restante que acompanha os "Flares" costuma

aparecer na forma de "surges" ou "sprays". Entretanto, em ambos os casos existe associação com instabilidades em proeminências. Além disso, também podem ocorrer na ausência de "Flares" ou proeminências eruptivas. Sua frequência de ocorrência varia com o ciclo solar, indo desde um evento por semana, no mínimo do ciclo, até cerca de 2-3 ou mais por dia nos períodos do máximo do ciclo. Também sua morfologia varia desde um formato aproximado de jato até um halo, que pode circundar todo o disco solar (360 graus) em casos extremos. A maioria produz ondas de choque que percorrem a distância a partir do Sol até a Terra em cerca de 2 dias. Ocasionalmente, estes fenômenos podem quebrar o fluxo do vento solar e produzir perturbações na Terra com resultados perigosos e nocivos às atividades humanas. Este fenômeno, em conjunto com os "Flares" solares afetam diretamente o chamado clima espacial.

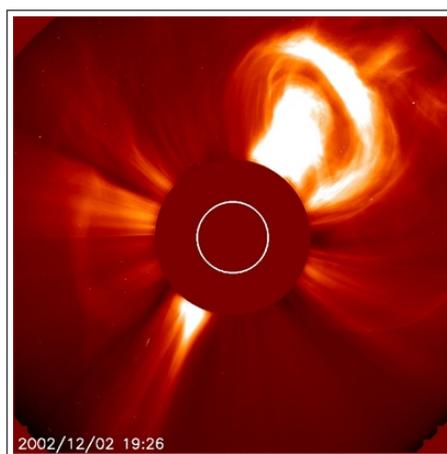


Figura 3: Ejeção de massa coronal ocorrida em 02 de dezembro de 2002. As imagens foram feitas com o coronógrafo C2 do satélite SOHO, que esconde o disco do Sol. Fonte: <http://astro.if.ufrgs.br/esol/hoje.htm> - 08/03/2010

Em busca de explicações a respeito dos "Flares" solares, diversas observações são realizadas com emissões solares nas faixas milimétrica a decamétrica de ondas de rádio. Na Física solar, as observações solares em frequências métricas e decimétricas são essenciais como ferramentas para melhorar a compreensão a respeito de seus problemas fundamentais. Essas emissões oferecem um grande número de ferramentas para responder a antigas perguntas acerca do armazenamento e liberação de energia, do aquecimento do plasma, da aceleração de partículas, e do transporte de partículas em plasmas magnetizados.

Nas faixas de comprimentos de onda métricos e decimétricos encontramos explosões de diversos tipos (explosão tipo I, II, III, IV, V), mas, dentre estas podemos destacar as explosões tipo-III, pois são as mais importantes e úteis devido a permitirem um diagnóstico das condições físicas da região de aceleração. Tratam-se de feixes de elétrons acelerados se propagando pelos arcos magnéticos a partir da região de aceleração, e interagindo com o plasma ambiente gerando a emissão de radiação eletromagnética na frequência de plasma local e no segundo harmônico da mesma. O processo de emissão das explosões tipo-III pode ser visto na Figura 4. As explosões solares ocorrem em centros ativos da atmosfera solar conhecidos como "loops". Esses "loops" estão localizados na atmosfera acima das manchas solares (ou seja, nos pés de cada "loop" encontramos as manchas solares). Os

feixes de elétrons acelerados dentro desses “loops” se movimentam em direções ascendentes e/ou descendentes. Os feixes descendentes normalmente geram as explosões tipo-III decimétricas (DCIM), enquanto os feixes que se dirigem para cima ao longo das linhas do campo magnético “abertas” produzem explosões tipo-III métricas.

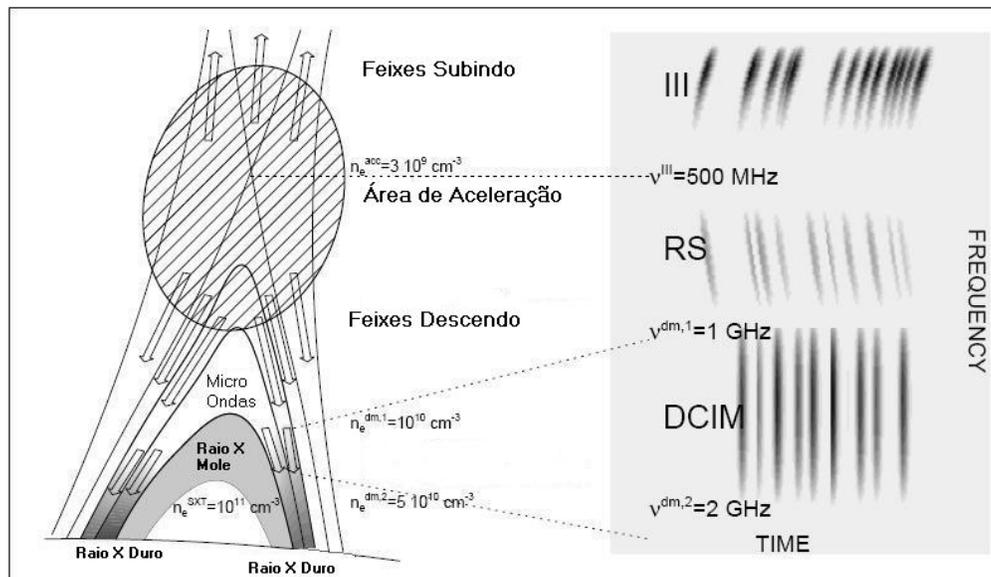


Figura 4: Diagrama representativo dos arcos magnéticos (centros ativos) da atmosfera solar onde são geradas as explosões solares e emissão rádio associada dentro da faixa decimétrica (Adaptada de Aschwanden & Benz, 1997).

A explosão tipo-III decimétrica:

A explosão tipo-III dm, ocorre geralmente na faixa 400–800 MHz, mas pode ocorrer em frequências mais baixas (200 MHz) e também muito mais elevadas. Elas são claramente mais numerosas do que as explosões métricas. Os feixes de elétrons das explosões tipo-III acima de 1GHz normalmente têm movimento descendente no arco magnético. A mudança de movimentos ascendentes e descendentes ocorre geralmente na faixa de 0,4-1 GHz. A explosão tipo-III dm está associada com os feixes de elétrons em “loops” fechados dos centros ativos.

O mecanismo de emissão rádio dominante durante os “Flares” depende dos comprimentos de onda observados e das condições locais da fonte das explosões. Embora não seja um padrão, frequentemente a emissão de girossíncrotron domina a emissão em ondas centimétricas e milimétricas, ao passo que a radiação de plasma domina em ondas métricas e decimétricas. Além da emissão de plasma (tipo-III e variantes - estruturas finas), na faixa de frequências decimétricas podemos também observar a emissão microondas (devido à girossíncrotron em banda larga – emissão no contínuo).

O estudo das emissões rádio solares tem contribuído em grande parte para melhorar a compreensão de questões relacionadas aos “Flares” solares, por isso a linha de pesquisas de Física do Meio Interplanetário (FMI), da Divisão de Astrofísica do INPE, buscando o

aprimoramento desse tipo de observação, desenvolveu um espectrógrafo solar digital decimétrico de banda larga capaz de operar com alta resolução e alta sensibilidade. Esse instrumento é conhecido como BSS (Brazilian Solar Spectroscope) e através dele muitos resultados de relevância já foram alcançados. Uma descrição deste instrumento é dada na próxima seção.

3. Instrumentação Relacionada ao Projeto

O espectrógrafo BSS:

O BSS é um rádio-espectrógrafo solar que opera em conjunto com um refletor parabólico de 9m de diâmetro, até 2009 instalado no campus do INPE, em São José dos Campos, e atualmente em fase de conclusão de instalação no INPE, em Cachoeira Paulista (Figura 5). O BSS realiza observações diárias (11:30-18:30 UT) com altas resoluções em frequência e tempo, principalmente acima de 1000 MHz, com o intuito de investigar fenômenos da atividade solar - por exemplo, os “Flares” solares (Sawant et al., 1994; Fernandes e Sawant, 1996; Fernandes et al., 1996a,b; Fernandes, 1997, Fernandes e Sawant, 1998; Meléndez et al., 1999; Sawant et al., 2009).

Recentemente, o BSS teve seu sistema de aquisição de dados atualizado, através de um projeto apoiado pelo CNPq (No. Processo: 475723/2004-0). Foram substituídas as máquinas de aquisição, armazenamento e visualização de dados em tempo quase real, instalado um relógio de tempo UT via GPS, um conversor A/D e um cartão de tempo usando o código NMEA com precisão até dezenas de microssegundos. Desta forma, o sistema de aquisição de dados do instrumento foi atualizado e modernizado, recuperando sua competitividade científica. Além disso, o instrumento passou a utilizar um digitalizador de 16 bits com capacidade de até 200 kSamples/s. Também, foi desenvolvido um novo software de aquisição de dados que é independente do processador da máquina, o que não ocorria anteriormente. Portanto, houve um grande avanço do ponto de vista da aquisição, armazenamento e visualização de dados. A Figura 6 mostra um diagrama de blocos do instrumento BSS em sua versão atual, com ênfase no novo sistema de aquisição de dados.

Atualmente, devido tanto à construção de um prédio no local onde se encontrava instalada a antena do instrumento quanto a existência de vários sinais de interferência em rádio-frequências que perturbam as observações, o instrumento foi transferido para um novo sítio dentro do campus do INPE em Cachoeira Paulista. Em breve, assim que a instalação do instrumento no novo sítio estiver concluída, o instrumento deverá entrar em operação.

Os principais aspectos operacionais do BSS são:

- a) Visualização dos dados em tempo quase-real na forma de espectro dinâmico (gráfico da variação da intensidade da emissão em função do tempo e da faixa de frequências), o que possibilita a mudança dos parâmetros de observações de acordo com a atividade solar;
- b) Flexibilidade na escolha das resoluções temporal e espectral e da banda de frequências de observação, dependendo do tipo de fenômeno observado;

c) Precisão de tempo absoluta ~ dezenas de microssegundos, o que possibilita estudos multi-espectrais a partir de dados de observação simultâneas realizadas por outros observatórios;

d) Único espectrógrafo rádio digital do hemisfério ocidental Sul com observações solares de ondas decimétricas cobrindo o intervalo de 11:30-18:30 UT.

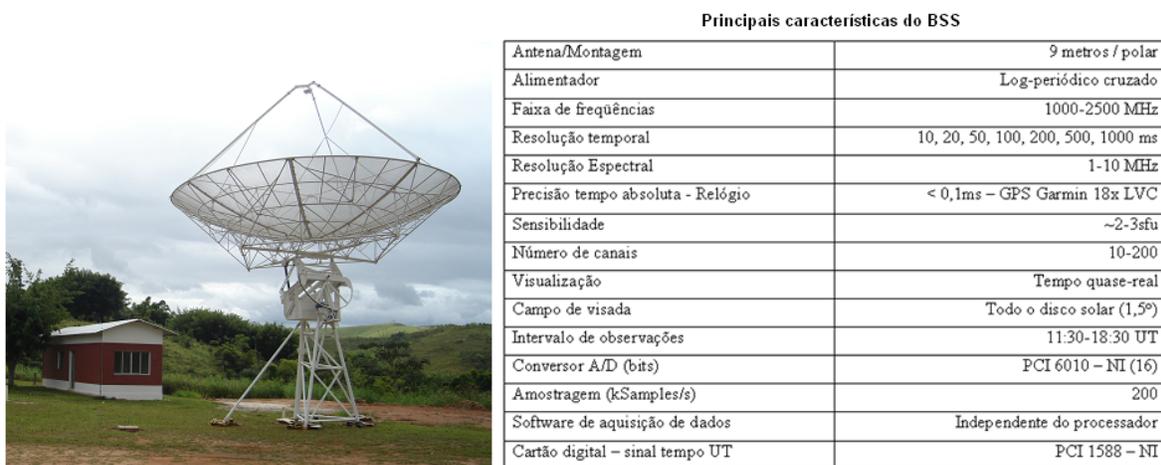


Figura 5: Imagem da antena de 9m de diâmetro do BSS instalada no novo sítio, em Cachoeira Paulista, e tabela com as principais características do instrumento.

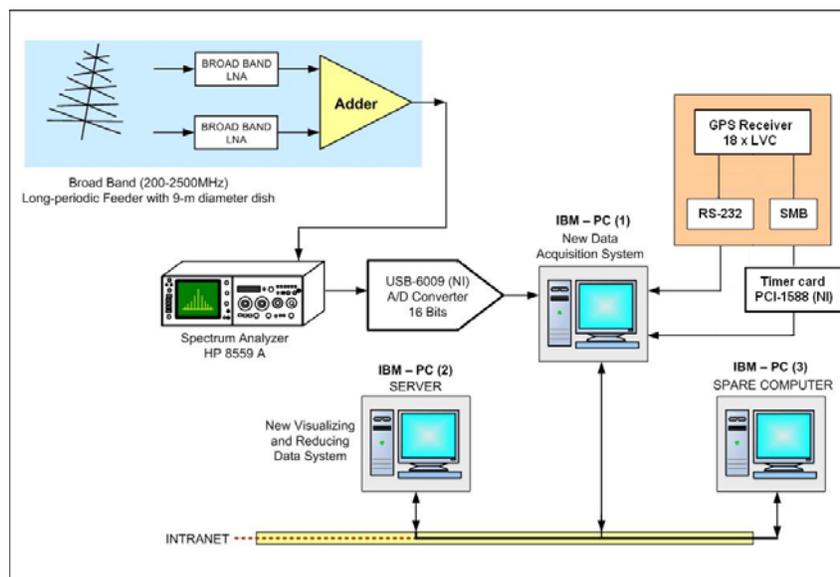


Figura 6 - Diagrama de blocos representando o novo sistema de aquisição de dados do Brazilian Solar Spectrograph (BSS).

Conforme mostrado na Figura 6, os dados provenientes do analisador de espectros – que faz a varredura do sinal na faixa de frequências e com as resoluções selecionadas – são digitalizados no microcomputador IBM-PC1 e armazenados e visualizados num segundo microcomputador IBM-PC2. O monitoramento contínuo da atividade solar através do BSS é feito diariamente durante cerca de 7 horas (11:30-18:30 UT) o que gera um volume de pelo menos 200 Mbytes de dados diários.

O instrumento permite ajustar a resolução temporal da aquisição digital dos dados entre 10 e 200 canais de frequência. Os dados são enviados a um segundo micro-computador, onde são visualizados na forma de espectro dinâmico, em tempo quase-real e armazenados para posterior análise. O software BSSView (Faria, 1999) – descrito na próxima seção - para visualização e análise preliminar de dados espectrais foi desenvolvido por membros do grupo de FMI e está em uso atualmente. No entanto, este software não apresenta todas as rotinas necessárias para a análise detalhada de explosões solares. Está sendo revisado o software de tratamento de dados para levantamento de necessidades de atualização e/ou substituição por um novo.

4. O software de visualização dos espectros dinâmicos e tratamento de dados de explosões solares - BSSView

O acesso aos espectros dinâmicos dos fenômenos solares é possível devido ao instrumento BSS, apresentado anteriormente, e responsável pelo monitoramento diário do Sol. Este instrumento possui um “software” chamado de BSSView que é o responsável pela visualização dos espectros dinâmicos em tempo quase-real, e também pelo tratamento preliminar dos dados adquiridos e armazenados.

Os espectros dinâmicos com altas resoluções temporal e espectral dos fenômenos registrados pelo BSS permitem determinar, entre outros, os seguintes parâmetros observacionais das estruturas individuais:

- duração total;
- largura de banda instantânea;
- separação em frequência entre duas estruturas adjacentes;
- taxa de deriva em frequência (variação em frequência com o tempo);
- classificação do tipo espectral e determinação dos parâmetros espectrais.

Portanto, é uma ferramenta versátil e muito útil para iniciar a análise dos dados dos fenômenos observados pelo BSS.

O espectro dinâmico da radiação solar na banda de rádio fornece informações a respeito do tipo de fenômeno energético observado. Além disso, particularmente na banda de ondas decimétricas, outras informações podem ser obtidas, como por exemplo, usando-se um modelo de densidade para a atmosfera solar, pode-se estimar a altura da região de aceleração das partículas, o tipo de agente excitador – por exemplo feixe de partículas aceleradas no caso das explosões tipo-III – o comprimento de percurso e a velocidade do feixe de partículas na atmosfera solar, o que pode ser medido através da taxa de deriva (razão intervalo de frequências pelo intervalo de tempo).

5. Descrição das atividades desenvolvidas, análise preliminar e resultados obtidos

As atividades do atual trabalho foram iniciadas realizando-se um levantamento bibliográfico acerca de assuntos relacionados ao novo projeto iniciado em 2009 intitulado “Fenômenos solares energéticos investigados por espectroscopia rádio na banda decimétrica”, sendo assim, foram obtidas novas referências bibliográficas entre o período de 2008 e 2009 além daquelas presentes na proposta de pesquisa apresentada no momento do pedido de bolsa de iniciação científica. Com isso, foi possível aumentar o entendimento quanto aos assuntos da física solar e conhecer outros centros e grupos de pesquisas que estudam o Sol buscando informações diretamente e/ou indiretamente ligadas ao tema do projeto.

O acesso aos espectros dinâmicos dos fenômenos solares é possível devido ao instrumento BSS, apresentado anteriormente, e responsável pelo monitoramento diário do Sol. Como visto, este instrumento possui um “software” chamado de BSSView. Este software foi desenvolvido na linguagem IDL (Interactive Data Language), devido a isso, para um melhor trabalho com o tratamento de imagens e para a aquisição de conhecimento e aprendizagem, foi iniciado o estudo da linguagem IDL, linguagem de alto nível, com o objetivo de adquirir experiência em desenvolvimento/adaptação/implementação de ferramentas computacionais para manipulação de dados e /ou imagens.

Como apresentado na proposta de pesquisa, um dos resultados esperados é a participação na preparação de artigos científicos sobre os resultados das pesquisas a serem submetidos para publicação em periódicos internacionais. Sendo assim, foi iniciada a leitura do livro “How to write and publish a Scientific Paper”, cuja referência se encontra no final deste relatório, com o objetivo de aprender os princípios básicos necessários para se escrever e publicar artigos científicos. Isto visa futuramente estar apta a escrever e publicar artigos de própria autoria e também em conjunto com outros pesquisadores.

No período de outubro a dezembro de 2009, em atendimento à sugestão do orientador, assisti e participei de atividades do curso intitulado: Interferometria e Síntese de Abertura, ministrado pelo mesmo junto ao programa de Pós-Graduação da Divisão de Astrofísica (DAS) do INPE. Assim, a despeito do nível elevado do curso relativamente ao meu conhecimento básico, foi possível participar do curso e adquirir conhecimentos básicos sobre interferometria rádio. Ao final do curso apresentei um seminário a meu orientador cujo título foi: “Observações radioastronômicas”, apresentando conceitos básicos das observações radioastronômicas. Esse conhecimento será muito útil em minha carreira científica nesta área num futuro próximo.

Realizei uma pesquisa acerca das atividades solares associadas à CMEs, especificamente das explosões solares associadas a CMEs. Para esse trabalho foram utilizados os catálogos de espectros dinâmicos de explosões solares decimétricas registradas pelo Brazilian Solar Spectrocope (BSS) dos anos de 1999; 2000; 2001 e 2002, além dos sites de atividades solares (listados no final do relatório como referências) e também informações obtidas pelo “SOHO-LASCO CME CATALOG” cujo endereço eletrônico também encontra-se ao final

do relatório. Com isso, foi possível criar uma tabela com informações sobre eventos relacionados com CMEs, com suas datas, horários de início, máximo e fim, além de suas regiões ativas e localização. A seguir encontra-se uma pequena fração da tabela criada como amostra de sua estrutura. Devido ao tamanho da tabela a mesma encontra-se completa em anexo.

A tabela 1 refere-se aos eventos ocorridos entre junho de 1999 e julho de 2000. Entre eles, temos os CMES registrados pelo coronógrafo LASCO (Large Angle and Spectrometric Coronagraph) a bordo do satélite SOHO. Em conjunto, encontramos dados de explosões solares decimétricas registradas pelo Brazilian Solar Spectroscope cuja fonte foi o catálogo de explosões solares de 1999 à 2002. A tabela possui também dados a respeito de ocorrências de “Flares” Solares no mesmo período. Comparando-se os horários da ocorrência de cada um dos fenômenos foi possível estudar sua associação. Assumimos como associados fenômenos que ocorreram dentro de 5 minutos do tempo de início ou de fim do evento.

TABELA 1: EVENTOS EXTRAÍDOS DO CATÁLOGO DE ESPECTROS DINÂMICOS DE EXPLOSÕES SOLARES DECIMÉTRICAS REGISTRADAS PELO BRAZILIAN SOLAR SPECTROSCOPE, DO CATÁLOGO DE CMES E “FLARES” ASSOCIADOS

DIA	BSS		CMES	FLARES ASSOCIADOS					
	HORA	*ATIVIDADE ASSOCIADA	LASCO Onset 1 - 2	RAIOS-X				OPTICO	
				INICIO	MÁXIMO	FIM	CLASSE	RGN #	COORDENADAS
24 /06 /1999	16:44 – 17:17	RBR 245 17:14	17:16:43 / 16:37:29	-	-	-	-	-	-
17/08/1999	12:43-18:34	C5.9 14:28	14:32:37/ 12:44:28	1433	1435	1440	-	8662	S17W81
17/08/1999	-	-	-	1505	1522	1634	C5.9	8668	N24E37
30 /08 /1999	17:50 – 17:59	-	17:44:31/ 17:56:43	1746	1746	1756	-	8674	S21W48
27/11/1999	12:09 – 12:22	-	11:23:36/12:31:55	1208	1212	1319	XL4	8771	S15W68
18/ 04 /2000	14:55:11-15:00:39	-	15:46:26/14:53:56	-	-	-	-	-	-
02/ 05 /2000	14:43:18-14:48:46	245-15400	14:38:38/14:45:17	1445	1446	1505	M2.8	8971	N22W68
19/ 05 /2000	13:12-13:18	12:44-17:00 CTM/1	13:35:42/13:12:05	-	-	-	-	-	-
06/ 06 /2000	15:01-17:17	320-15400	15:03:42/14:54:29	1206	1521	1843	X2. 3	9026	N20E18
07/ 06 /2000	15:37-15:43	15:38-31 245-15400 II IV	15:51:02/15:35:42	1504	1546	1851	X1.2	9026	N23E03
04/ 07 /2000	14:58-14:59	SF 14:58-15:16	15:16:48/15:03:45	1458	1500	1516	C2. 3	9068	S22E31
04/ 07 / 2000	15:18	SF 15:11-16:22	15:16:48/15:03:45	1511	1525	1622	C3. 4	9070	N17E49
06/ 07 / 2000	12:26-12:37	12:36 RBR 410-1415	12:15:21/12:31:50	1222	1223	1226	C4. 3	9070	N18E25

* O site do catálogo de CMEs encontra-se entre as referências. Dados de “Flares” extraídos de: <http://www.swpc.noaa.gov/ftpmenu/warehouse>.

Dando continuidade, foram pesquisados artigos científicos que estivessem relacionados à mínima velocidade de um CME e conseqüentemente à energia mínima de um CME, de forma a descobrir se existiam estudos acerca de tais características do fenômeno. Tal estudo possui real importância pelo fato de, através destes eventos mais lentos, ser possível determinar o limiar e as condições de ocorrência deste tipo de fenômeno.

Utilizando-se de dados do catálogo do instrumento LASCO, o mesmo utilizado para a obtenção da tabela 1, foi efetuado um levantamento dos parâmetros – Energia, Massa, Velocidade e tempo de início - e geradas tabelas contendo dados de CMEs ocorridos desde 1996 à 2010.

Foi construída uma tabela geral de todos os CMEs utilizando-se como parâmetros tanto o número total de eventos quanto sua energia associada, além de uma tabela contendo todos os CMEs cuja velocidade máxima atingida foi $\leq 200\text{km/s}$ associado também ao número total de eventos ocorridos em determinado intervalo e energia e por fim foi criada uma tabela com os parâmetros massa e energia de CMEs com a mesma velocidade citada anteriormente. Da tabela geral obtivemos um histograma mostrando a distribuição de CMEs ocorridos em função de sua energia (vide Figura 7 a seguir).

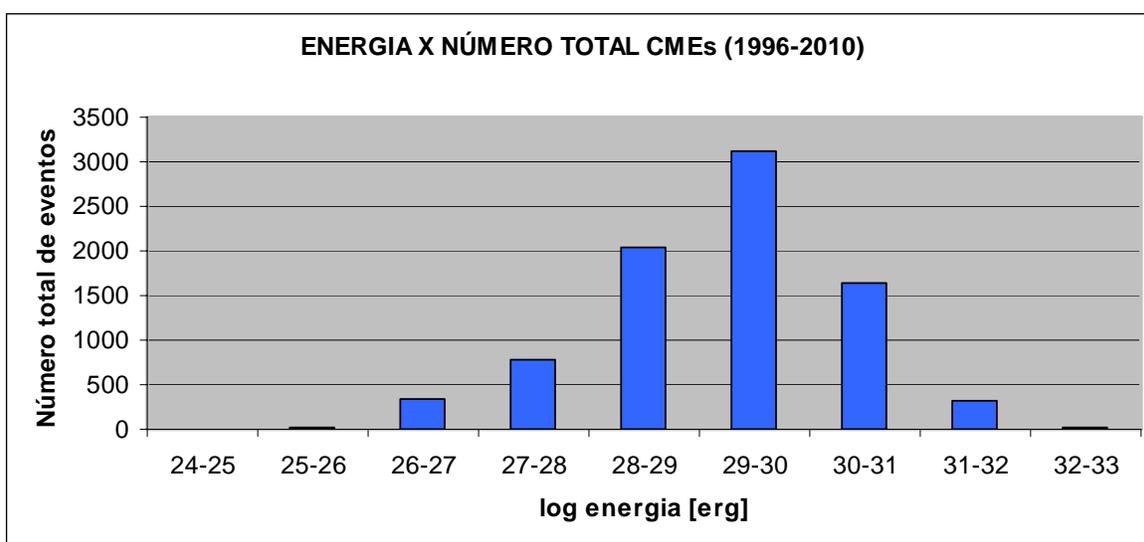


Figura 7: Histograma do número total de CMEs ocorridos no período de 1996 à 2010 em função de sua energia. A distribuição obtida nos mostra um pico no intervalo de energias de $10^{29} - 10^{30}$ erg.

Desde 1996, foram registrados pelo experimento LASCO, a bordo do satélite SOHO, mais de 8 mil CMEs, a maior parte ($\sim 73\%$) dentro do intervalo de 2000-2005. A distribuição de energias apresenta um pico em $10^{29} - 10^{30}$ erg como podemos observar no histograma acima. Enquanto isso, as velocidades variam no intervalo 20-3300 km/s com um valor médio de 470 km/s. Por outro lado, $10^{13} - 10^{14}$ g (para CMEs com $v \leq 200$ km/s) é o pico da distribuição de massas (vide Tabela 2 a seguir). O conjunto dos CMEs mais lentos ($v \leq 200$ km/s) – potencialmente importante para se determinar o limiar e condições de ocorrência deste tipo de fenômeno como dito anteriormente - apresenta o pico em energia em torno de uma ordem de grandeza menor (vide Tabela 3 adiante), enquanto a distribuição de massas não difere muito da distribuição geral.

TABELA 2: DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA EM FUNÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO DE MASSA DE CMES COM VELOCIDADES $V \leq 200$ KM/S

Massa(g)/E(erg)	10^{24} _ 10^{25}	10^{25} _ 10^{26}	10^{26} _ 10^{27}	10^{27} _ 10^{28}	10^{28} _ 10^{29}	10^{29} _ 10^{30}	10^{30} _ 10^{31}	10^{31} _ 10^{32}	10^{32} _ 10^{33}
10^{11}	-	2	2	-	-	-	-	-	-
10^{12}	-	-	20	5	-	-	-	-	-
10^{13}	-	-	11	74	17	-	-	-	-
10^{14}	-	-	2	10	63	4	-	-	-
10^{15}	-	-	-	-	7	14	-	-	-
10^{16}	-	-	-	-	-	-	2	-	-
Total	-	2	35	89	87	18	2	-	-

TABELA 3: NÚMERO TOTAL DE CMES COM VELOCIDADES $V \leq 200$ KM/S EM FUNÇÃO DE SUA ENERGIA

E(erg)	10^{24} _ 10^{25}	10^{25} _ 10^{26}	10^{26} _ 10^{27}	10^{27} _ 10^{28}	10^{28} _ 10^{29}	10^{29} _ 10^{30}	10^{30} _ 10^{31}	10^{31} _ 10^{32}	10^{32} _ 10^{33}
Total	-	2	35	89	87	18	2	-	-

Entre os CMes registrados desde 1996 à 2009 cuja velocidade é inferior ou igual a 200km/s encontra-se na Tabela 4 uma pequena porção - março/1997 a Janeiro/1998 - daqueles que possuem associação com “Flares” Solares. A tabela completa apresenta 165 CMes e suas respectivas associações, e encontra-se no Anexo II devido a sua extensão. Ou seja, dos 233 CMes registrados no período citado, cuja velocidade é inferior ou igual a 200 km/s, 165 apresentam associação com “Flares” solares, aproximadamente 70%. Na tabela encontramos a data de ocorrência de ambos os fenômenos assim como seus respectivos horários de ocorrência. Observamos também a relação entre a energia liberada em cada um dos eventos além de algumas particularidades acerca dos “Flares” Solares que permitem o cálculo de sua energia.

TABELA 4: CMES ASSOCIADOS A “FLARES” SOLARES NO PERÍODO DE MARÇO DE 1997 À JANEIRO DE 1998

DATE	CME				FLARES				PARTICULARS
	ONSET 1	ONSET 2	VELOCITY	ENERGY	BEGIN	MAX	END	ENERGY	
28/3/1997	14:49:19	15:03:56	146	6.50E+28	14:47	14:52	15:13	-	SF
1/8/1997	23:52:31	23:21:00	183	6.80E+27	23:58	00:06	00:20	1.8E+28	B1.8
7/8/1997	12:35:51	12:42:57	142	6.20E+28	12:35	12:38	12:41	1.4E+28	B1.4
29/10/1997	14:39:57	14:47:01	133	7.90E+28	14:42	-	14:42	-	III/1
12/12/1997	06:19:40	05:55:38	199	3.30E+28	00:00	06:08	06:18	4.3E+28	B4.3
17/12/1997	19:37:48	19:01:06	162	5.40E+27	18:56	19:04	19:09	3.7E+28	B3.7
21/12/1997	11:21:22	08:49:35	143	8.20E+27	08:08	08:35	08:51	8.5E+28	B8.5
30/1/1998	08:22:01	08:23:45	60	9.80E+26	07:31	-	08:49	-	CTW/2

Com a análise dos resultados obtidos foi possível preparar e submeter um resumo para apresentação do trabalho na XXXV Reunião Anual da Sociedade Astronômica Brasileira – SAB, a realizar-se em Passa Quatro (MG) no período de 7 a 12 de setembro de 2010. A cópia do resumo encontra-se no anexo I. Recentemente, recebi informe da aceitação deste trabalho para apresentação na XXXV Reunião da SAB.

A partir dos primeiros resultados obtidos durante o período de bolsa, o intuito é dar continuidade ao projeto estudando mais detalhadamente os fenômenos solares – no caso

CMEs cuja velocidade é inferior ou igual a 200 km/s - para assim obter resultados mais aprofundados em busca de explicações para a origem de tal evento de forma a contribuir para o programa de clima espacial.

Conclusões

O respectivo projeto é de fato uma ferramenta de grande importância e valia para o clima espacial do INPE devido a grande influência que tais Fenômenos Energéticos -“Flares” e CMEs- exercem sobre o mesmo. No período de bolsa pude aprender conceitos de grande importância para minha formação, além de manter contato direto com o ambiente de trabalho de pesquisadores da área de física solar, sendo este um grande diferencial para minha formação acadêmica num futuro próximo, considerando mestrado e doutorado. É com grande satisfação e gratificação que concluo este relatório acreditando ser possível a renovação da bolsa para continuação do trabalho e obtenção de resultados mais aprofundados.

Agradecimentos

Agradeço ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq pelo período de bolsa de iniciação científica e ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE pelas condições de infra-estrutura oferecidas para a realização deste trabalho que foi de grande importância para minha formação acadêmica. Agradeço ao orientador que se dispôs a orientar-me durante esses 12 meses e por sua atenção, paciência e dedicação no decorrer do projeto. Enfim, agradeço a todos os envolvidos direta ou indiretamente neste trabalho.

Referências Bibliográficas

- [1] Aschwanden, M.J.; Benz, A.O. *Astrophysical Journal*, 480:825, 1997.
- [2] Bastian, T.S.; Gary, D.E., White, S. Report to the Astronomy and Astrophysics Survey Committee (<http://solar.njit.edu/fasrt/Panel99r.html>), 1998b.
- [3] Bastian, T.S. Proc. of the Nobeyama Symposium, Ed.: T. S. Bastian and K. Shibasaki, NRO Report No. 563, p.3-10, 2006.
- [4] Cecatto, J.R., Soares, A.C., Fernandes, F.C.R., Madsen, F.R.H., Andrade, M.C. and H.S. Sawant - Radio emission observed in decimetric waves associated with the onset of CMEs - *Journal of Atmospheric and Solar Terrestrial Physics*, 67:1674-1679, 2005.
- [5] Cecatto, J.R. In: *Universal Heliophysical Processes – IAU 257 Symposium*, 317, 2009.
- [6] DAY, R.A. “How TO write and publish a scientific paper” Philadelphia, PA: ISI, 1979 16079551 ISBN 0-89495-006-1.
- [7] Faria, C. – Dissertação de Mestrado / Um sistema para tratamento e visualização de dados astronômicos espectrais / C. Faria - São José dos Campos: INPE, 1999. 110 p. – (INPE-8036-TDI/752).
- [8] Fernandes, F.C.R., Sawant, H.S. Proc. 6th Brazilian Plasma Astrophysics Workshop, 125, 1996.
- [9] Fernandes, F.C.R., Sawant, H.S.; Zheleznyakov, V.V. *Advances in Space Research*, 17(4/5), 143, 1996a.
- [10] Fernandes, F.C.R., Sawant, H.S.; Zheleznyakov, V.V. *Solar Physics*, 168(1): 159, 1996b.
- [11] Fernandes, F.C.R., Tese de Doutorado, INPE-6396-TDI/612, 1997.
- [12] Fernandes, F.C.R., Sawant, H.S. Proc. 7th Brazilian Plasma Astrophysics Workshop, 357, 1998.
- [13] Melendez, J.L., Sawant H.S.; Fernandes, F.R.C.; Benz, A.O., *Solar Physics*, 187,77,1999.
- [14] Moore, R. et al., Report of NASA Skylab Workshop on Solar “Flares”, Colorado Un. Press, 1980.
- [15] Ohyama, M.; Shibata, K., Proceedings of the Nobeyama Symposium, NRO Report No. 479., 367-370, 1999.

[16] Sawant, H.S.; Fernandes, F.C.R. and Néri J.A.C.F., Astrophysical Journal Supplement Series, 90, 689-691, 1994.

[17] Sawant, H.S.; Sobral, J.H.A.; Fernandes, F.C.R.; Cecatto, J.R.; day, W.R.G.; Néri J.A.C.F., Alonso, E.M.B. and Moraes, A., Advances in Space Research, vol. 17(4/5): 391, 1996

[18] Sawant, H.S.; Cecatto, J.R.; Meszarosova, H.; Faria, C.; Fernandes, F.C.R.; Karlicky, M.; Andrade, M.C., Advances in Space Research, vol. 44: 54, 2009.

[19] Sawant, H.S. et al., ASP Conference Series, 206, 357, 2000.

[20] Sawant, H.S. et al. 2001, Brazilian Solar Spectroscopy, Sol. Physics., 200:167-176.

[21] SOHO LASCO CME Catalog, jan.2010 [on-line] <
http://cdaw.gsfc.nasa.gov/CME_list/ >

[22] Space Weather Prediction Center, jan.2010 [on-line]
<http://www.swpc.noaa.gov/ftpmenu/>

EJEÇÕES DE MASSA CORONAL DE BAIXA ENERGIA E "FLARES"

José R. Cecatto , Márcia R.G. Guedes , Bruna C. Braga

INPE

Ejeções de Massa Coronal (CMEs) são fenômenos energéticos (até $> 10^{33}$ erg) produzidos no Sol, principalmente durante o período de máximo de um ciclo de atividade. De morfologia variada, os mais característicos são aqueles formados por uma gigantesca (até 10^{17} g) nuvem de gás magnetizada em forma de arco - originada em regiões da atmosfera solar com campo magnético fechado e mais intenso, poucos G a ~ 100 G, que o Sol calmo - que pode acelerar conforme se move em direção ao espaço exterior. A velocidade de propagação varia de dezenas a poucos milhares de km/s, com um valor médio em torno de 470 km/s, enquanto a massa varia por 7 ordens de grandeza a partir de 10^{10} g. Os valores mínimos registrados tanto de velocidade quanto de energia dos CMEs informam sobre o limiar mínimo de ocorrência do fenômeno e condições físicas na região de onde se originam. Geralmente, os CMEs são observados pelo experimento LASCO do satélite SOHO. Por sua vez, "flares" são fenômenos energéticos (até 10^{34} erg) que ocorrem em regiões quentes, densas e magnetizadas da atmosfera solar. Baseado em dados do LASCO, apresentamos resultados da análise de um conjunto de CMEs com $v < 200$ km/s e energias $10^{24} - 10^{25}$ erg em termos da energia armazenada nas estruturas de origem e sua importância. Também discutimos a associação ou não destes CMEs com "flares" em termos da energia total, bem como suas principais características.

Anexo II: Tabela CMES mais lentos ($v \leq 200\text{km/s}$) e associação com “Flares” Solares

DATE	CME				FLARES				
	ONSET 1	ONSET 2	VELOCITY	ENERGY	BEGIN	MAX	END	ENERGY	PARTICULARS
28/3/1997	14:49:19	15:03:56	146	6.50E+28	14:47	14:52	16:13	-	SF
18/1/1997	23:52:31	23:21:00	183	6.80E+27	23:58	00:06	00:20	1.8E+28	B1.8
7/8/1997	12:35:51	12:42:57	142	6.20E+28	12:35	12:38	12:41	1.4E+28	B1.4
29/10/1997	14:39:57	14:47:01	133	7.90E+28	14:42	-	14:42	-	III/1
12/12/1997	06:19:40	05:55:38	199	3.30E+28	00:00	06:08	06:18	4.3E+28	B4.3
17/12/1997	19:37:48	19:01:06	162	5.40E+27	18:56	19:04	19:09	3.7E+28	B3.7
21/12/1997	11:21:22	08:49:35	143	8.20E+27	08:08	08:35	08:51	8.5E+28	B8.5
30/1/1998	08:22:01	08:23:45	60	9.80E+26	07:31	-	08:49	-	CTM/2
20/2/1998	18:35:14	19:59:53	155	1.50E+28	18:06	18:06	18:45	-	100
15/3/1998	16:32:14	15:02:58	142	3.60E+28	16:06	16:16	17:20	-	1F/PRB
16/3/1998	02:06:59	01:09:48	179	2.20E+29	02:01	02:12	02:26	1.9E+29	C1.9
16/3/1998	02:06:59	01:09:48	179	2.20E+29	02:01	02:08	02:10	-	SF
6/4/1998	06:37:38	06:22:54	162	3.20E+28	06:00	00:00	12:00	-	204
6/4/1998	06:37:38	06:22:54	162	3.20E+28	06:00	22:27	23:59	-	245
10/4/1998	17:21:28	17:34:49	181	1.40E+28	16:41	17:46	18:17	-	245
10/4/1998	19:26:08	21:10:30	155	7.90E+28	19:29	19:30	19:32	-	SF
12/6/1998	09:03:48	07:32:25	173	1.10E+29	09:01	-	09:03	-	III/1
14/6/1998	05:21:13	06:38:17	95	6.70E+27	05:17	05:21	05:24	8.1E+28	B8.1
14/6/1998	05:21:13	06:38:17	95	6.70E+27	05:19	06:21	05:27	-	SF
14/6/1998	05:21:13	06:38:17	95	6.70E+27	05:19	-	05:20	-	III/2
15/6/1998	01:38:06	21:05:05	163	1.10E+29	A01:34	-	13:14	-	14/B.0A
6/6/1999	19:33:45	20:06:07	140	1.30E+28	19:25	19:27	19:28	-	61/II
15/7/1999	09:32:19	09:10:19	158	2.50E+29	09:25	-	09:41	-	III/2
29/7/1999	23:33:17	00:05:23	192	5.20E+28	23:35	23:44	23:57	5.5E+29	C5.5
5/8/1999	12:39:23	08:12:03	123	9.10E+28	12:31	12:45	13:15	-	SF
16/8/1999	01:33:00	23:16:54	189	8.40E+28	01:27	01:34	01:39	1.9E+29	C1.9
17/8/1999	15:33:43	15:06:14	180	3.00E+28	15:28	-	15:32	-	V/3
17/8/1999	17:54:36	14:57:11	191	1.50E+29	17:44	17:47	17:50	-	SF/ERU
17/8/1999	17:54:36	14:57:11	191	1.50E+29	17:55	18:03	18:27	-	SF/ERU
17/8/1999	17:54:36	14:57:11	191	1.50E+29	17:59	18:04	18:09	3.1E+29	C3.1
11/10/1999	03:43:59	03:26:45	192	1.40E+29	03:41	03:45	03:55	1.0E+29	C1.0
1/11/1999	13:06:14	10:36:16	140	2.40E+27	13:07	13:16	13:28	1.1E+29	C1.1
5/11/1999	05:02:56	05:43:50	191	2.20E+29	04:48	05:09	05:19	1.4E+29	C1.4
13/12/1999	17:38:28	19:31:26	113	3.40E+28	17:05	17:13	17:59	-	120
13/12/1999	17:38:28	19:31:26	113	3.40E+28	B17:33	B17:33	19:40	-	B.6A
1/12/2000	14:12:00	09:28:17	196	1.30E+29	14:07	-	15:01	-	18/B.8A
19/1/2000	04:50:41	03:39:04	199	1.30E+29	04:52	-	04:54	-	III/3
19/2/2000	06:25:12	07:09:06	191	1.10E+29	06:13	06:18	06:22	4.5E+29	C4.5
19/2/2000	06:25:12	07:09:06	191	1.10E+29	06:24	06:33	06:39	8.5E+29	C8.5
22/2/2000	08:00:55	07:40:47	129	8.80E+28	07:48	07:53	07:58	3.2E+29	C3.2
24/2/2000	12:14:39	11:13:21	171	1.40E+29	12:12	12:13	12:15	-	130
3/4/2000	03:12:04	22:40:08	119	5.80E+28	03:07	-	03:10	-	III/2
13/4/2000	22:46:19	00:26:44	126	2.10E+28	00:11	00:23	00:32	2.9E+29	C2.9
15/4/2000	21:41:16	21:37:37	185	1.40E+29	21:36	21:43	21:49	6.5E+29	C6.5
27/4/2000	03:53:58	03:48:11	183	3.10E+28	03:45	03:51	03:58	1.0E+29	C1.0
30/4/2000	22:22:32	22:26:15	164	6.50E+28	22:22	22:31	22:39	-	SF
9/7/2000	16:56:50	15:13:34	99	1.20E+29	16:57	17:11	17:24	6.0E+29	C6.0
22/7/2000	11:11:22	12:00:31	141	6.30E+28	11:09	11:11	11:14	-	SF/ERU
16/8/2000	02:08:58	02:46:45	179	1.40E+28	02:03	02:03	02:04	-	65
30/8/2000	12:27:47	12:51:09	162	4.00E+27	11:54	12:20	12:37	1.2E+29	C1.2
31/8/2000	20:23:46	21:00:14	166	1.50E+28	20:25	20:29	20:36	8.4E+28	B8.4
1/9/2000	04:39:17	04:49:10	200	1.30E+29	04:25	05:05	05:25	1.1E+29	C1.1
15/9/2000	02:46:37	03:18:13	155	1.30E+29	02:35	02:40	02:45	1.2E+29	C1.2
31/10/2000	21:34:56	21:54:46	193	6.30E+28	21:32	-	21:34	-	III/2
22/10/2000	17:06:35	16:44:14	170	1.70E+29	17:01	17:04	17:10	8.4E+28	B8.4
8/11/2000	18:07:31	17:19:43	193	8.60E+29	18:10	18:16	18:20	6.8E+29	C6.8
14/11/2000	16:45:03	18:15:57	89	6.00E+26	16:19	16:34	16:53	1.0E+30	M1.0
21/12/2000	02:34:46	02:49:37	165	4.70E+28	02:03	-	04:31	-	B.0A
27/12/2000	17:30:33	17:53:39	189	9.50E+27	17:35	17:38	17:40	3.3E+29	C3.3
4/2/2001	14:13:23	15:19:23	196	3.30E+28	A13:26	-	06:34	-	B.0A
15/3/2001	23:15:56	22:58:43	169	4.10E+28	22:41	-	02:30	-	CTM/1

16/3/2001	09:52:31	10:35:09	121	9.40E+26	09:50	09:56	10:00	6.8E+28	B5.8
10/4/2001	02:03:38	02:09:03	178	5.30E+29	01:00	-	04:32	-	CTM/1
5/5/2001	21:14:30	21:15:16	168	9.90E+27	21:00	21:15	21:21	9.3E+28	B9.3
10/5/2001	11:00:08	11:25:45	193	8.60E+28	A13:26	-	11:59	-	B.0A
16/6/2001	08:25:12	08:30:09	153	2.50E+29	08:21	-	08:21	-	III/1
24/6/2001	16:38:20	17:25:58	62	1.20E+28	16:39	16:39	16:39	-	100
7/8/2001	16:25:30	16:56:24	172	3.50E+29	16:23	16:28	16:33	3.6E+29	C3.6
18/8/2001	08:29:30	09:56:06	144	2.30E+29	08:28	08:32	08:35	1.1E+29	C1.1
21/8/2001	21:53:60	20:43:22	148	2.60E+29	21:51	21:57	22:00	1.5E+30	M1.6
2/9/2001	08:57:24	08:42:46	92	1.40E+28	09:00	-	09:00	-	III/1
3/9/2001	22:00:16	22:37:16	159	2.50E+27	22:01	22:01	22:01	-	97
3/9/2001	15:51:07	16:06:33	196	4.90E+29	15:45	17:16	17:37	1.1E+30	M1.1
8/9/2001	04:48:53	04:52:31	184	1.60E+28	04:38	04:57	05:07	1.2E+30	M1.2
9/9/2001	00:16:38	23:46:05	182	1.90E+29	00:00	-	06:33	-	CTM/1
9/9/2001	12:12:34	12:37:08	164	7.30E+28	12:17	-	12:24	-	III/1
11/9/2001	09:35:54	09:12:34	157	5.50E+28	09:33	09:37	09:39	9.7E+29	C9.7
15/9/2001	21:39:19	22:57:14	200	6.60E+28	21:17	21:25	21:36	5.4E+29	C5.4
17/9/2001	04:29:14	05:13:26	178	1.80E+29	04:29	05:02	05:23	4.9E+29	C4.9
1/10/2001	18:53:00	14:42:45	153	3.00E+29	A18:24	-	B12:18	-	B.0A
6/10/2001	17:31:32	17:39:08	170	1.60E+29	17:21	17:33	17:45	3.6E+29	C3.6
11/10/2001	04:09:31	04:43:25	184	2.10E+28	03:39	-	04:19	-	B.0A
16/10/2001	21:51:58	22:18:37	142	7.40E+27	21:54	21:54	21:54	-	260
23/10/2001	06:17:04	11:21:05	87	2.80E+28	06:04	06:07	06:14	2.3E+29	C2.3
1/11/2001	06:53:04	07:30:28	134	2.50E+28	06:45	06:53	07:00	1.3E+30	M1.3
10/11/2001	00:43:19	00:07:07	196	2.40E+28	00:42	00:50	00:58	1.0E+30	M1.0
10/11/2001	18:26:09	16:35:25	173	7.00E+28	18:07	18:16	18:22	4.2E+29	C4.2
12/11/2001	07:49:25	07:18:05	174	7.90E+29	07:52	07:57	08:01	1.6E+30	M1.6
26/11/2001	04:17:45	00:17:35	76	1.60E+28	03:55	04:01	04:13	2.5E+29	C2.5
3/12/2001	02:33:05	01:25:42	187	2.10E+28	02:32	-	02:32	-	III/1
12/12/2001	09:45:43	10:24:22	194	4.50E+28	04:48	04:56	05:02	5.6E+29	C5.6
26/12/2001	23:33:11	21:06:33	99	3.40E+28	22:38	22:42	22:45	1.0E+30	M1.0
6/1/2002	12:36:26	14:24:13	130	5.40E+28	12:34	12:48	12:59	3.2E+29	C3.2
18/1/2002	16:14:34	00:40:01	64	5.30E+26	15:20	16:06	16:21	2.6E+29	C2.6
19/1/2002	11:32:55	11:56:01	195	6.10E+28	A10:29	-	B11:33	-	B.0A
29/1/2002	10:35:10	11:10:12	165	2.40E+28	10:13	10:28	10:37	4.0E+29	C4.0
24/2/2002	00:33:31	02:31:26	79	9.00E+26	00:28	-	00:28	-	III/1
3/3/2002	06:59:20	11:03:51	69	7.60E+27	06:56	-	06:56	-	III/2
7/3/2002	22:23:49	22:55:47	169	2.00E+28	22:16	22:40	22:55	7.8E+29	C7.8
9/3/2002	19:28:57	12:58:01	86	4.10E+28	A18:45	-	B13:50	-	B.0A
22/3/2002	10:10:54	10:18:40	191	1.30E+29	10:12	11:14	11:52	1.6E+30	M1.6
29/3/2002	12:58:03	17:10:13	53	2.50E+28	12:39	12:51	13:04	6.5E+29	C6.5
2/4/2002	14:16:53	12:39:27	184	3.30E+29	14:04	14:09	14:22	3.3E+29	C3.3
14/4/2002	16:35:30	18:03:36	200	5.50E+28	16:39	16:39	16:39	-	54
11/6/2002	10:02:19	09:16:58	188	5.00E+28	10:04	10:05	10:07	1.1E+29	C1.1
11/6/2002	15:10:18	16:45:22	179	6.70E+27	15:08	15:15	15:21	1.5E+29	C1.5
9/7/2002	08:24:44	11:01:47	74	3.70E+28	08:29	-	08:29	-	III/1
2/8/2002	06:29:59	08:45:49	191	9.50E+29	06:17	06:25	06:35	4.2E+29	C4.2
20/8/2002	06:13:51	06:54:41	200	1.50E+28	06:17	06:20	06:23	2.7E+29	C2.7
23/8/2002	15:53:04	15:21:46	162	2.50E+28	A15:15	-	B23:35	-	B.0A
26/8/2002	12:49:43	12:37:51	175	6.40E+28	12:51	13:00	13:09	2.5E+29	C2.5
18/9/2002	17:24:58	12:07:34	197	1.20E+29	17:14	17:22	17:28	3.9E+29	C3.9
25/9/2002	15:56:34	15:30:08	145	1.80E+28	15:58	16:05	16:16	2.0E+29	C2.0
4/10/2002	22:30:18	23:07:29	184	7.40E+28	22:32	22:43	22:51	2.7E+30	M2.7
29/10/2002	23:50:17	00:34:09	199	3.10E+29	A23:46	-	B13:37	-	B.0A
11/11/2002	12:36:38	13:03:16	84	1.40E+29	12:25	12:54	13:10	7.1E+29	C7.1
22/11/2002	02:12:39	20:54:52	153	5.00E+29	02:15	02:18	02:20	1.0E+29	C1.0
20/11/2003	10:41:49	10:41:41	96	1.50E+29	A10:20	-	B23:55	-	B.0A/19

30/1/2003	05:58:28	03:51:11	33	1.60E+27	06:02	-	06:02	-	III/1
30/1/2003	21:12:01	21:40:15	153	5.60E+27	21:08	-	21:08	-	III/1
12/2/2003	19:06:43	19:06:52	112	4.00E+27	18:46	18:55	19:06	5.00E+29	B5.0
19/2/2003	10:15:03	16:09:06	75	1.80E+29	A10:13	-	B22:54	5.0E+28	B0.A
22/2/2003	04:51:24	05:02:36	168	5.00E+29	04:44	04:50	05:00	9.6E+28	B9.6
6/4/2003	10:27:02	11:13:46	149	6.70E+28	10:14	-	12:50	-	CTM/1
9/4/2003	01:20:47	02:19:02	183	3.30E+29	01:18	01:26	01:30	4.4E+28	B4.4
24/4/2003	03:02:33	03:59:05	118	1.10E+28	03:02	-	03:03	-	III/1
26/4/2003	21:52:20	22:02:47	194	3.50E+28	A21:01	-	B11:26	-	B.0A
16/6/2003	08:57:36	07:00:26	106	1.00E+28	B05:00	-	08:58	-	B.9A
28/7/2003	13:50:09	13:55:46	141	5.10E+26	13:43	13:49	13:57	1.0E+29	C1.0
19/8/2003	04:04:50	06:38:12	116	1.30E+28	04:47	-	04:09	-	III/1
21/10/2003	16:26:45	16:54:55	183	1.40E+28	16:02	16:11	16:21	4.2E+29	C4.2
17/11/2003	11:50:59	10:08:31	139	3.20E+28	11:44	-	11:46	-	III/0
26/3/2004	17:01:54	15:44:44	182	1.30E+28	17:03	17:06	17:09	4.7E+28	B4.7
2/4/2004	06:49:02	04:03:48	84	4.90E+27	06:49	06:54	06:56	4.6E+28	B4.6
3/5/2004	21:02:41	21:15:10	185	1.90E+28	21:02	-	21:02	-	III/3
26/6/2004	23:54:29	02:05:01	123	2.40E+29	23:46	23:48	23:50	3.1E+28	B3.1
30/6/2004	00:37:55	21:37:12	154	4.60E+27	00:29	00:35	00:41	5.9E+28	B5.9
31/6/2004	19:11:57	19:22:30	191	3.10E+28	19:07	19:11	19:15	3.4E+28	B3.4
21/6/2004	03:52:34	00:51:03	74	3.00E+26	03:54	-	17:59	-	CTM/1
5/7/2004	05:54:38	02:59:22	153	1.00E+27	05:53	05:57	06:03	1.1E+28	B1.1
11/7/2004	13:52:01	14:25:58	191	4.80E+27	13:16	13:35	13:50	4.2E+29	C4.2
12/8/2004	04:53:15	04:13:38	176	1.80E+27	04:38	05:05	05:20	1.2E+30	M1.2
14/8/2004	18:27:09	16:51:10	169	8.50E+28	18:09	18:18	18:32	1.3E+30	M1.3
18/10/2004	13:46:31	14:30:10	180	2.10E+28	13:50	14:00	14:06	2.3E+28	B2.3
24/11/2004	01:13:34	01:51:46	128	1.00E+28	01:09	01:14	01:20	4.4E+28	B4.4
10/3/2005	15:58:35	12:11:00	197	2.10E+28	15:56	16:01	16:12	3.1E+28	B3.1
13/3/2005	08:02:48	03:10:36	180	2.80E+28	08:02	08:18	08:28	1.2E+29	C1.2
7/4/2005	15:59:12	14:48:08	133	9.60E+27	15:48	15:53	16:02	1.3E+28	B1.3
15/5/2005	21:34:51	21:23:07	186	6.20E+28	21:24	21:49	22:03	1.6E+29	C1.6
20/5/2005	22:12:53	21:14:12	160	1.60E+29	21:35	21:51	22:27	9.5E+28	B9.5
28/5/2005	15:23:32	13:49:53	151	5.30E+27	15:10	15:14	15:22	2.9E+28	B2.9
2/8/2005	12:25:33	08:57:25	160	2.80E+28	12:09	12:22	12:32	5.9E+28	B5.9
13/8/2005	18:46:19	22:54:52	34	1.90E+27	18:42	18:45	18:47	1.6E+28	B1.6
7/9/2005	23:58:13	22:07:53	174	8.60E+27	B23:25	-	A10:05	-	B9.A
7/9/2005	04:26:48	04:51:35	195	1.00E+28	04:19	-	05:38	-	CTM/1
15/11/2005	15:28:27	15:54:22	197	4.90E+28	15:28	15:32	15:35	2.0E+29	C2.0
16/11/2005	11:29:43	11:59:44	198	6.20E+27	A10:33	-	B21:36	-	B.0A
22/11/2005	01:17:23	01:31:49	157	9.00E+27	01:12	01:19	01:28	2.9E+28	B2.9
31/12/2005	05:54:42	08:28:04	98	3.10E+28	05:31	05:46	06:01	3.6E+29	C3.6
10/12/2005	19:56:33	19:36:22	176	6.20E+29	19:50	20:00	20:12	8.0E+28	B8.0
13/4/2005	10:24:06	11:55:32	134	1.00E+27	10:28	-	10:31	-	III/2
30/4/2005	15:27:13	16:31:58	125	6.40E+26	15:28	-	15:32	-	III/1
17/6/2005	03:44:12	03:33:17	193	8.60E+28	A00:20	-	B12:55	-	III/1
30/6/2006	19:40:01	20:21:26	167	5.20E+27	18:50	-	19:36	-	B.6A
30/6/2006	02:40:35	03:23:45	164	1.80E+27	02:43	02:51	02:56	2.6E+28	B2.6

Anexo III: Atividade Associada

DIA	BSS		CMES	FLARES ASSOCIADOS					
	HORA	*ATIVIDADE ASSOCIADA	LASCO Onset 1 - 2	RAIOS-X				OPTICO	
				INICIO	MÁXIMO	FIM	CLASSE	REGIAO ATIVA	COORDENADAS
24 /06 /1999	16:44 - 17:17	RBR 245 17:14	17:16:43 / 16:37:29	-	-	-	-	-	-
17/08/1999	12:43-18:34	C5.9 14:28	14:32:37/ 12:44:28	1433	1435	1440	-	8662	S17W81
17/08/1999	-	-	-	1505	1522	1634	C5.9	8668	N24E37
30 /08 /1999	17:50 - 17:59	-	17:44:31/ 17:56:43	1746	1746	1756	-	8674	S21W48
27/11/1999	12:09 - 12:22	-	11:23:36/12:21:55	1208	1212	1319	X1.4	8771	S15W68
18/ 04 /2000	14:55:11-15:00:39	-	15:46:26/14:53:56	-	-	-	-	-	-
02/ 05 /2000	14:43:18-14:48:46	245-15400	14:38:38/14:45:17	1445	1446	1505	M2.8	8971	N22W68
19/ 05 /2000	13:12-13:18	12:44-17:00 CTM/1	13:35:42/13:12:05	-	-	-	-	-	-
06/ 06 /2000	15:01-17:17	320-15400	15:03:42/14:54:29	1206	1521	1843	X2. 3	9026	N20E18
07/ 06 /2000	15:37-15:43	15:38-31 245-15400 II IV	15:51:02/15:35:42	1504	1546	1851	X1.2	9026	N23E03
04/ 07 /2000	14:58-14:59	SF 14:58-15:16	15:16:48/15:03:45	1458	1500	1516	C2. 3	9068	S22E31
04/ 07 / 2000	15:18	SF 15:11-16:22	15:16:48/15:03:45	1511	1525	1622	C3. 4	9070	N17E49
06/ 07 / 2000	12:26-12:37	12:36 RBR 410-1415	12:15:21/12:31:50	1222	1223	1226	C4. 3	9070	N18E25
11/ 07 /2000	12:31	SF 12:31 RSP CTM/2	12:33:29/12:47:36	1231	1231	1236	-	9069	S18W42
31/ 07 /2000	15:55	-	15:58:44/16:07:16	-	-	-	-	-	-
15 / 09 /2000	14:31-14:37	RSP V/3 RBR 245-15400	14:08:35/14:33:13	1431	1438	1506	M2.0	9165	N12E07
16/ 09 /2000	13:23-13:34	SF RBR 245-606 RSP III/2 V/3	13:14:00/13:24:54	1308	1312	1323	C2.2	9165	N14W08
16/ 09 /2000	-	-	-	1326	1326	1328	-	9165	N14W10
26 / 10 /2000	16:03-16:09	IN RBR 410-4995	15:20:17/16:08:59	1557	1607	1740	C8.5	9209	S20E64
06/ 04 /2001	16:53-17:21	2N RBR 245-15400 RSP IV/1	16:52:23/16:56:47	1724	1730	1818	C5	9415	S19E32
25/ 04 / 2001	13:42-13:45	2N RBR 245-15400 RSP II/2 III/2	13:36:50/13:46:51	1344	1345	1420	M2.7	9433	N18W09
26/ 04 /2001	11:49-12:01	2BRBR 245-15400 RSP CTM/1	11:51:38/11:37:19	1211	1311	1431	M7.8	9433	N17W31
26/ 04 /2001	12:51-13:11	RSP CTM/1 II/2 III/2 IV/2	12:58:31/13:12:30	-	-	-	-	-	-
13/ 06 / 2001	11:35-11:42	IN RBR 245-15400 RSP II/3 CTM/2	11:36:19/11:14:22	1135	1139	1218	M7.8	9502	S29E66
13/ 06 / 2001	16:22-16:25	SF	16:02:56/16:25:57	1621	1628	1639	C9.1	9489	N20W49

13/06/2001	16:29	SF	16:02:56/16:25:57	1621	1628	1702	-	9502	S27E65
31/08/2001	14:56-14:57	-	14:52:52	1448	1451	1458	-	9601	N19E33
03/09/2001	15:52	-	15:51:07/16:06:33	1545	1716	1737	M1.1	-	-
03/09/2001	18:22-18:25	-	18:20:08/18:24:11	1821	1841	1910	M2.5	-	-
11/09/2001	14:17:20-14:17:37	SF DSF	14:17:13/14:11:07	1416	1439	1530	C3.2	9615	N13E35
18/09/2001	17:04:57-17:06:10	SF RBR 606 4995	16:34:48/17:00:14	1706	1706	1713	M1.4	9628	S18E85
20/09/2001	18:13-18:14	SN RBR 245- 15400 RSP III/1	18:03:11/18:15:39	1815	1818	1830	M1.5	9631	N09W11
19/10/2001	16:22-17:06	RBR 606	16:20:50/16:21:18	-	-	-	-	-	-
22/10/2001	14:50-15:09	2B RBR 245- 15400 RSP II/1	14:48:06/14:49:53	1450	1456	1513	-	9661	N16W67
25/10/2001	14:44-14:58	RBR 245-410 RSP III/2	15:01:15/15:01:51	1442	1454	1906	X1.3	9672	S16W21
25/10/2001	15:06-15:31	RBR 245-410 RSP III/2	15:01:15/15:01:51	1456	1456	1519	-	9678	N09E26
26/10/2001	14:28	SN RBR 245- 15400 RSP III/3 V3	14:17:46/14:33:08	1430	1436	1445	M2.0	9678	N07E16
26/10/2001	14:30-14:37	RBR 245 RSP III/2	14:17:46/14:33:08	-	-	-	-	-	-
26/10/2001	14:30-14:37	RBR 245 RSP III/2	14:42:54/14:56:20	-	-	-	-	-	-
28/11/2001	16:33-16:35	1B RBR 245- 15400 RSP II/2 IV/1	16:33:43/16:33:37	1632	1636	1652	M6.9	9715	N04E16
28/11/2001	16:35-16:39	1B RBR 245- 15400 RSP II/2 IV/1	16:33:43/16:33:37	-	-	-	-	-	-
13/12/2001	14:26-14:31	3B RBR 245- 25400 RSP III/1 II/3	14:21:31/14:24:54	1424	1430	1545	X6.2	9733	N16E09
04/04/2002	15:27:43	RBR 245-15400 RSP III/2 V/2	15:25:27/15:19:53	1524	1532	1538	M6.1	-	-
04/04/2002	15:28:19	RBR 245-15400 RSP III/2 V/2	15:25:27/15:19:53	-	-	-	-	-	-
04/04/2002	15:28:53	RBR 245-15400 RSP III/2 V/2	15:25:27/15:19:53	-	-	-	-	-	-
12/04/2002	12:07-12:33	SF	11:58:29/12:07:02	-	-	-	-	-	-

11/07/2002	14:48	2N	14:48:41/15:00:17	1446	1448	1522	M5.8	0030	N21E58
11/07/2002	14:49:42	2N	14:48:41/15:00:17	-	-	-	-	-	-
11/07/2002	14:50:33	2N	14:48:41/15:00:17	-	-	-	-	-	-
19/07/2002	16:16-16:20	-	16:10:15/16:14:01	-	-	-	-	-	-
24/07/2002	15:43-15:51	1F RBR 410-1415	15:26:37/15:42:41	-	-	-	-	-	-
28/08/2002	16:40-16:51	RBR 1415-4995	16:39:19/16:45:45	1645	1658	1709	M1.3	83	-
30/08/2002	14:37-14:48	SF RBR 410-15400 RSP III/1	14:37:07	1427	1431	1436	C8.4	95	N08E75

* **RBR** = Fixed-frequency radio burst (The peak value above pre-burst background of associated radio bursts at frequencies 245, 410, 610, 1415, 2695, 4995, 8300 and 15400 MHz; 1 flux unit = 10^{-22} Wm⁻² Hz⁻¹)

* **RSP** = Sweep-frequency radio burst - The intensity is a relative scale from 1 (low) to 3 (high) of any sweep radio event associated with the energetic event, as follows:

- Type II: Slow drift burst
- Type III: Fast drift burst
- Type IV: Broadband smooth continuum burst
- Type V: Brief continuum burst, generally associated with Type III bursts
- Type CTM: Broadband, long-lived, dekametric continuum

Shock speed in km/s

* **DSF** = Filament disappearance

Obs.: Existem cortes no decorrer da tabela deste anexo pelo fato de não ter sido possível transformar a mesma em imagem de forma completa devido a sua extensão.