



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA

**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**

INPE-9881-RPQ/742

**CATÁLOGO DE ESPECTROS DINÂMICOS DE EXPLOSÕES  
SOLARES DECIMÉTRICAS REGISTRADAS PELO  
BRAZILIAN SOLAR SPECTROSCOPE (BSS): 2002**

Francisco Carlos Rocha Fernandes

INPE  
São José dos Campos  
2003

## **EQUIPE DE COLABORADORES DO PROJETO BRAZILIAN SOLAR SPECTROSCOPE - BSS**

- Prof. Hanumant Shankar Sawant (FMI-DAS/INPE)
- Dr. José Roberto Cecatto (FMI-DAS/INPE)
- Dr. José Ângelo da Costa Ferreira Neri (FMI-DAS/INPE)
- Dr. Francisco Eduardo de Carvalho Viola (FMI-DAS/INPE)
- Dr. Reinaldo Roberto Rosa (LAC/INPE)
- MSc. Maria Conceição de Andrade (FMI-DAS/INPE)
- MSc. Cláudio Faria (PUC-MINAS)
- Eng. Eduardo Mena Barreto Alonso (FMI-DAS/INPE)
- Téc. Marinaldo José Barbosa da Silva (FMI-DAS/INPE)
- Téc. Francisco de Paula Vitor Mesquita (DEA/INPE)
- André Ricardo Fazanaro Martinon (LAC-DAS/INPE)
- Kleber de Mattos Dobrowolski (LAC-DAS/INPE)
- Felipe Ramos Hald Madsen (FMI-DAS/INPE)
- José Carlos de Moraes Filho (FMI-DAS/INPE)
- Alessandro Guedes Caracini (FMI-DAS/INPE)

## SUMÁRIO

	<b>Pág.</b>
<b>1 - O PROJETO BRAZILIAN SOLAR SPECTROSCOPE (BSS)</b> .....	<b>1</b>
1.1 - Breve Histórico .....	1
1.2 - Descrição Geral do Instrumento .....	1
1.3 - Visualização e Análise de Dados .....	1
<b>2 - OBSERVAÇÕES SOLARES DECIMÉTRICAS: 2002</b> .....	<b>3</b>
<b>3 - CATÁLOGO DAS EXPLOSÕES SOLARES REGISTRADAS</b> .....	<b>5</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>18</b>

# 1 - O PROJETO BRAZILIAN SOLAR SPECTROSCOPE (BSS)

## 1.1 - Breve Histórico

Em 1990, a Linha de Pesquisa e Desenvolvimento de Física do Meio Interplanetário (FMI), da Divisão de Astrofísica, do INPE iniciou a primeira etapa do projeto de desenvolvimento do espectrógrafo solar. Inicialmente, foi instalado, em São José dos Campos, SP, um refletor parabólico de 9 metros de diâmetro, com um alimentador de banda estreita, operando no foco da antena na faixa de frequência de  $(1600 \pm 100)$  MHz. A aquisição digital de dados teve início em 1992 (Sawant e Rosa, 1990; Sawant et al., 1991; Fernandes, 1992; Sawant et al., 1992; Sawant et al., 1993; Sawant et al., 1996). Este instrumento esteve em operação regular até o final de 1994, e registrou cerca de 350 grupos de explosões solares.

A partir de 1995, teve início a nova etapa do projeto, com a instalação de um alimentador de banda larga composto de duas antenas log-periódicas cruzadas e com a modificação de todo equipamento para operação na faixa de frequência de 200 a 2500 MHz, incluindo o software de aquisição. O espectrógrafo de banda larga entrou em operação em maio de 1996, com observações iniciais principalmente para testes do funcionamento do sistema, incluindo a aquisição digital dos dados e aquisição do código de tempo do GPS (“Global Position System”). Desde abril de 1998, está em operação regular, o instrumento batizado de **Brazilian Solar Spectroscope (BSS)** (Fernandes, 1997; Faria, 1999; Fernandes et al., 2000; Sawant et al., 2000; Sawant et al., 2001; Fernandes et al., 2001). O sistema de aquisição digital dos dados tem sido aprimorado, junto com o desenvolvimento dos programas para visualização e tratamento dos dados digitais (Faria, 1999; Martinon et al., 2000).

## 1.2 - Descrição Geral do Instrumento

O sistema receptor do BSS é constituído pela antena parabólica de 9 metros de diâmetro, do alimentador de banda larga (200 - 2500 MHz) composto por um par de antenas log-periódicas cruzadas, que permitem a recepção das componentes ortogonais (vertical e horizontal) do sinal recebido da fonte (Sol). A saída do alimentador está conectada a dois pré-amplificadores de baixo ruído, ligados a um circuito somador de banda larga. Depois de somado, o sinal é introduzido em um analisador de espectros (HP8559A), depois os sinais de variação de tensão na saída do analisador seguem para os sistemas de aquisição e monitoramento. O dados coletados pelo sistema receptor são digitalizados no microcomputador de aquisição e armazenados e visualizados num segundo microcomputador, conforme mostra a Figura 1. A Tabela 1 mostra as principais características do BSS.

O BSS é o único espectrógrafo dedicado às observações solares na faixa decimétrica, com alta resolução e alta sensibilidade em operação no hemisfério ocidental terrestre, de modo que, entre 16 e 19 UT, este é o único espectrógrafo digital a monitorar o Sol, preenchendo uma lacuna entre as observações realizadas na Europa e na América do Norte.

## 1.3 - Visualização e Análise de Dados

Para visualização e tratamento dos dados digitais do BSS é utilizado um programa desenvolvido na linguagem IDL (“Interactive Data Language”) batizado de BSSView (Faria, 1999). Este programa permite visualizar em tempo quase-real o espectro dinâmico das observações e obter representações gráficas dos dados digitalizados (perfis temporais de múltiplos canais de frequência, imagens 2D e 3D em escalas de cores e mapas de contorno).

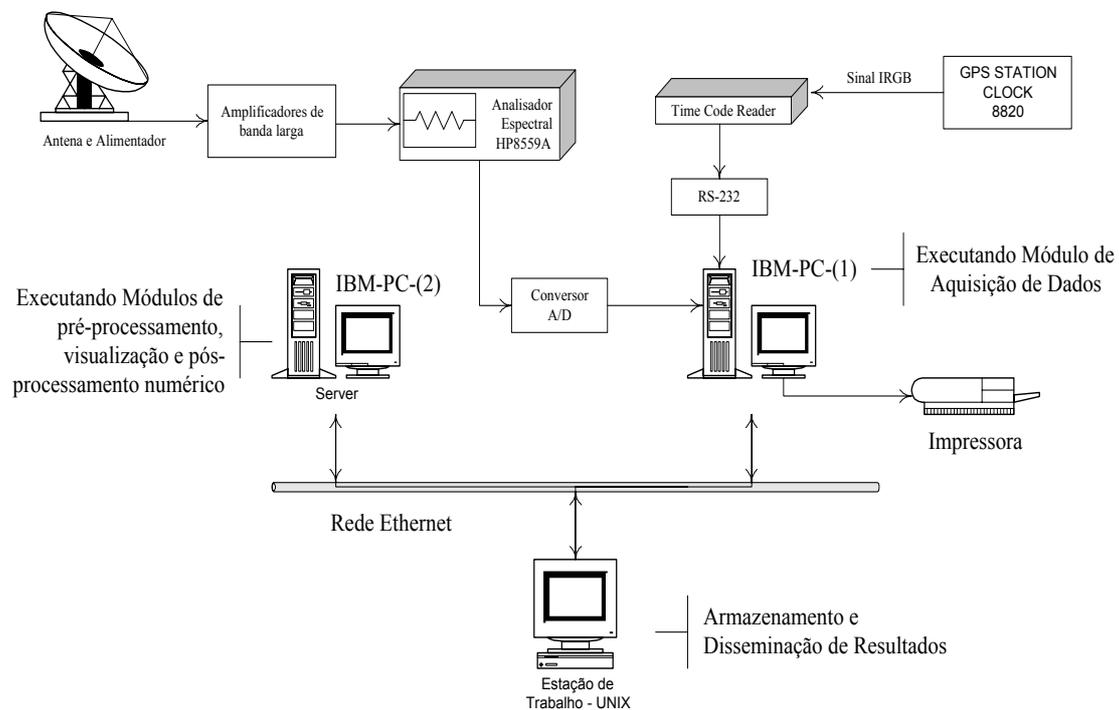


FIGURA 1 - Diagrama de blocos representando o Brazilian Solar Spectroscop (BSS).

TABELA 1 - Principais características do BSS.

<b>Diâmetro da Antena</b>	9 metros
<b>Montagem</b>	polar
<b>Alimentador</b>	log-periódico cruzado
<b>Frequência</b>	200-2500 MHz
<b>Resolução temporal</b>	0,01; 0,02; 0,05; 0,10; 0,20; 1 s
<b>Resolução espectral</b>	1; 3 MHz
<b>Precisão tempo absoluta</b>	0,003 s
<b>Sensibilidade</b>	~2-3 sfu
<b>Número de canais</b>	25; 50; 100
<b>Visualização</b>	tempo real
<b>Campo de visada</b>	todo o disco solar
<b>Observações diárias</b>	11:00-19:00 UT

Para a determinação de parâmetros das observações, foi desenvolvido um programa base, batizado de BSSData (Martinon et al., 2000; Martinon et al., 2002), contendo ferramentas para destacar as explosões, para determinar visualmente os parâmetros das explosões, para manipular as cores do espectro dinâmico e para organizar os dados em projetos distintos.

## 2 - OBSERVAÇÕES SOLARES DECIMÉTRICAS: 2002

Devido à grande incidência de tempestades elétricas no verão na região de São José dos Campos, SP, que podem danificar a eletrônica do sistema do BSS, e principalmente às férias coletivas dos funcionários do INPE, os meses de janeiro e fevereiro são escolhidos para manutenção e reparos mecânicos na antena e no sistema de rastreamento, não ocorrendo observações neste período. Assim, as observações solares sistemáticas utilizando o BSS ocorrem entre os meses de março e dezembro. As observações são realizadas diariamente, de segunda a sexta, aproximadamente das 8:30 às 15:30 horas, horário local (11:30 - 18:30 UT). A Tabela 2 mostra o resumo das observações realizadas pelo BSS em 2002 e a Figura 2 a distribuição mensal dos dias de observação e eventos registrados. A lista completa das explosões solares observadas é apresentada na Tabela 3.

TABELA 2 – Observações solares com o BSS em 2002.

Dias	Horas	“Flares” solares registrados
177	1116	20

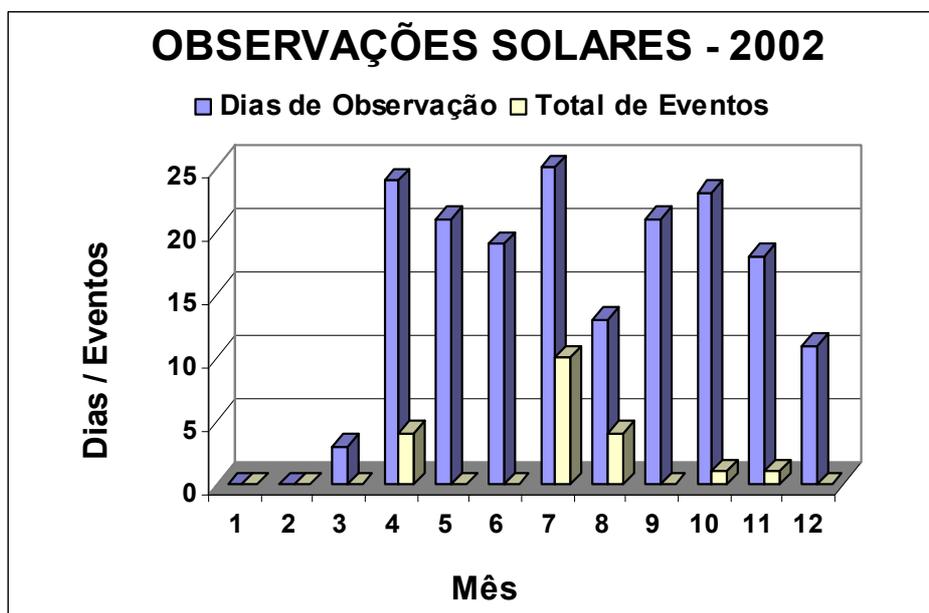


FIGURA 2 - Distribuição mensal do total de dias de observações solares realizadas pelo BSS em 2002 e do número de eventos registrados no mesmo período.

TABELA 3 - Lista de explosões registradas pelo BSS em 2002.

Dia	Hora (UT)	Tipo de atividade*	BSS Arq.	GOES	Atividade Associada**
<b>ABRIL</b>					
04	15:27:43	EF fracas nb	E6	M6.1	RBR 245-15400 RSP III/2 V/2
04	15:28:19	EF fracas nb	E6	M6.1	RBR 245-15400 RSP III/2 V/2
04	15:28:53	EF fracas cutoff	E6	M6.1	RBR 245-15400 RSP III/2 V/2
04	15:35:34	EF ISO	E7	M6.1	RBR 245-15400 RSP III/2 V/2
13	12:07-12:33	Rise-fall intermitente	A0-A4	C3.1	SF
13	14:18-14:24	Spike+Puls+TIII+fiber	C5-C6	-	-
16	15:55:35	EF ISO nb	F0	-	-
<b>JULHO</b>					
01	14:53	Fraca EF dot-like	D7	C1.3	-
01	15:01	Fraca EF dot-like	D9	C1.3	-
03	13:21-13:26	Fraco CNT	C1	C1.2	SF 13:24
05	16:05-16:07	PULS. nb + CNT	F3	-	SF RBR 606-1415 RSP IV/1
11	14:48	TIII nb GG	D8	M5.8	2N
11	14:49:42	TIII nb G	D8	M5.8	2N
11	14:50:33	ISO nb	D8	M5.8	2N
15	11:45-11:52	CNT + Puls. BxFr	H9-10	C9.1	SF RBR 245-15400
15	12:11	EF nb GG LBxFr	I4	C9.1	SF RBR 245-15400
19	16:16-16:20	CNT BxFr	F3-F4	-	-
24	15:43-15:51	Puls. Nb fraca Inter.	E7-E9	M1.2	1F RBR 410-1415
30	17:40	Fraca EF dfdt	H2	-	RBR 245-4995
<b>AGOSTO</b>					
28	15:45-15:56	Osc.	E6-E7	C8.1	RBR 4995-8800
28	16:40-16:51	Osc.	F6-F7	M1.3	RBR 1415-4995
30	13:31	EF Pré LBxFreq	C1	-	RBR 245-15400 RSP III/3 II/1
30	13:31-13:33	CNT	C1-C2	-	RBR 245-15400 RSP III/3 II/1
30	14:37-14:48	Osc.	D4-D5	C8.4	SF RBR 410-15400 RSP III/1
<b>OUTUBRO</b>					
31	16:51-16:52	CNT	F8	X1.2	RBR 2695-15400-
<b>NOVEMBRO</b>					
18	16:56	Fraco CNT	F8	C6.3	SF RBR 410-15400

\* Abreviações das estruturas finas: CNT: emissão contínua; EF: Estrutura Fina; TIII: Tipo III; G: Grupo de < 10 estruturas; GG: Grupo de > 10 estruturas; ISO: estrutura isolada; nb: banda estreita; ib: banda intermediária; bb: banda larga; NT: curta duração; BT: longa duração; dfdt: taxa de deriva em frequência; Puls.: Pulsações; Bxfreq: Baixa Frequência; LBxfreq: Limite de Baixa Frequência; Atfreq: Alta Frequência; LATfreq: Limite de Alta Frequência; Osc.: Oscilações em intensidade.

\*\* As siglas para a atividade associada (eventos em raios-X e rádio em diversas frequências) são as mesmas adotadas pelo "Space Environment Center" (gopher://solar.sec.noaa.gov).

### 3 - CATÁLOGO DAS EXPLOSÕES SOLARES REGISTRADAS

Este Catálogo é composto de uma seqüência de figuras representando os registros de todas as explosões solares observadas pelo instrumento Brazilian Solar Spectroscopie durante o ano. Os registros das explosões solares são apresentados na forma de **espectro dinâmico** (a variação da intensidade da emissão em função do tempo e da freqüência). A Figura 3 mostra um exemplo ilustrativo de um espectro dinâmico gerado a partir de dados de explosões solares apresentando estruturas finas.

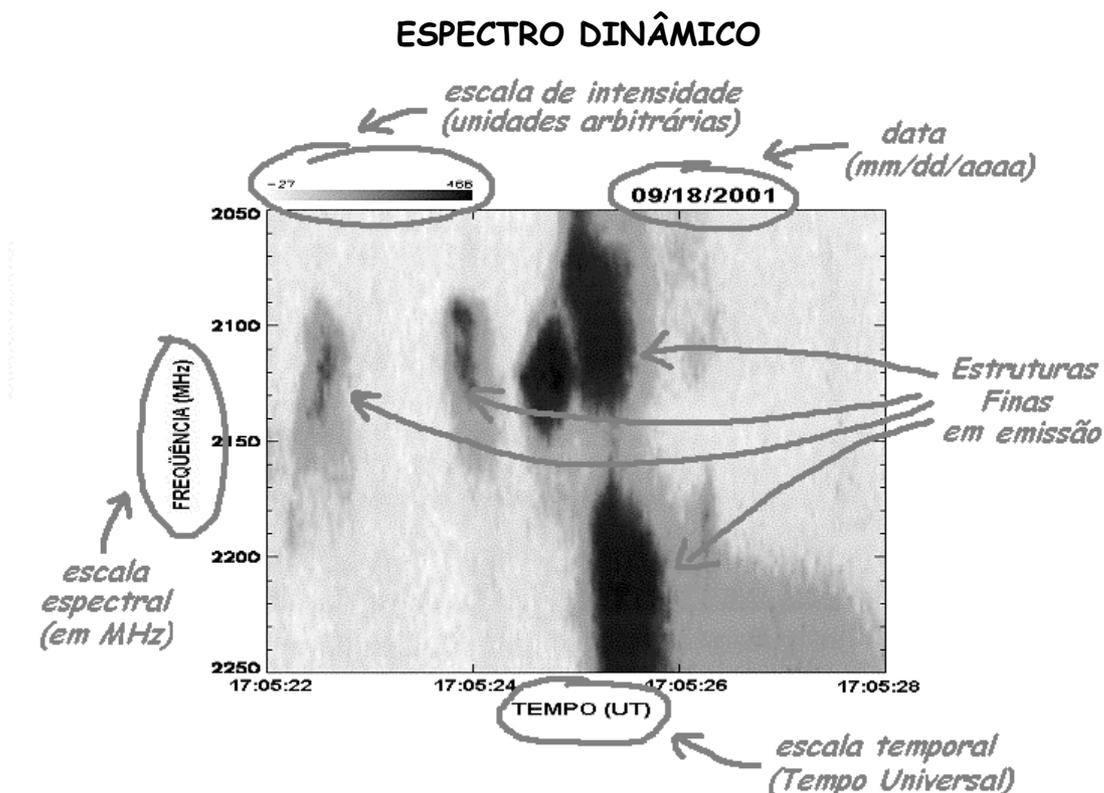
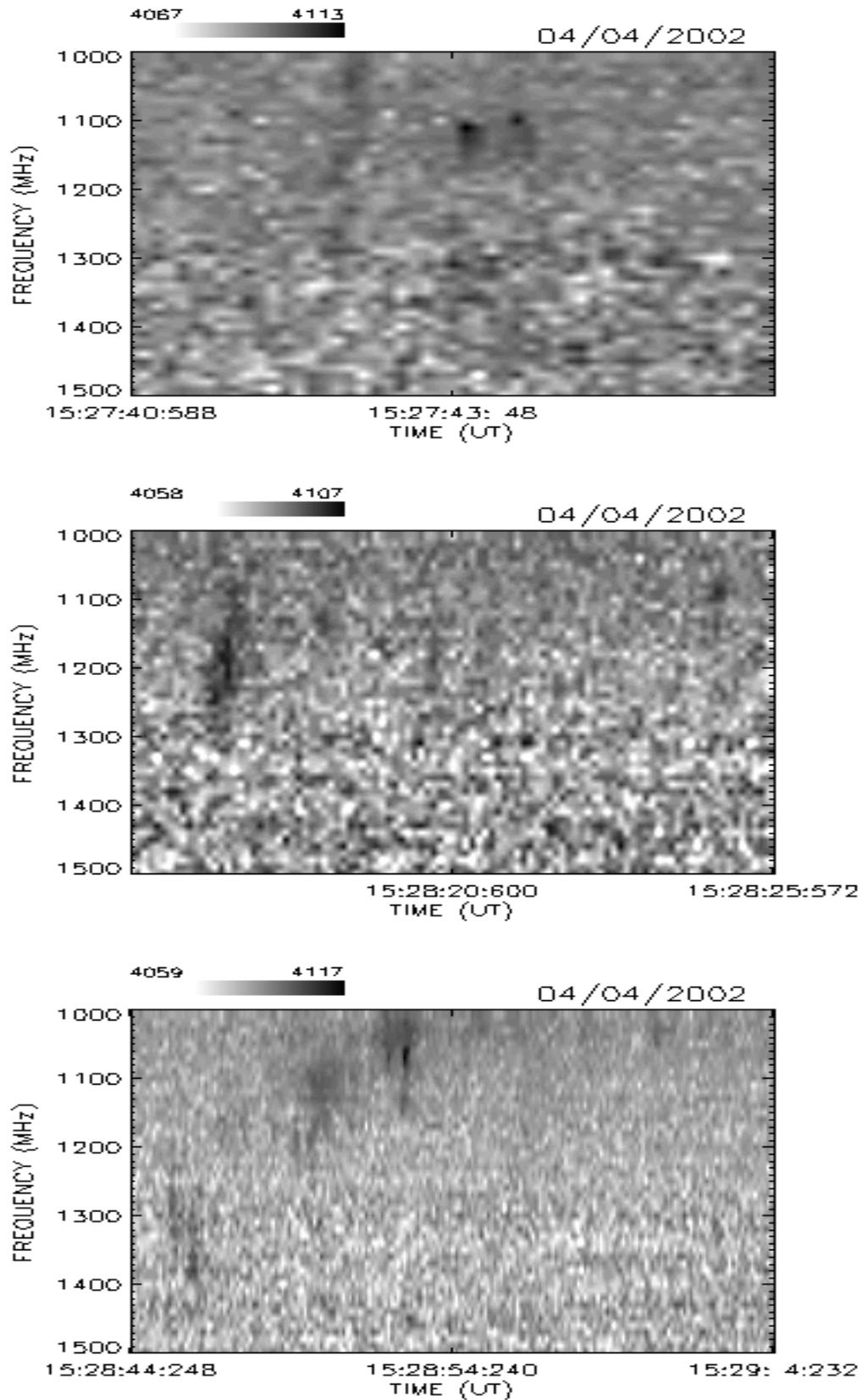
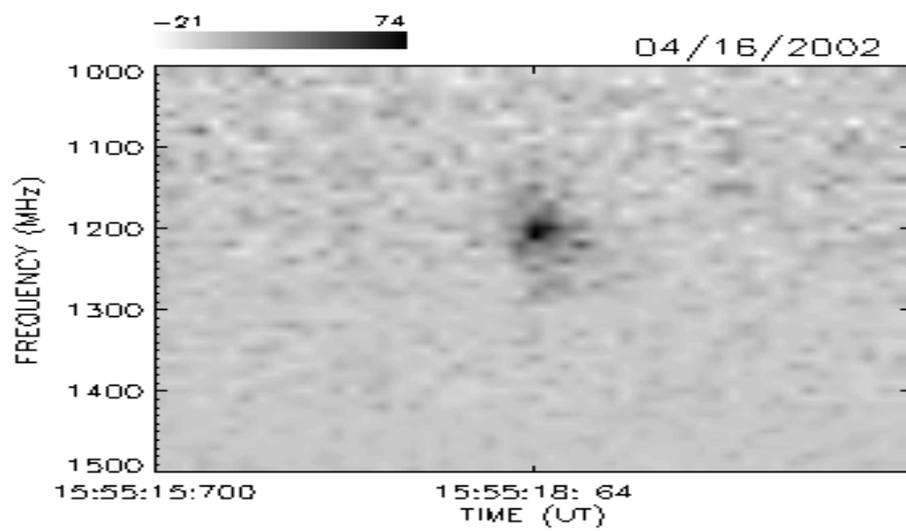
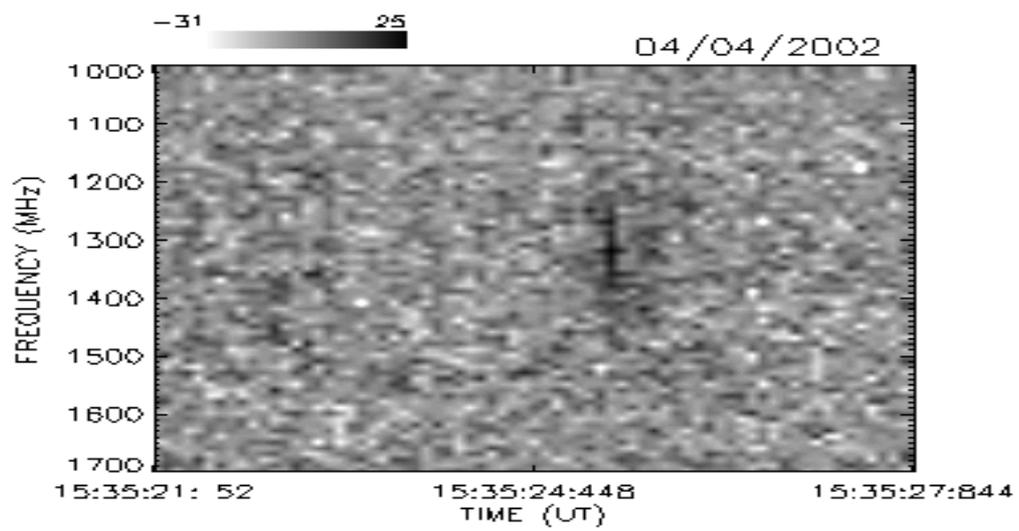


FIGURA 3 – Exemplo de espectro dinâmico gerado a partir dos dados de explosões solares observadas pelo BSS. Na parte superior da figura, é representada uma escala de intensidade (em unidades arbitrárias) e a data da explosão na forma (mm/dd/aaaa); os eixos vertical e horizontal representam, respectivamente, os intervalos em freqüência (em MHz) e em tempo (em Tempo Universal) em que foram registradas as emissões. Nota-se que os valores da freqüência no eixo vertical crescem para baixo, conforme convenção adotada internacionalmente.

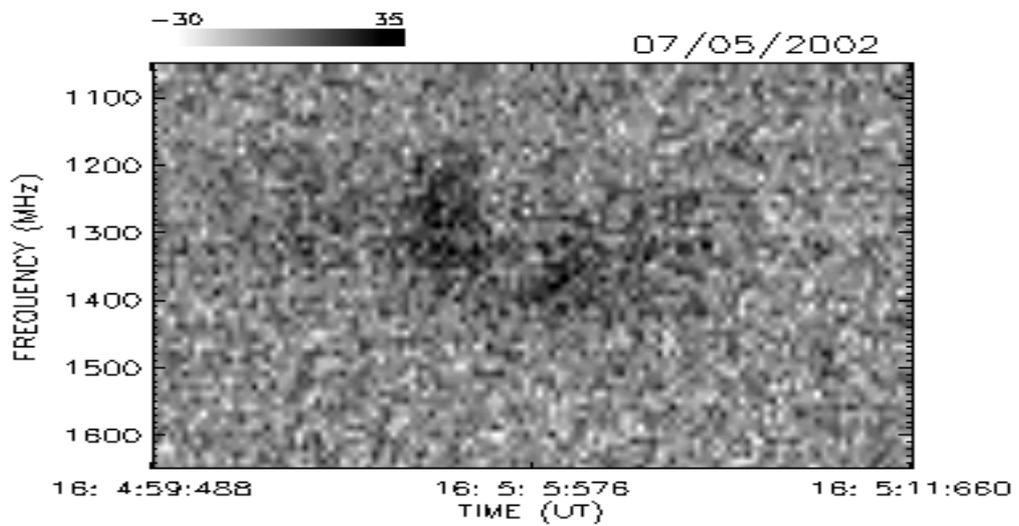
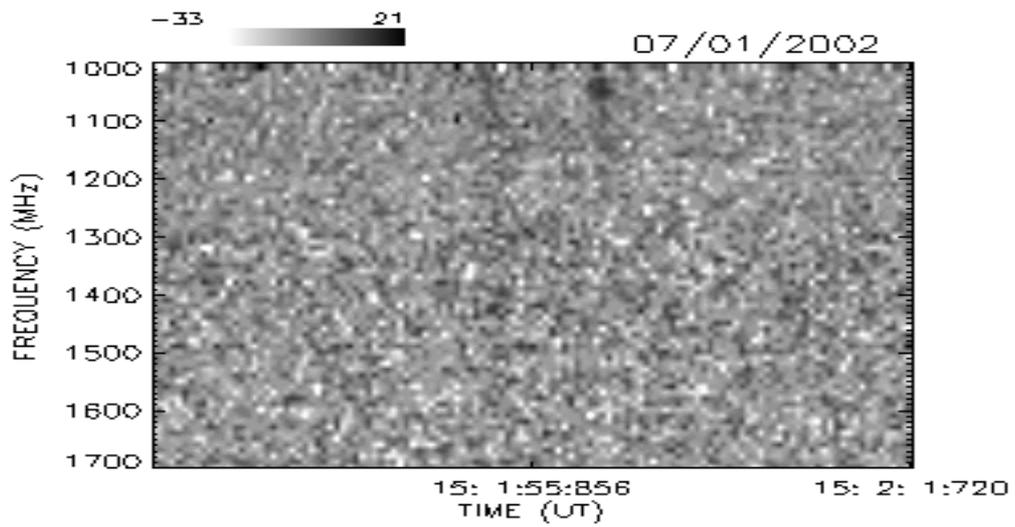
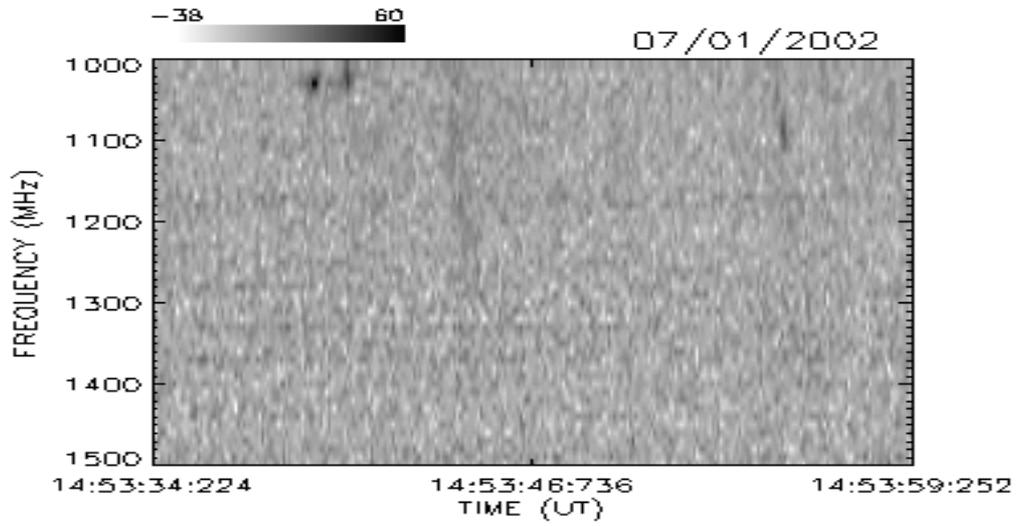
O Catálogo completo dos espectros dinâmicos das explosões registradas pelo BSS ao longo do ano de 1999 é apresentado a seguir. Cabe ressaltar que neste Catálogo não houve preocupação em apresentar as explosões de acordo com qualquer tipo de classificação morfológica ou fenomenológica. Os espectros dinâmicos estão dispostos em ordem puramente cronológica. Uma catalogação das explosões baseada em aspectos morfológicos pode ser encontrada em Fernandes et al. (2003).

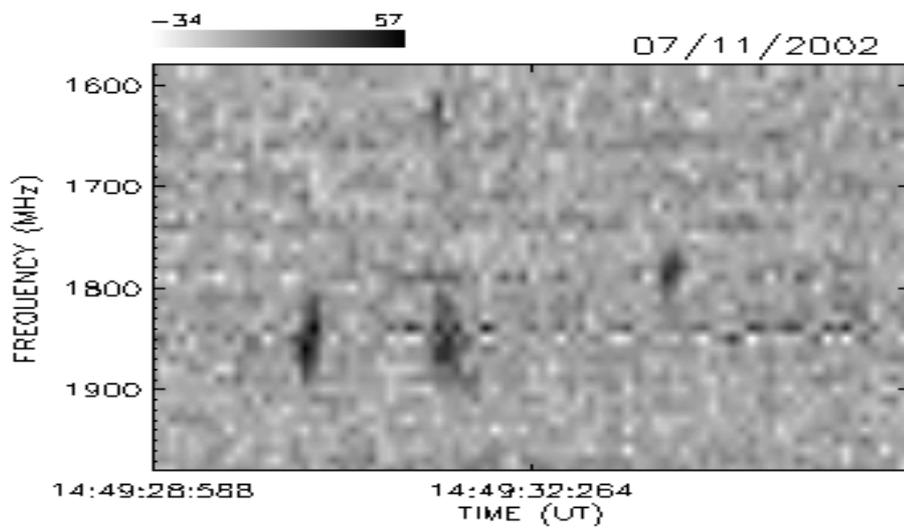
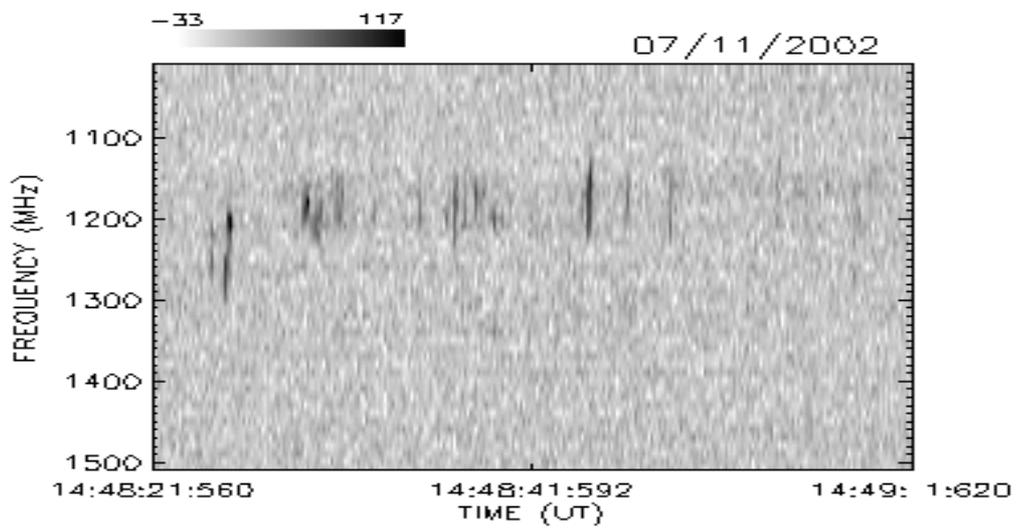
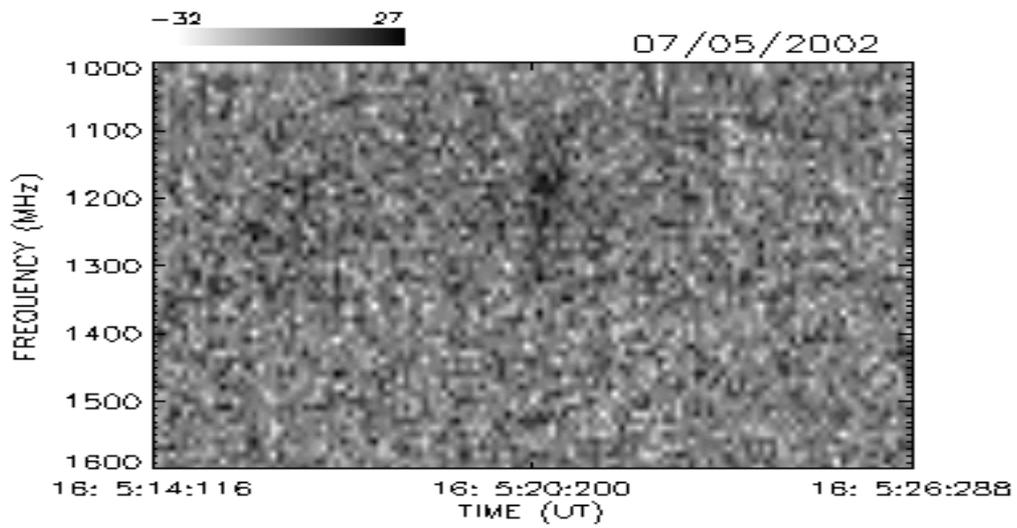
ABRIL / 2002

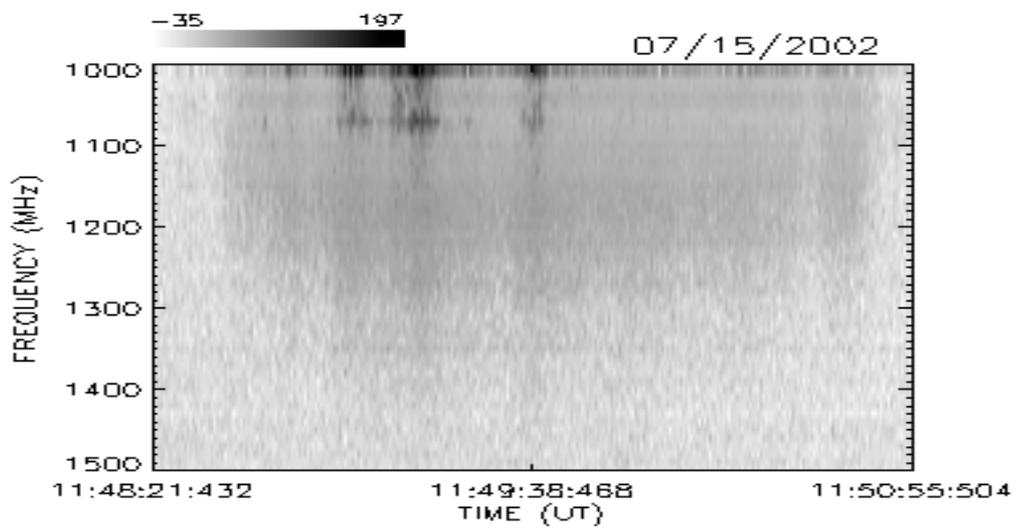
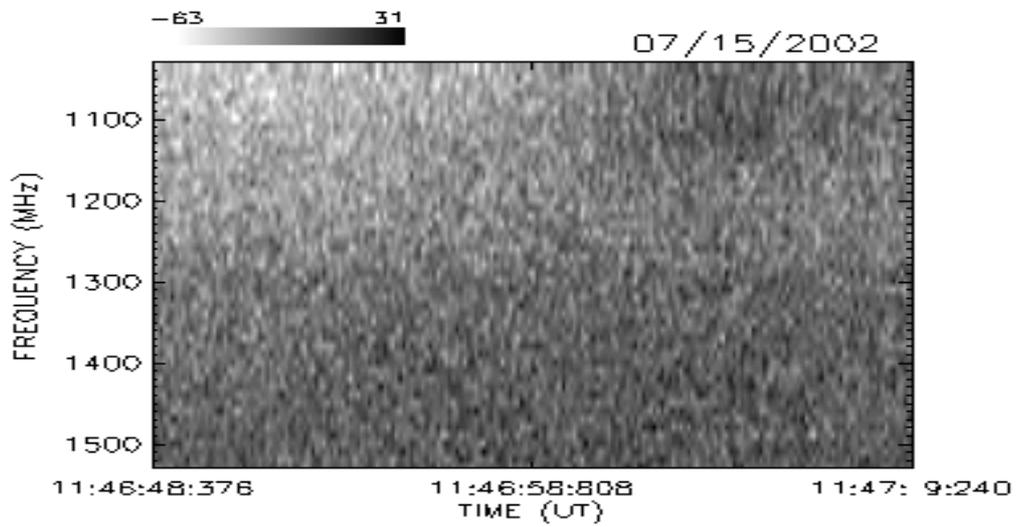
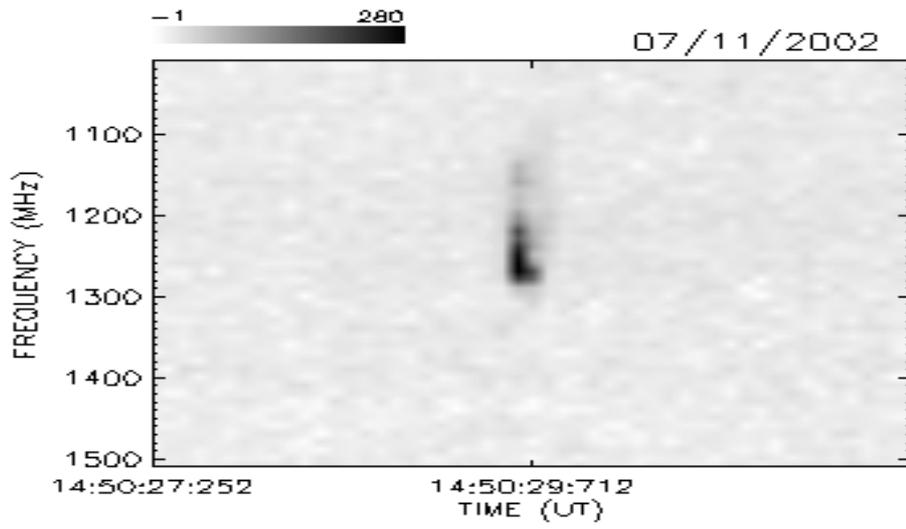


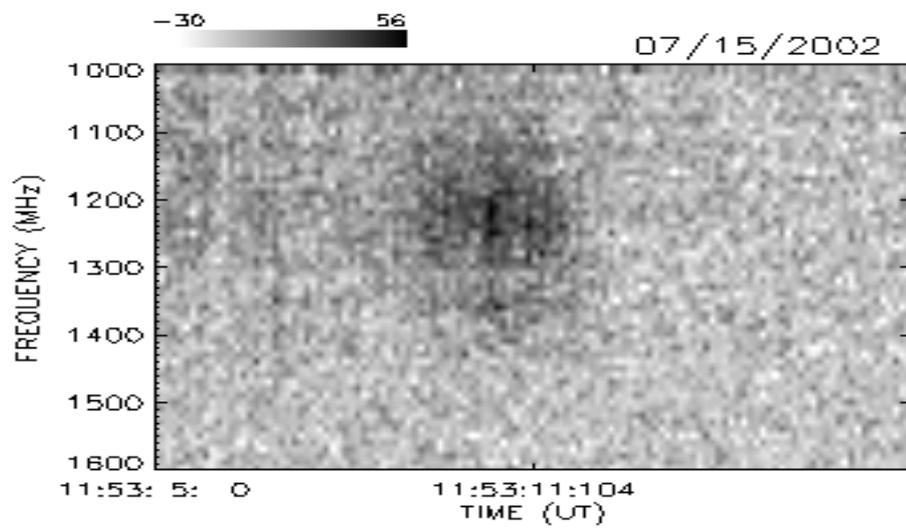
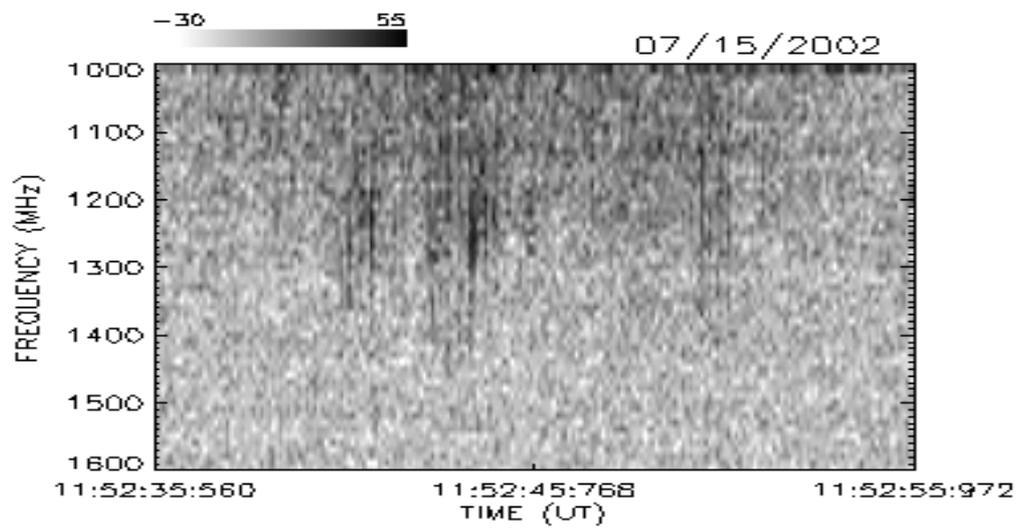
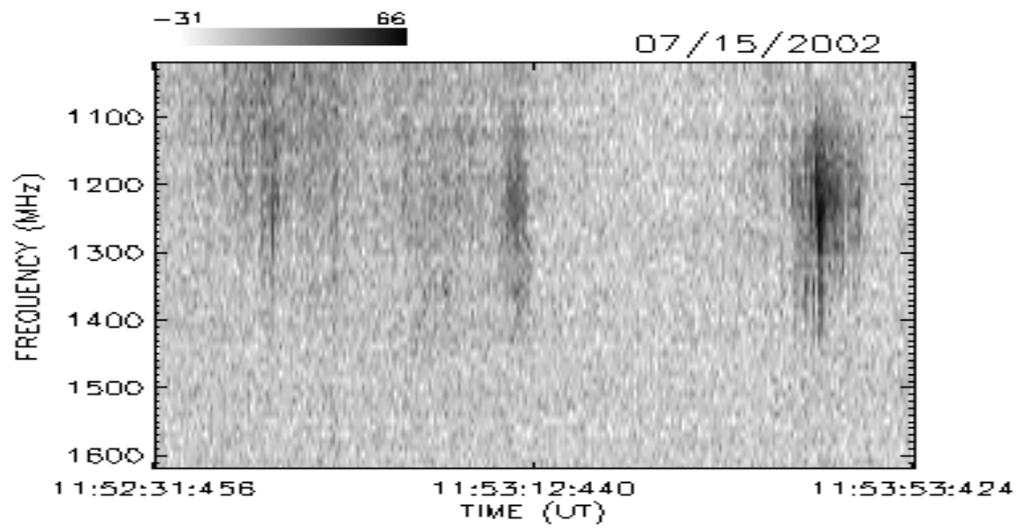


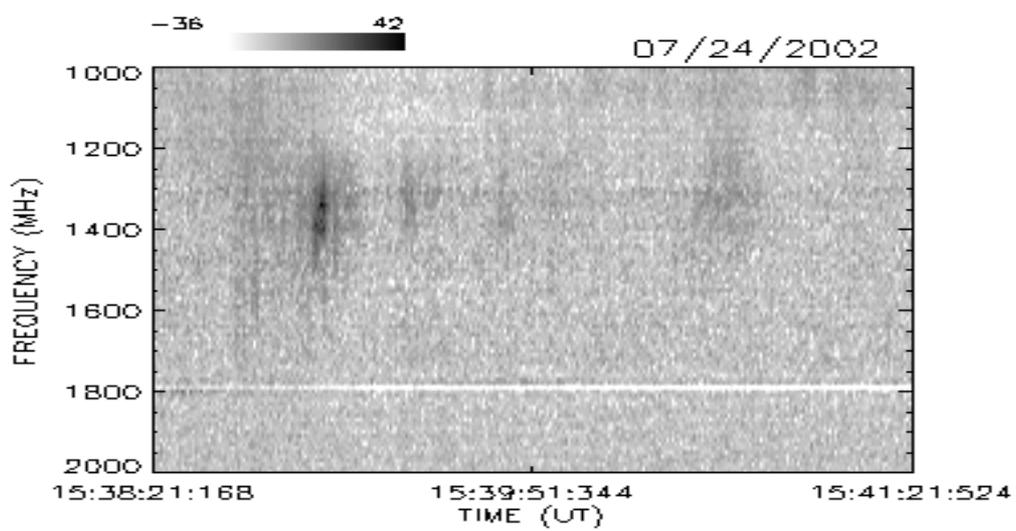
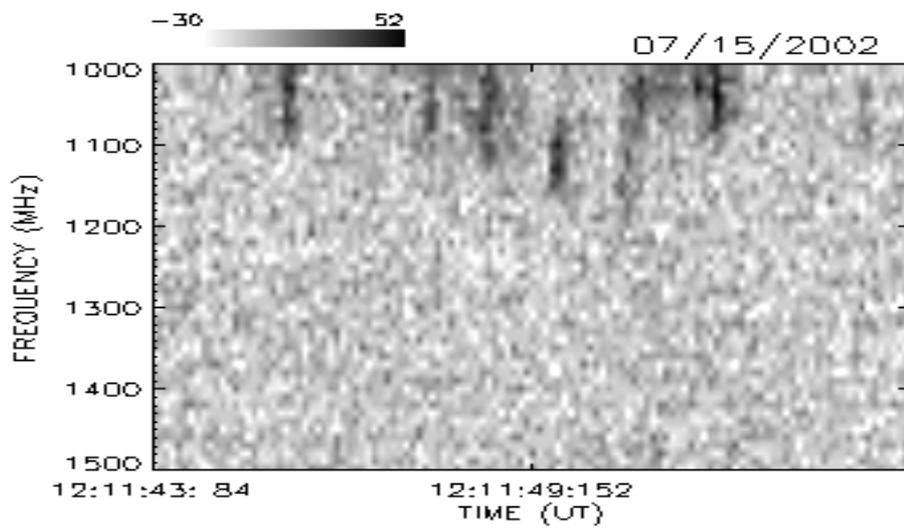
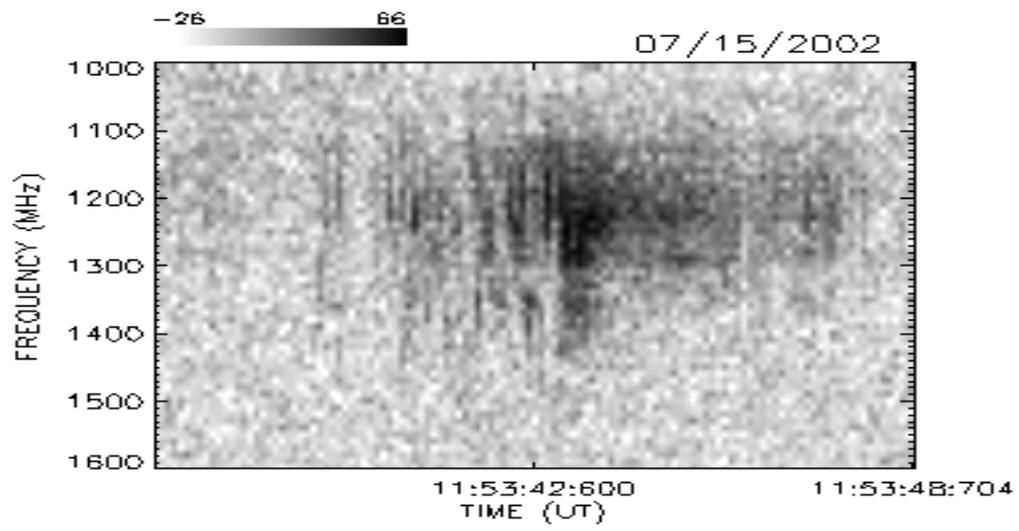
JULHO / 2002

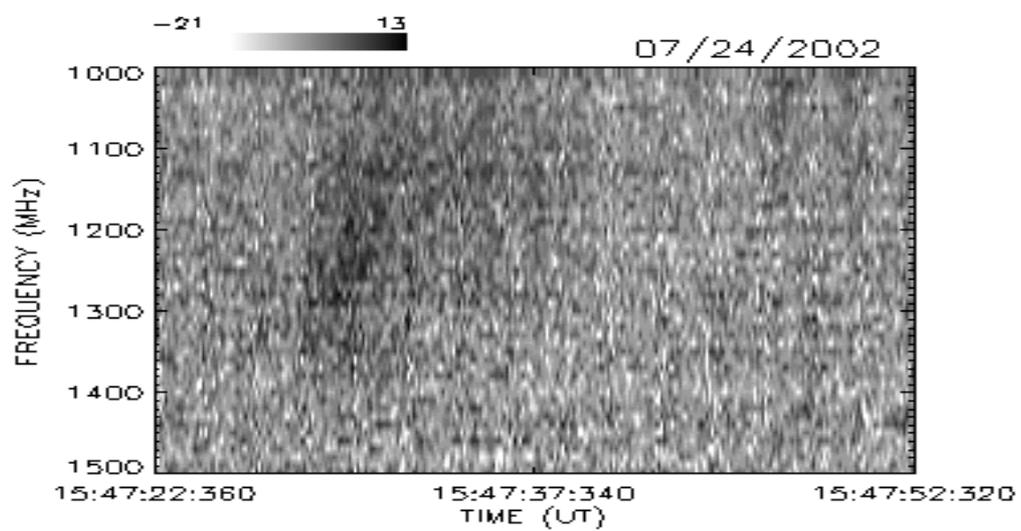
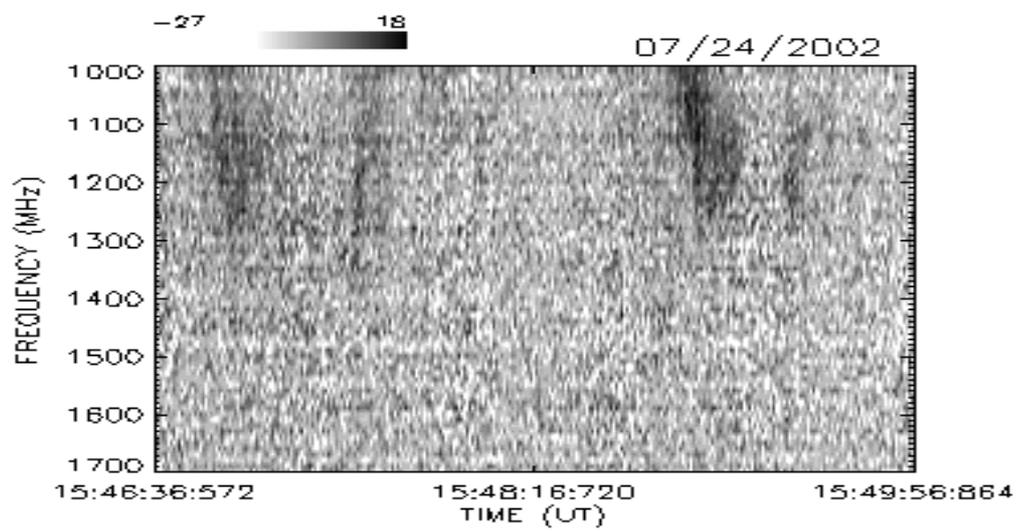
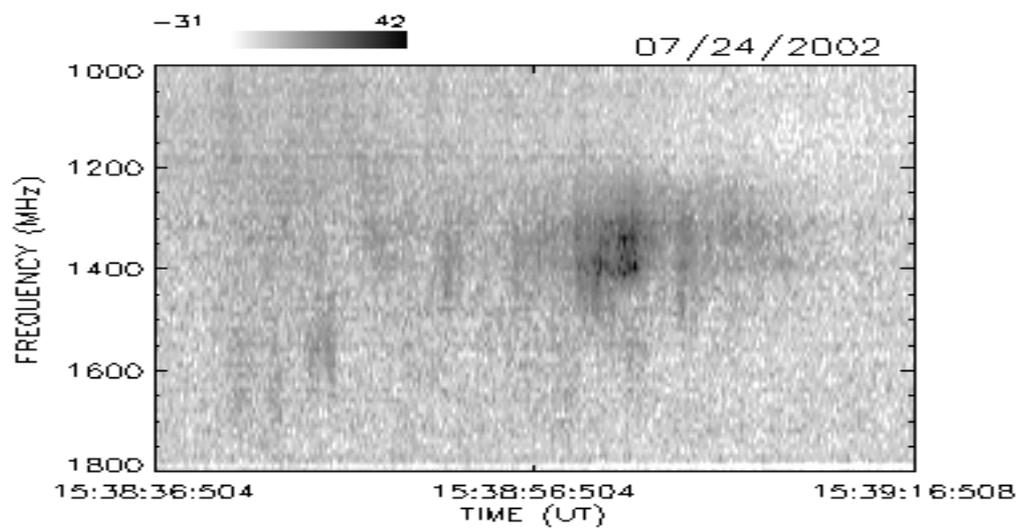


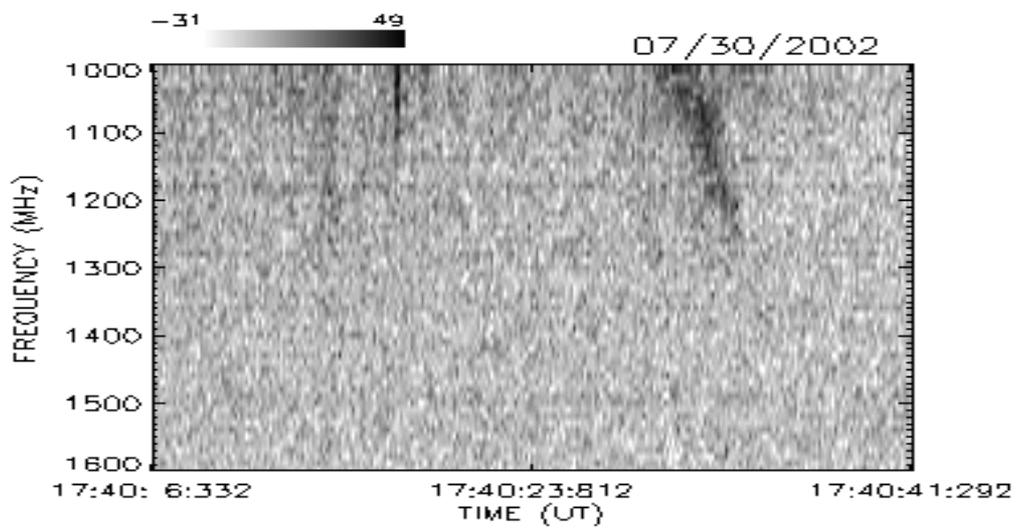
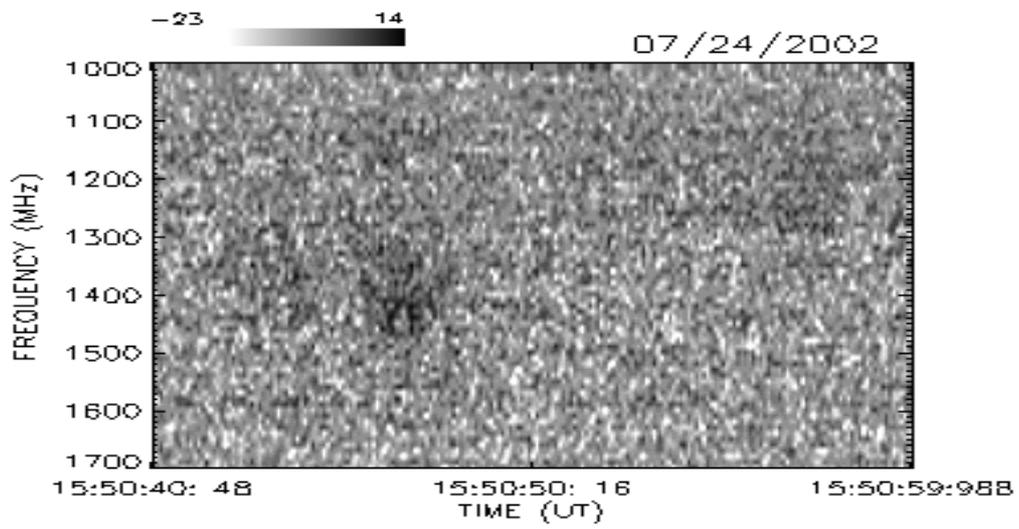
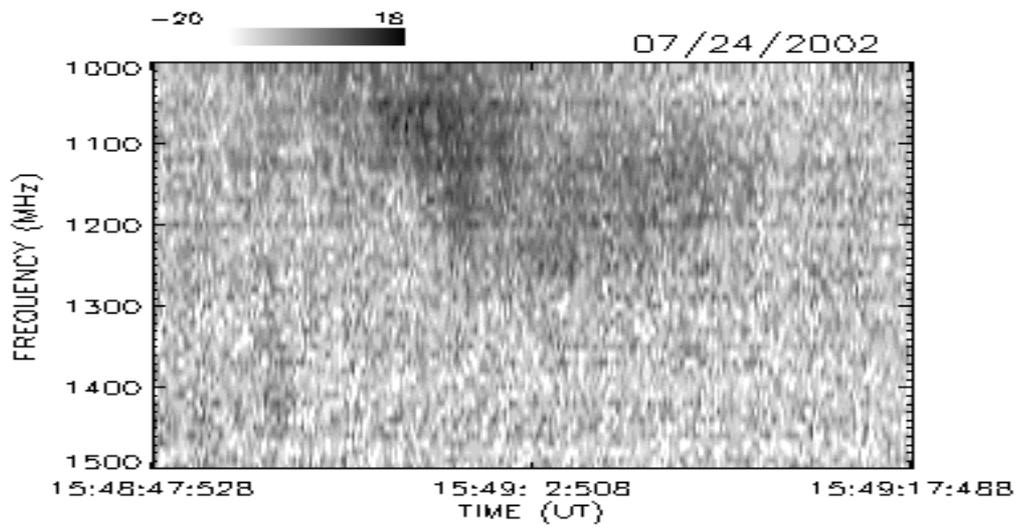


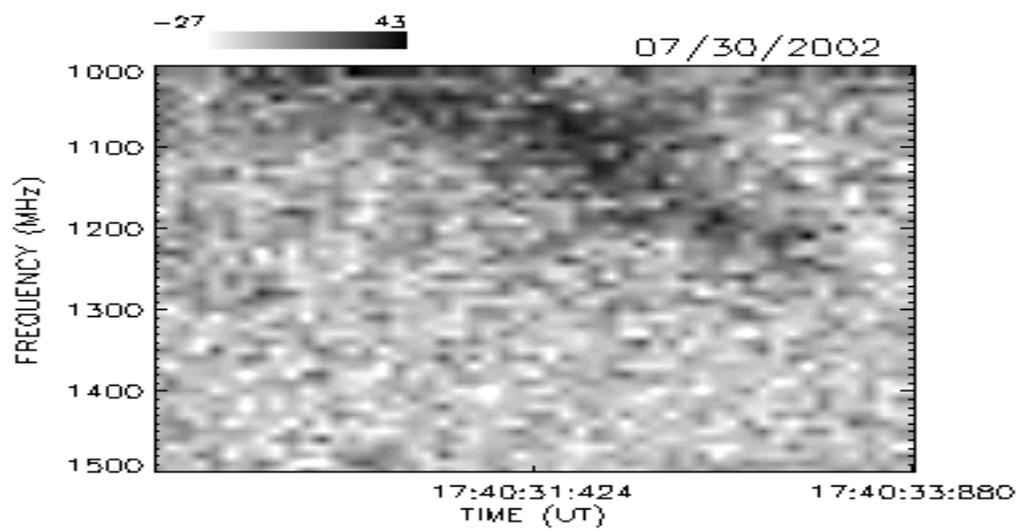
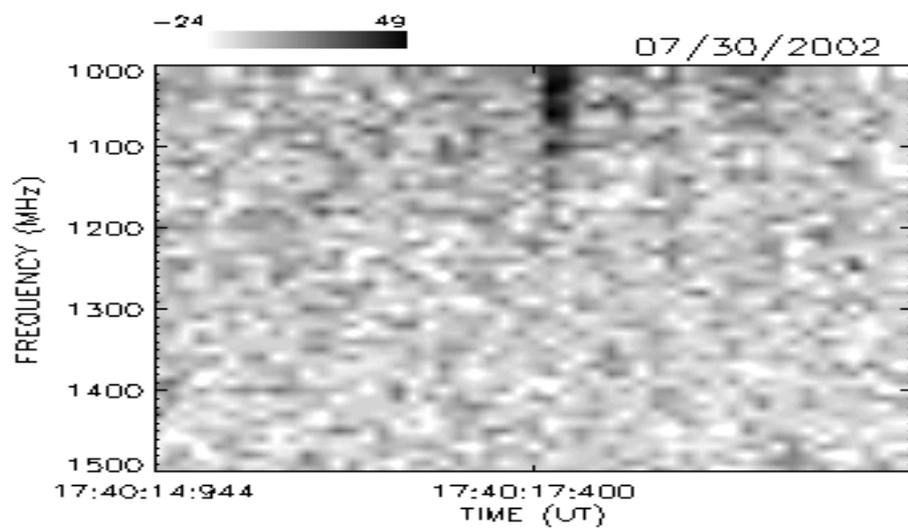




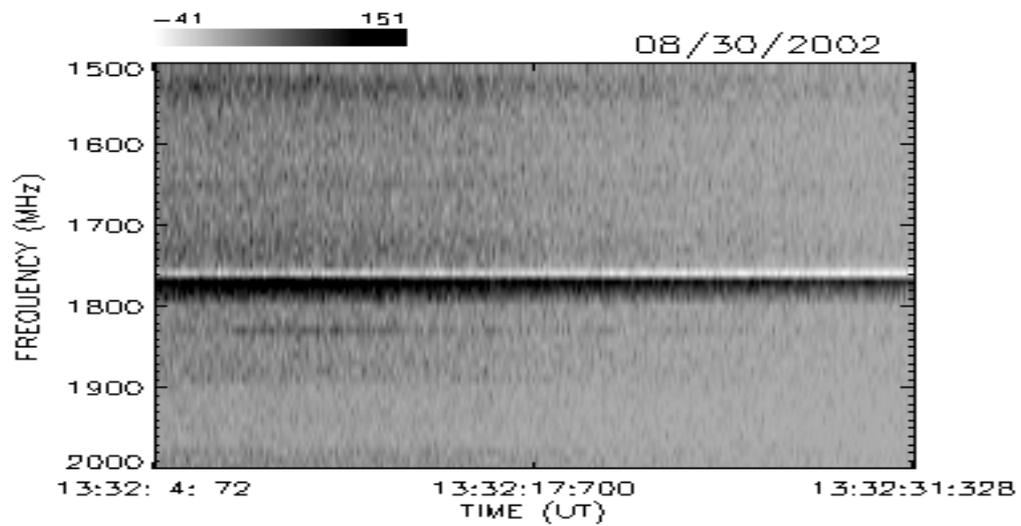
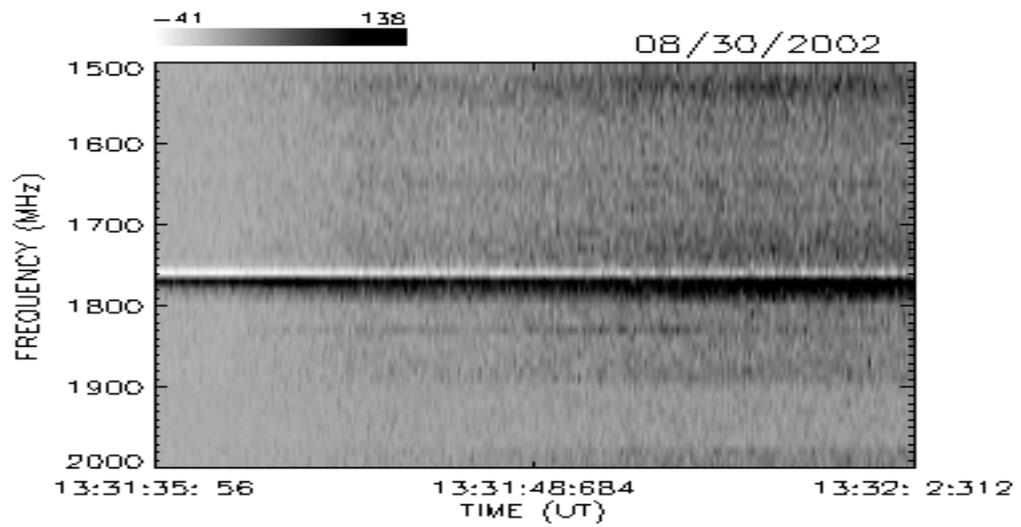
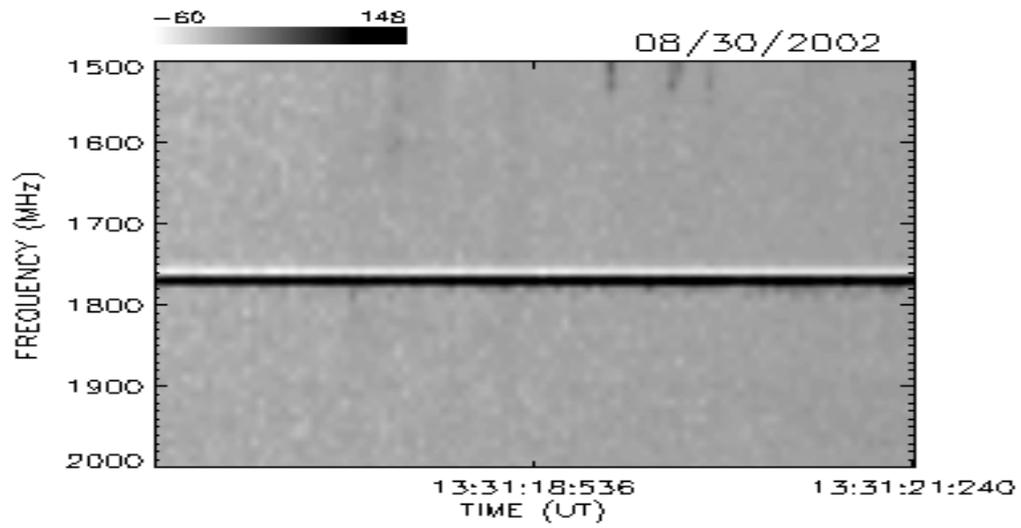




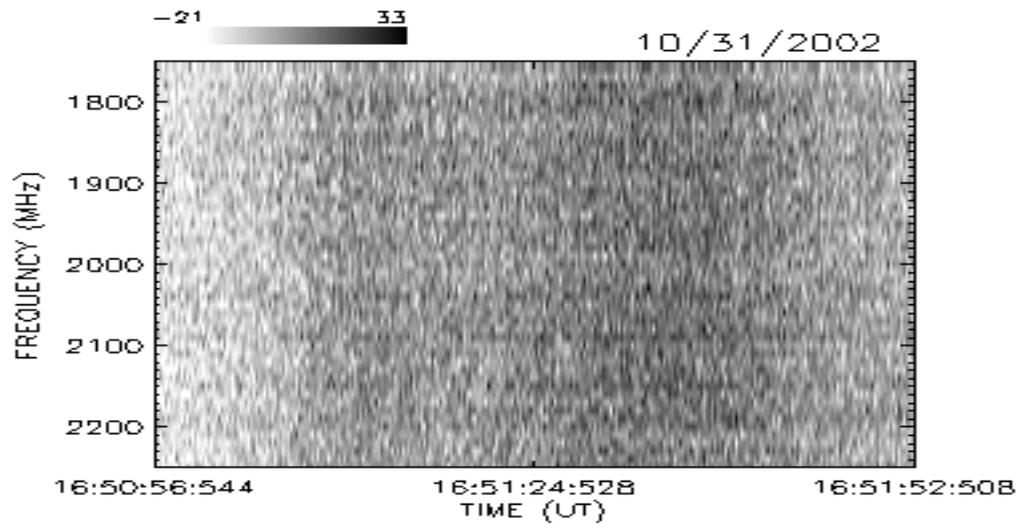




AGOSTO / 2002



OUTUBRO / 2002



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Faria, C., **Um sistema para tratamento e visualização de dados astronômicos espectrais**. São José dos Campos. 120 p. Dissertação (Mestrado em Matemática e Computação Aplicada) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1999.
- Fernandes, F. C. R., **Espectrógrafo decimétrico de alta sensibilidade e resolução: análise preliminar das explosões solares**. São José dos Campos. 132 p. (INPE-5537-TDI/525) Dissertação (Mestrado em Ciência Espacial - Radioastronomia e Física Solar) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1992.
- Fernandes, F. C. R., **Espectrógrafo Digital Decimétrico de banda larga e investigações de flares solares em rádio e raios-X**. São José dos Campos. 178 p. (INPE-6396-TDI/612) Tese (Doutorado em Astrofísica) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1997.
- Fernandes, F. C. R.; Cecatto, J. R.; Neri, J. A. C. F.; Faria, C.; Martinon, A. R. F.; Rosa, R. R.; Mesquita, F. P. V.; Portezani, A.; Andrade, M. C.; Alonso, E. M. B.; Vats, H. O.; Sawant, H. S. O Brazilian Solar Spectroscop (BSS) e os Problemas Atuais da Física Solar. **Boletim da Sociedade Astronômica Brasileira**, v. 20, n. 2, p. 33-43, 2000.
- Fernandes, F. C. R., Cecatto, J. R., Neri, J. A. C. F., Silva, M. J. B., Rosa, R. R., Faria, C., Andrade, M. C., Alonso, E. M. B., Martinon, A. R. F., Dobrowolski, K. M., Barbosa, T. M., Freitas, D. C., Nascimento, V. F., Reis, A. L., Sawant, H. S. Observações espectroscópicas inéditas de explosões solares decimétricas com 20 ms. **Boletim da Sociedade Astronômica Brasileira**, v. 21, n. 2, p. 49-53, 2001.
- Fernandes, F. C. R.; Cecatto, J. R.; Andrade, M. C.; Martinon, A. R. F.; Sawant, H. S. Catalogue of solar bursts observed by the Brazilian Solar Spectroscop – BSS, **Astrophysical Journal Supplement Series**, 2003. Submetido.
- Martinon, A. R. F., Fernandes, F. C. R., Vats, H. O., Neri, J. A. C. F., Sawant, H. S. BSSView: novas rotinas para visualização e análise de dados espectrais solares In: XXVI Reunião Anual da SAB, 2000, Mangaratiba, RJ. **Boletim da Sociedade Astronômica Brasileira**, v. 20., n. 1, p. 44-44, 2000.
- Martinon, A. R. F., Dobrowolski, K. M., Preto, A. J., Sawant, H. S., Stephany, S., BSSLibrary - Uma biblioteca de rotinas vetorizadas para filtragem de dados em radioastronomia solar. In: Workshop dos Cursos de Computação Aplicada do INPE (WORCAP), 2., São José dos Campos, SP, **Anais**, p. 167-172, 2002.
- Sawant, H. S.; Rosa, R. R. High sensitivity, high frequency and high time resolution decimetric spectroscop. **Revista Mexicana de Astronomia e Astrofísica**, v. 21, p. 651-654, 1990.
- Sawant, H. S., Sobral, J. H. A., Neri, J. A. C. F., Fernandes, F. C. R., Rosa, R. R., Cecatto, J. R., Martinazzo, D. High sensitivity, high frequency and high time resolution decimeter solar radio spectroscop In: Reunião Anual da SBPC, 43., 1991, Rio de Janeiro, RJ. **Anais**. ISSN 0102-2474. Rio de Janeiro. Ed. SBPC. 1991. p. 689-690.
- Sawant, H. S., Sobral, J. H. A., Neri, J. A. C. F., Fernandes, F. C. R., Rosa, R. R., Cecatto, J. R., Martinazzo, D. Decimeter High Resolution Solar Radio Spectroscop. **Lecture Notes In Physics**, v. 399, p. 318-321, 1992.

Sawant, H. S., Sobral, J. H. A., Neri, J. A. C. F., Fernandes, F. C. R., Cecatto, J. R., Rosa, R. R. High Sensitivity Digital Decimetric Spectroscope. **Advances In Space Research**, v. 13, n. 9, p. 199-202, 1993.

Sawant, H. S., Sobral, J. H. A., Fernandes, F. C. R., Cecatto, J. R., Day, W. R. G., Neri, J. A. C. F., Alonso, E. M. B., Moraes, A. High Sensitivity Wide Band Digital Solar Polarimetric Spectroscope. **Advances in Space Research**, v. 17, n. 4/5, p. 385-388, 1996.

Sawant, H. S.; Subramanian, K. R.; Faria, C.; Stephany, S.; Fernandes, F. C. R.; Cecatto, J. R.; Rosa, R. R.; Portezani, V. A.; Mesquita, F. P. V.; Alonso, E. M. B. Data Acquisition and Recent Results of the Brazilian Solar Spectroscope - BSS. **Astronomical Society of the Pacific Conference Series**, v. 206, p. 347-350, 2000.

Sawant, H. S.; Subramanian, K. R.; Faria, C.; Fernandes, F. C. R.; Sobral, J. H. A.; Cecatto, J. R.; Rosa, R. R.; Vats, H. O.; Neri, J. A. C. F.; Alonso, E. M. B.; Mesquita, F. P. V.; Portezani, A.; Martinon, A. R. F. Brazilian Solar Spectroscope (BSS). **Solar Physics**, v. 200, n. 1-2, p. 167-176, 2001.