

**UNESP**



**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”**

**CAMPUS DE GUARATINGUETÁ**

MÜLLER MOREIRA SOUZA LOPES

**FILTRAGEM DE SINAIS DE INTERFERÊNCIA EM ESPECTROS  
DINÂMICOS SOLARES ATRAVÉS DE SUAS COMPONENTES DE  
FOURIER**

Guaratinguetá  
2011

MÜLLER MOREIRA SOUZA LOPES

FILTRAGEM DE SINAIS DE INTERFERÊNCIA EM ESPECTROS DINÂMICOS  
SOLARES ATRAVÉS DE SUAS COMPONENTES DE FOURIER

Trabalho de Graduação apresentado ao  
Conselho de Curso de Graduação em  
Licenciatura em Matemática da  
Faculdade de Engenharia do Campus de  
Guaratinguetá, Universidade Estadual  
Paulista, como parte dos requisitos para  
obtenção do diploma de Graduação em  
Licenciatura em Matemática

Orientador: Prof. Dr. Ernesto Viera Neto  
Coorientador Dr. José Roberto Cecatto

GUARATINGUETÁ

2011



UNESP



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"  
CAMPUS DE GUARATINGUETÁ

**FILTRAGEM DE SINAIS DE INTERFERÊNCIA EM ESPECTROS  
DINÂMICOS SOLARES ATRAVÉS DE SUAS COMPONENTES DE  
FOURIER**

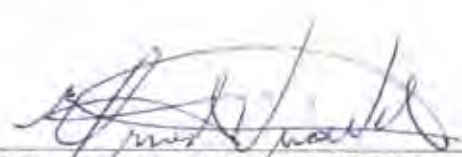
MÜLLER MOREIRA SOUZA LOPES

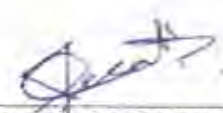
ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO  
PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE  
"GRADUADO EM LICENCIATURA EM MATEMÁTICA"


APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE  
GRADUAÇÃO EM LICENCIATURA EM MATEMÁTICA.

  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> ANA PAULA MARINS CHIARADIA  
Coordenadora

**BANCA EXAMINADORA:**

  
Prof. Dr. ERNESTO VIEIRA NETO  
Orientador/UNESP-FEG

  
Dr. JOSÉ ROBERTO CECATTO  
Coorientador/INPE/DAS

  
Prof. Dr. RAFAEL SFAIR DE OLIVEIRA  
UNESP-FEG

Dezembro de 2011

# *Dedicatória*

Dedico este trabalho aos meu pais, irmão e amigos.

# *Agradecimentos*

Agradeço primeiramente aos orientadores, pela oportunidade de realizar estudos na área de física solar e também pela ajuda na realização neste trabalho.

Também agradeço ao INPE e ao CNPq pelo período de bolsa, graças a estes pude desenvolver este trabalho.

# *Resumo*

Através do sistema de aquisição de dados do instrumento Brazilian Solar Spectroscop (BSS) são regularmente feitas no INPE observações solares dentro da banda de ondas de rádio decimétricas (1000-2500 MHz). Estes dados são visualizados como espectros dinâmicos através do software BSSView, criado para este propósito. O processo de aquisição de dados pode sofrer interferências por diversas fontes, dificultando a análise do espectro dinâmico resultante. O objetivo deste trabalho é criar uma rotina computacional capaz de eliminar as componentes do espectro dinâmico atribuídas a sinais de interferência e integrá-la ao BSSView. Para isso foi feito um estudo prévio sobre a linguagem de programação Interactive Data Language (IDL), dentro da qual o BSSView foi desenvolvido, e sobre a transformada de Fourier, que será necessária para a aplicação do Filtro.

**Palavras chave:** Filtragem de dados; Transformada de Fourier; IDL

# *Abstract*

Through the data acquisition system of the instrument Brazilian Solar Spectroscope (BSS) at INPE, solar observations in the decimetric radio wave band (1000-2500 MHz) are regularly made. This data is showed as dynamic spectra using the software BSSView created for this purpose. The process of data acquisition can be influenced by various sources, difculting the resulting dynamic spectrum analysis. The objective of this work is to create a computational routine that eliminates dynamic components of the spectrum attributed to interfering signals and integrate it into BSSView. It was done a preliminary study on the programming language Interactive Data Language (IDL), in which the BSSView was developed, and the Fourier transform, that is required for the application of the filter.

**Keywords:** Data filtering; Fourier transform; IDL



# *Lista de Figuras*

- 2.1 Representação da cadeia ppI, onde átomos de hidrogênio, formam um átomo de Hélio, além de pósitrons neutrinos e raios-gama. . . . . p. 17
- 2.2 Arcos magnéticos solares, registrados em ultravioleta extremo pelo satélite TRACE. . . . . p. 18
- 2.3 Foto de uma CME, o círculo branco mostras o contorno da superfície solar. Já o disco escuro mostra a região de cobertura do coronógrafo C2 do experimento LASCO à bordo do satélite SOHO. Esta foto foi obtida através da sonda SOHO da NASA no dia 2/12/2002. . . . . p. 19
- 2.4 Fotografia em Ultravioleta extremo de um *flare*, localizado um pouco abaixo do centro do Sol. Este *flare* ocorreu no dia 28 de outubro de 2003 e foi fotografado pela sonda SOHO, um projeto em conjunto entre a NASA e a ESA. p. 19
- 2.5 Emissões solares em vários comprimentos de onda, especialmente métricas e decimétricas, durante a ocorrência de um *flare* solar. (MCLEAN; LABRUM, 1985) . . . . . p. 20
- 3.1 Instrumento BSS, instalado na sede do INPE em Cachoeira Paulista - SP . . . p. 23
- 3.2 Exemplo de espectro dinâmico gerado através dos dados do BSS. Imagem gerada pelo BSS a partir da observação solar na faixa de frequência 1000-2000 MHz do dia 19/3/1999 com início as 15:11:58:747 UT e término as 15:31:56:325 UT . . . . . p. 24
- 3.3 Menu inicial do BSSView . . . . . p. 25
- 3.4 Menu de pré-processamento e o cabeçalho, quando carregado um conjunto de dados . . . . . p. 25
- 3.5 Menu de pré-processamento e o cabeçalho, exibindo o submenu “Entrada e Saida” . . . . . p. 26
- 3.6 Menu “Transformacoes” . . . . . p. 26

3.7	Menu “Transformacoes”, exibindo o submenu “Aplicar Filtros” . . . . .	p. 27
3.8	Janela de visualização de espectros dinâmicos . . . . .	p. 28
3.9	Visualização na forma de figura 2D . . . . .	p. 28
3.10	Visualização na forma de gráfico de superfície (xsurface) . . . . .	p. 29
3.11	Visualização na forma de isolinhas . . . . .	p. 29
3.12	Interface da janela de visualização do perfil temporal . . . . .	p. 30
3.13	Interface da janela de seleção de canais para visualização na forma de perfil temporal . . . . .	p. 30
4.1	Comparativo entre o número de operações necessárias para realizar uma DFT tradicional ( $N^2$ ) e uma FFT ( $N \log_2 N$ ) para $N$ até 100. . . . .	p. 33
5.1	Representação dos passos utilizados no processo de filtragem . . . . .	p. 36
5.2	Interface da Ferramenta, com numerações nos botões, quadros e sliders . . . . .	p. 37
5.3	Imagem gerada pelo BSS a partir da observação Solar na faixa de frequencia 1000 – 2000 MHz do dia 19/7/2002 com inicio as 16:16:7:262 UT e término as 16:21:14:140 UT . . . . .	p. 42
5.4	Imagem gerada pelo BSS a partir da observação Solar na faixa de frequencia 1000 – 2000 MHz do dia 30/7/2002 com inicio as 17:37:56:2 UT e término as 17:43:2:550 UT . . . . .	p. 42
5.5	Imagem gerada pelo BSS a partir da observação Solar na faixa de frequencia 1000 – 2000 MHz do dia 15/7/2002 com inicio as 11:41:54:775 UT e término as 11:47:10:490 UT . . . . .	p. 43
5.6	Imagem gerada pelo BSS a partir da observação Solar na faixa de frequencia 1000 – 2000 MHz do dia 15/7/2002 com inicio as 11:47:11:744 UT e término as 11:52:26:420 UT . . . . .	p. 43
5.7	Imagem gerada pelo BSS a partir da observação Solar na faixa de frequencia 1000 – 2000 MHz do dia 11/7/2002 com inicio as 14:47:30:362 UT e término as 14:52:37:570 UT . . . . .	p. 43

## *Lista de Tabelas*

2.1	Principais características físicas do Sol. . . . .	p. 16
3.1	Principais características do BSS . . . . .	p. 22

# *Sumário*

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	p. 12
1.1	Objetivo deste trabalho . . . . .	p. 13
1.2	Metodologia . . . . .	p. 13
<b>2</b>	<b>O Sol</b>	p. 15
2.1	Fenômenos solares . . . . .	p. 16
<b>3</b>	<b>Observações solares no INPE</b>	p. 21
3.1	O instrumento BSS . . . . .	p. 21
3.2	Interative Data Language (IDL) . . . . .	p. 23
3.3	BSSView . . . . .	p. 24
3.3.1	Utilização do BSSView . . . . .	p. 25
<b>4</b>	<b>Filtros lineares</b>	p. 31
4.1	A transformada de Fourier . . . . .	p. 32
4.1.1	Transformada rápida de Fourier (FFT) . . . . .	p. 33
<b>5</b>	<b>A Ferramenta “Filtro Fourier”</b>	p. 34
5.1	Desenvolvimento da ferramenta . . . . .	p. 34
5.2	Interface da ferramenta . . . . .	p. 35
5.2.1	Desenvolvimento dos botões . . . . .	p. 37
5.3	Descrição dos botões . . . . .	p. 40
5.4	Resultados obtidos . . . . .	p. 42

<b>6 Considerações finais</b>	p. 44
<b>Referências Bibliográficas</b>	p. 45
<b>Apêndice A – Código da rotina desenvolvida</b>	p. 46

# 1 *Introdução*

As pesquisas da física do meio interplanetário destinam-se a estudar os fenômenos que se iniciam no Sol e se propagam através do espaço heliosférico, particularmente em direção à Terra. Estas pesquisas contribuem para a compreensão dos fenômenos físicos relacionados à atividade solar e à atividade interplanetária subsequente. No capítulo 2 é feita uma breve introdução à física solar e aos fenômenos solares energéticos (*flares* e ejeções de massa coronal). No INPE, investiga-se alguns problemas fundamentais da fenomenologia de explosões solares na faixa de frequência decimétrica, geradas próximas às regiões da atmosfera solar, onde se observam os mecanismos de armazenamento e liberação dos *flares* correspondentes as explosões solares. Mais detalhes são dados no capítulo 3.

Estas observações são realizadas dentro da banda de ondas de rádio (1000-2500 MHz) com o instrumento BSS (Brazilian Solar Spectroscope). Trata-se de um espectroscópio dedicado a investigações de fenômenos solares. O sistema de aquisição de dados consiste de uma antena parabólica de 9 metros de diâmetro, dois computadores (IBM-PC-01 e IBM-PC-02), um analisador de espectros e um equipamento de tempo por GPS (maiores informações são dadas na seção 3.1). A aquisição, visualização em tempo real e tratamento dos dados são feitos através do software BSSView (FARIA, 1999). Os produtos gerados pelas observações são os espectros dinâmicos solares (figuras de intensidade de emissão rádio solar versus faixa de frequências versus tempo universal - UT), mais detalhes são dados na seção 3.3.

O BSSView consiste de um conjunto de funções desenvolvidas em IDL (Interactive Data Language) que disponibiliza uma série de facilidades específicas das etapas de pré-processamento e visualização de dados astronômicos espectrais. O IDL foi escolhido como plataforma de desenvolvimento por oferecer um conjunto de ferramentas específicas para visualização de dados científicos, além de ter grande aceitação no meio astronômico. O IDL integra uma poderosa linguagem orientada à manipulação de matrizes, além de um grande número de técnicas de visualização e análise numérica. Detalhes são dados na seção 3.2.

A rotina de visualização dos espectros dinâmicos normaliza os valores da matriz de dados

da observação em valores inteiros de 0 até 255 e os valores resultantes desta normalização são associados às entradas de uma tabela de 256 cores, gerando uma imagem.

O problema a ser tratado neste trabalho surge quando existe a presença de sinais de interferência (como sinais de rede sem fio, radiotransmissores, celulares, etc.) no sistema de aquisição de dados. Quando os dados com interferência são visualizados no BSSView o contraste da imagem gerada fica comprometido, pois como a intensidade dos sinais de interferência é muito maior do que os sinais provenientes do Sol, o processo de normalização dos valores da matriz atribui os valores mais altos (próximos de 255) aos valores da interferência e valores baixos para os dados solares. Isso faz com que a amplitude dos valores atribuídos aos dados provenientes de observações solares fique baixa, prejudicando o contraste e a identificação dos fenômenos solares.

Para melhorar a visualização destes dados é necessária a realização de uma filtragem e no capítulo 4 são apresentadas algumas técnicas de filtragem de dados. O capítulo 5 trás os detalhes do desenvolvimento da ferramenta criada para filtrar estes dados provenientes do BSS. Por fim, o capítulo 6 consiste em comentários finais sobre o trabalho realizado.

## **1.1 Objetivo deste trabalho**

O objetivo deste trabalho é criar uma subrotina dentro do BSSView que seja capaz de eliminar ou minimizar os sinais de interferência do conjunto de dados, melhorando o contraste do espectro dinâmico resultante e permitindo melhorar a identificação e análise dos fenômenos solares, além da qualidade dos dados.

## **1.2 Metodologia**

Antes de iniciar o trabalho, foi feito um estudo sobre física solar e fenômenos solares, depois adquiriu-se familiaridade com o ambiente IDL. Esta ambientação se deu através do estudo dos manuais oferecidos pela distribuidora do IDL (RESEARCH SYSTEMS, 2000) e pelo livro “Practical IDL Programming” (GUMLEY, 2001). Após a análise preliminar do material foram desenvolvidos várias rotinas computacionais de baixa complexidade para adaptar os conceitos preliminares sobre programação do autor para a linguagem IDL.

Ambientado ao IDL, o autor estudou o código do software BSSView para que a rotina desenvolvida fosse integrada ao BSSView. Enquanto desenvolvia a rotina o autor estudou sobre a transformada discreta de Fourier, que é a ferramenta matemática utilizada para a aplicação do

filtro.

Terminada a rotina e realizados testes durante a integração ao BSSView foram obtido resultados satisfatórios validando o trabalho. O autor também escreveu um manual de uso do filtro e preparou esta monografia.



## 2 *O Sol*

O Sol é a estrela mais importante para a vida na Terra. Além de fornecer calor para manter a água no estado líquido, o Sol providencia energia, seja para as plantas, que através da fotossíntese sustentam toda a cadeia alimentar, ou mais recentemente para atividades humanas, servindo como fonte de energia elétrica através de painéis solares. A tabela 2.1 contém características físicas do Sol.

A energia do Sol vem de reações nucleares que ocorrem no seu interior, sendo a principal destas a cadeia ppI, descrita na figura 2.1, onde átomos de hidrogênio se convertem em átomos de Hélio, liberando pósitrons, neutrinos e raios-gama durante o processo (LANG, 2001). Nestas reações há uma diferença de perda de massa entre os núcleos de origem (4 átomos de hidrogênio) e o núcleo produto (átomo de He). Essa diferença de massa corresponde à energia liberada em todo o processo.

A idéia de perder massa e liberar energia nos remete a teoria da relatividade especial de Einstein, que afirma que energia e massa são a mesma coisa e que podem ser convertidas uma na outra. Esta conversão de massa em energia é representada pela famosa equação  $E = mc^2$ , onde  $E$  é a energia que pode ser obtida a partir da massa  $m$ , e  $c$  é a velocidade da luz no vácuo (aproximadamente 300.000 km/s). Logo é possível transformar uma pequena quantidade de massa em uma grande quantidade de energia já que o coeficiente  $c^2$  é enorme. Porém, não se conhece um processo eficiente reproduzir esta transformação de uma maneira eficiente sem que sobre algum resíduo.

Através desta equação, sabendo que o Sol emite luz a uma potência de  $3,85 \times 10^{26}$  Watts (LANG, 2001), obtem-se que ele converte matéria em energia a uma taxa de 4 milhões de toneladas por segundo. Embora pareça ser uma taxa muito alta, representa muito pouco (cerca de  $10^{-15}\%$  da massa solar por segundo) quando comparada a massa total do Sol (tabela 2.1), para se ter idéia, em 1 milhão de anos, o Sol converte  $6,34 \times 10^{-6}\%$  da sua massa (LANG, 2001). Toda essa energia gerada no Sol faz com que, através de vários mecanismos, mantenha

Tabela 2.1: Principais características físicas do Sol. Fonte: (LANG, 2001)

<b>Principais características físicas do Sol.</b>	
Distância média até a Terra	$1,4959787 \times 10^{11} \text{ m}$
Raio	$6,955 \times 10^8 \text{ m}$ (109 vezes o raio da Terra)
Período de rotação	26,8 dias (equador) 28,2 dias (latitude $30^\circ$ ) 30,8 dias (latitude $60^\circ$ )
Constante Solar <sup>1</sup>	$1366 \text{ W/m}^2$
Velocidade de escape	$6,178 \times 10^5 \text{ m/s}$
Massa	$1,989 \times 10^{30} \text{ kg}$ (332946 vezes a massa da Terra)
Luminosidade	$3,85 \times 10^{26} \text{ W}$
Temperatura	$1,56 \times 10^7 \text{ K}$ (centro) 5780 K (fotosfera) $6 \times 10^3 - 2 \times 10^4 \text{ K}$ (cromosfera) $2 \times 10^6 - 3 \times 10^6 \text{ K}$ (coroa)
Composição Química	Hidrogênio –92,1% dos átomos (70,68% da massa) Hélio –7,8% dos átomos (27,43% da massa) Outros –0,1% dos átomos (1,89% da massa)
Pressão	$2,334 \times 10^{16} \text{ Pa}$ (centro) 10 Pa (fotosfera)

sua matéria na forma de plasma.

## 2.1 Fenômenos solares

O Sol, que é a estrela mais próxima da Terra, é formado por plasma, estado da matéria no qual o gás se encontra em estado ionizado e com a propriedade de neutralidade elétrica. Porém o plasma é altamente condutor, capaz de “carregar” linhas de campo magnético consigo, além de ser muito quente.

A velocidade de rotação não uniforme do Sol, mais rápida no equador e mais lenta nos pólos, faz com que as linhas do campo magnético sofram distorções, que acabam produzindo as chamadas regiões ativas, de onde se originam os eventos que são estudados neste trabalho. Elas são regiões da atmosfera solar mais quentes, densas e com intensos campos magnéticos, da ordem de centenas a milhares de Gauss, representados na forma de arcos (LANG, 2001). A figura 2.2 mostra um arco de campos magnético registrado em ultravioleta extremo pelo satélite TRACE.

<sup>1</sup> Sofre pequenas variações de até  $1 \text{ W/m}^2$  durante o ciclo solar.

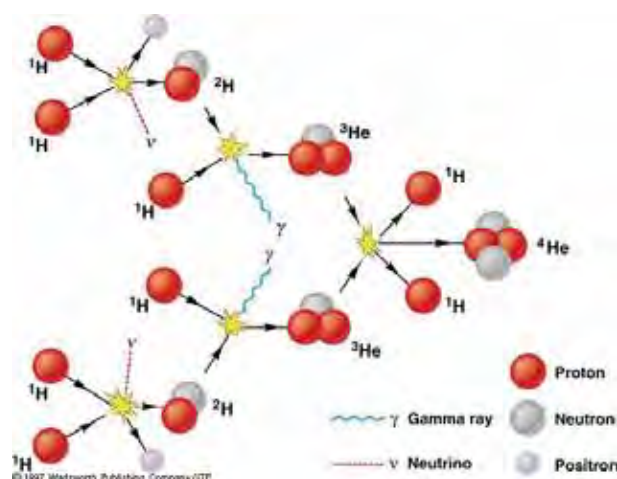


Figura 2.1: Representação da cadeia ppI, onde átomos de hidrogênio, formam um átomo de Hélio, além de pósitrons neutrinos e raios-gama. Fonte: internet<sup>2</sup>

A ocorrência dos fenômenos solares está condicionada ao ciclo solar que possui aproximadamente 11 anos. Existem diversos fenômenos cuja frequência e intensidade estão associados a este ciclo, como as manchas solares, granulações, fáculas, espículas, proeminências, entre outras. Dentre todos os fenômenos, os que mais interessam a este trabalho são os *flares* e as ejeções de massa coronal (CMEs), chamados de fenômenos energéticos.

As Ejeções de Massa Coronal (CME), são fenômenos de liberação de matéria ( $10^{13} - 10^{14}$  g) na forma de bolhas de gás gigantes, envoltas em linhas de campo magnético (Figura 2.3). As CMEs levam algumas horas para serem completamente expulsas do Sol, formando uma enorme erupção que se expande para o espaço exterior com velocidades que variam de 20 até 3300 de Km/s, com velocidade média de aproximadamente 400 Km/s.

A frequência de ocorrência das CMEs varia de acordo com o ciclo solar, ocorrendo em média 2-3 CMEs por dia nos períodos de máxima atividade solar, até um evento por semana nos períodos de mínima atividade. A maioria das CMEs produz uma onda de choque que percorre a distância do Sol até a Terra em cerca de dois dias. Algumas vezes estes eventos são capazes de quebrar o ritmo do vento solar e causar perturbações na Terra que são nocivas às atividades humanas.

*Flares* (Figura 2.4) são fenômenos de grande liberação de energia ( $10^{26} - 10^{32}$  erg) que ocorrem em regiões ativas existentes na atmosfera solar, podendo durar desde poucos segundos até algumas horas. O espectro destas explosões é amplo, variando desde ondas de rádio quilométricas até raios-X e raios-gama. Através de observações de satélites na banda dos raios-X, sabe-se que a liberação de energia para a produção destes fenômenos ocorre em alturas da at-

<sup>2</sup>Disponível em: [http://www.physics.fsu.edu/courses/fall198/ast1002/sun/media/s12\\_10.gif](http://www.physics.fsu.edu/courses/fall198/ast1002/sun/media/s12_10.gif) Acessado em 17/11/2011.



Figura 2.2: Arcos magnéticos solares, registrados em ultravioleta extremo pelo satélite TRACE. Fonte: internet<sup>3</sup>

mosfera solar cujas densidades correspondem à emissão rádio na faixa decimétrica. Assim, a espectroscopia rádio na banda decimétrica permite identificar a região de liberação de energia e sua altura aproximada.

As emissões de rádio do Sol são breves e energéticas. Durante o *flare*, a emissão rádio do Sol aumenta em até um milhão de vezes num intervalo que varia de poucos segundos a poucas horas para os fenômenos mais energéticos. Porém, ainda assim é bem menos energético que a emissão de raios-X. Essas emissões de rádio fornecem importantes informações sobre o magnetismo, densidade do plasma ambiente e energia do *flare* e também dão evidências da presença de elétrons relativísticos na região emissora.

O *flare* é dividido em três fases: pré-flare, impulsiva, e principal. A maioria dos *flares* tem essas três fases, mas alguns também podem passar por somente algumas dessas fases. A fase “pré-flare” é caracterizada por um aumento gradual no brilho da região, durando alguns minutos; a fase impulsiva dura menos de cinco minutos, porém a taxa de emissão de energia é muito alta; na fase principal, as emissões atingem a maior área e emissão de energia. A figura 2.5 compara as emissões em diferentes comprimentos de onda de acordo com o desenvolvimento do *flare*, além de representar a assinatura no espectro rádio de diferentes tipos de emissão dos *flares*.

As ondas de rádio emitidas pelo Sol são classificadas de acordo com mecanismo de emissão,

<sup>3</sup>Disponível em: [http://www.nasa.gov/vision/universe/solarsystem/solar\\_cycle\\_graphics.html](http://www.nasa.gov/vision/universe/solarsystem/solar_cycle_graphics.html) Acessado em 17/11/2011.

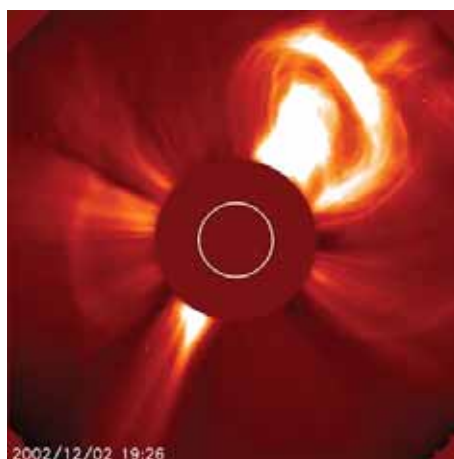


Figura 2.3: Foto de uma CME, o círculo branco mostra o contorno da superfície solar. Já o disco escuro mostra a região de cobertura do coronógrafo C2 do experimento LASCO à bordo do satélite SOHO. Esta foto foi obtida através da sonda SOHO da NASA no dia 2/12/2002. Fonte: internet <sup>4</sup>

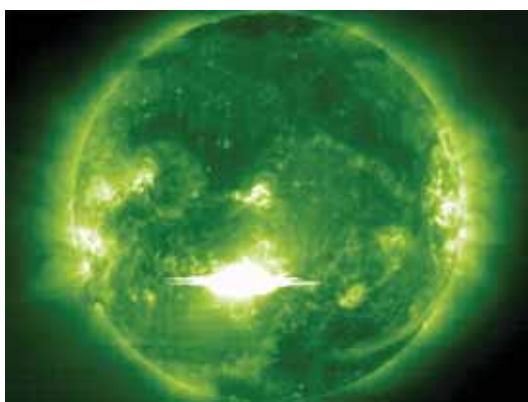


Figura 2.4: Fotografia em Ultravioleta extremo de um *flare*, localizado um pouco abaixo do centro do Sol. Este *flare* ocorreu no dia 28 de outubro de 2003 e foi fotografado pela sonda SOHO, um projeto em conjunto entre a NASA e a ESA. Fonte: internet <sup>5</sup>

que pode ser determinado pelo espectro apresentado. Nas explosões na faixa de microondas, a emissão rádio das emissões solares é devido a emissão girossíncrotron (resultado do aprisionamento de partículas energéticas em campos magnéticos intensos), enquanto que na banda métrica e decimétrica a emissão é gerada principalmente por mecanismos de emissão de plasma.

<sup>4</sup>Disponível em: <http://sohowww.nascom.nasa.gov/pickoftheweek/old/06mar2003/index.html> Acessado em 17/11/2011.

<sup>5</sup>Disponível em: [http://www.nasa.gov/multimedia/imagegallery/image\\_feature\\_92.html](http://www.nasa.gov/multimedia/imagegallery/image_feature_92.html) Acessado em 17/11/2011.

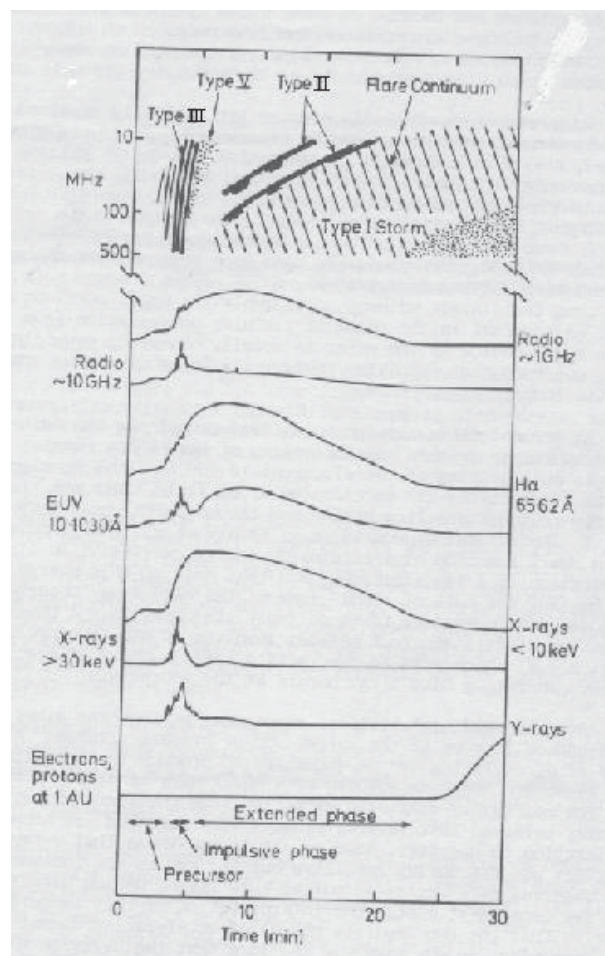


Figura 2.5: Emissões solares em vários comprimentos de onda, especialmente métricas e decimétricas, durante a ocorrência de um *flare* solar. (MCLEAN; LABRUM, 1985)

## 3 *Observações solares no INPE*

Sabe-se que os fenômenos solares, quando atingem a Terra podem causar vários efeitos no chamado clima espacial. Clima espacial refere-se às condições no Sol, vento solar, magnetosfera, ionosfera e termosfera que podem influenciar o desempenho de sistemas tecnológicos no espaço ou solo e podem pôr em perigo a vida e a saúde humanas e/ou causar grandes prejuízos (SCHWENN, 2006).

No INPE são feitas pesquisas pelo grupo de física do meio interplanetário sobre os fenômenos solares, particularmente os direcionados à Terra. Com o intuito de investigar alguns problemas fundamentais da fenomenologia de explosões solares na faixa de frequência decimétrica, foi criado um radiotelescópio varredor de frequência de banda larga (200-2500) MHz com alta resolução em tempo e em frequência, e alta sensibilidade utilizando uma antena de nove metros de diâmetro, que veio a ser chamado de Brazilian Solar Spectrocope (BSS), único em todo o hemisfério sul, operando diariamente desde 1996 das 11:00 até às 19:00 UT na sede do INPE em Cachoeira Paulista-SP.

Com o intuito de descrever, obter dados, modelar e tentar prever estes eventos foi criado o programa de clima espacial no INPE. Além do BSS, dados de satélites também fornecem informações para a pesquisa em física solar no INPE.

### 3.1 **O instrumento BSS**

Desde abril de 1998 até 2009 esteve em operação na sede do INPE (São José dos Campos -SP), o rádio-espectrógrafo chamado de BSS (Brazilian Solar Spectrocope), que foi desenvolvido pela linha de pesquisa de Física de Meio Interplanetário (FMI). Em 2009, o BSS foi transferido para a sede do INPE em Cachoeira Paulista-SP

Este instrumento foi concebido para fazer observações solares na faixa de ondas de rádio decimétricas (1000-2500 MHz), operando em conjunto com uma antena parabólica de 9m de diâmetro de montagem polar. O instrumento apresenta um alta sensibilidade de aproximada-

Tabela 3.1: Principais características do BSS

<b>Principais características do BSS.</b>	
Antena / Montagem	9 metros / polar
Alimentador	Log-periódico cruzado
Faixa de frequências	1000 - 2500 MHz.
Resolução temporal	10, 20, 50, 100, 200, 500, 1000 ms
Resolução espectral	1-10MHz.
Precisão tempo absoluta - relógio	< 0.1 ms - GPS Garmin 18x LVC
Sensibilidade	2-3 sfu
Número de canais	10 - 200
Visualização	Tempo quase-real
Campo de visada	Todo o disco solar (1.5°)
Intervalo de observações	11:30 - 18:30 UT
Conversor A/D (bits)	PCI 6010 - NI(16)
Amostragem (kSamples/s)	200
Software de aquisição de dados	Independente do processador
Cartão digital - sinal tempo UT	PCI 1588 -NI

mente 2 sfu (solar flux unit), e alta resolução temporal (10-1000 ms) e espectral (1-10MHz).

### **Principais aspectos operacionais**

- Visualização dos dados em tempo quase-real na forma de espectro dinâmico;
- Flexibilidade na escolha das resoluções temporal, espectral e da banda de frequências de observação, dependendo do tipo de fenômeno observado;
- Precisão de tempo absoluta (dezenas de microssegundos)

Os dados provenientes do analisador espectral, que faz a varredura do sinal na faixa de frequência e com as resoluções selecionadas, são digitalizados no microcomputador IBM-PC1. Um segundo microcomputador IBM-PC2 é responsável pela visualização e pelo armazenamento dos 200 Mbytes diários (aproximadamente) de dados gerados. A figura 3.1 mostra o espectrógrafo BSS e a tabela 3.1 suas configurações de funcionamento. Estes dados são gravados nos formatos “ASCII”, “FITS” e “esp”, sendo o último próprio do BSSView, software de aquisição, visualização e pré-processamento dos dados obtidos através do BSS.





Figura 3.1: Instrumento BSS, instalado na sede do INPE em Cachoeira Paulista - SP

## 3.2 Interative Data Language (IDL)

O IDL é uma linguagem que orientada a manipulação de matrizes com grande aceitação no meio astronômico. Ele também possui um grande número de técnicas de visualização e análise numérica. O IDL foi escolhido como plataforma para o desenvolvimento do BSSView por oferecer um conjunto de ferramentas específicas para visualização de dados científicos (FARIA, 1999).

O IDL se diferencia de linguagens como C ou Fortran por (GUMLEY, 2001):

1. Oferecer modos de programação interativo e por compilação (C e Fortran oferecem apenas o modo compilação).
2. Otimizar operações com vetores e matrizes, enquanto C e Fortran são otimizados para operar com escalares.
3. Criar e redefinir variáveis com novos tipos, tamanhos ou valores a qualquer momento (em C e Fortran, podem apenas ser redefinidos o tamanho e valor das variáveis).
4. Incluir rotinas para visualização, análise numérica e para a criação de interfaces gráficas para o usuário.

As ferramentas do IDL foram muito convenientes para o desenvolvimento deste trabalho, por possuir todas as ferramentas necessárias para o desenvolvimento do filtro, como ferramentas para tratamento e visualização de dados através de gráficos, interfaces para o usuário e o cálculo da transformada rápida de Fourier (FFT, definida na seção 4.1) de um conjunto de dados, embutidos em sua biblioteca de funções.



Figura 3.2: Exemplo de espectro dinâmico gerado através dos dados do BSS. Imagem gerada pelo BSS a partir da observação solar na faixa de frequência 1000-2000 MHz do dia 19/3/1999 com início as 15:11:58:747 UT e término as 15:31:56:325 UT

### 3.3 O software de aquisição, visualização e pré-processamento dos espectros dinâmicos e tratamento de dados de explosões solares —BSSView

Os dados gerados através do BSS são adquiridos e visualizados na forma de espectros dinâmicos (imagens que representam a intensidade da emissão rádio versus faixas de frequência versus tempo universal), como o da figura 3.2 e também tratados através do software BSSView. Este software foi desenvolvido para este propósito pelos membros da FMI (FARIA, 1999).

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 da banda instantânea;
- Separação em frequência entre duas estruturas adjacentes;
- Taxa de deriva em frequência (variação em frequência pelo tempo);
- Classificação do tipo espectral e determinação dos parâmetros espectrais.

O espectro dinâmico da radiação solar na banda de rádio fornece informações a respeito do tipo de fenômeno energético observado. Combinando estes dados com modelos de densidade da atmosfera solar, pode-se estimar a altura e a região de aceleração de partículas, o tipo de agente excitador, o comprimento de percurso e a velocidade do feixe de partículas na atmosfera solar (FARIA, 1999), o que pode ser medido através da taxa de deriva em frequência (razão do intervalo de variação em frequência pelo correspondente intervalo de tempo).

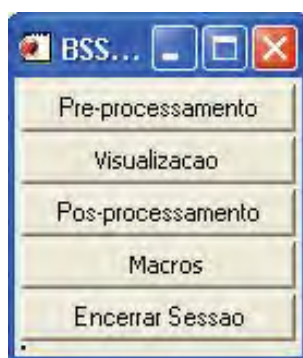


Figura 3.3: Menu inicial do BSSView

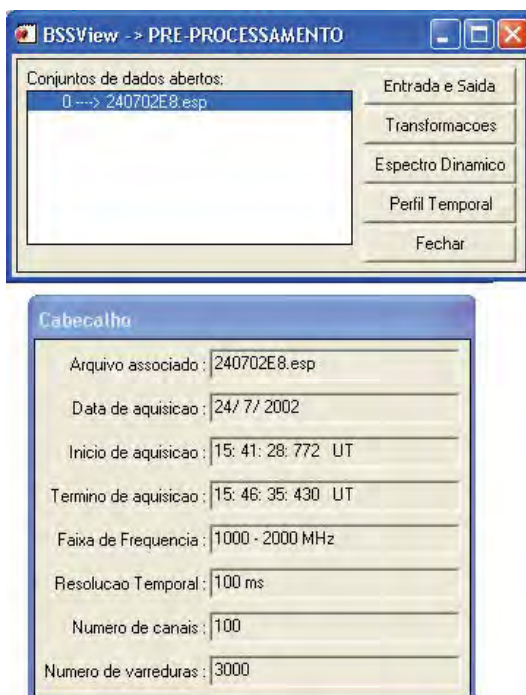


Figura 3.4: Menu de pré-processamento e o cabeçalho, quando carregado um conjunto de dados

### 3.3.1 Utilização do BSSView

O menu inicial do BSSView, mostrado na figura 3.3, contém 5 botões. O primeiro (Pre-processamento) abre o menu de pré-processamento e um cabeçalho, mostrados na figura 3.4. Este menu permite carregar e gravar conjuntos de dados nos formatos “.esp”, “.fits” e “.ASCII”, este processo é ilustrado na figura 3.5. Quando um conjunto de dados é carregado, suas características (Nome do arquivo; Data de aquisição; Horário de inicio; Horário de término; Faixas de frequência; Resolução temporal; Número de canais; Número de varreduras) são exibidas no cabeçalho. O quadro à esquerda no menu de pré-processamento permite permutar entre vários conjuntos de dados abertos.

O segundo botão do menu de pré-processamento, “Transformacoes”, abre o menu exibido

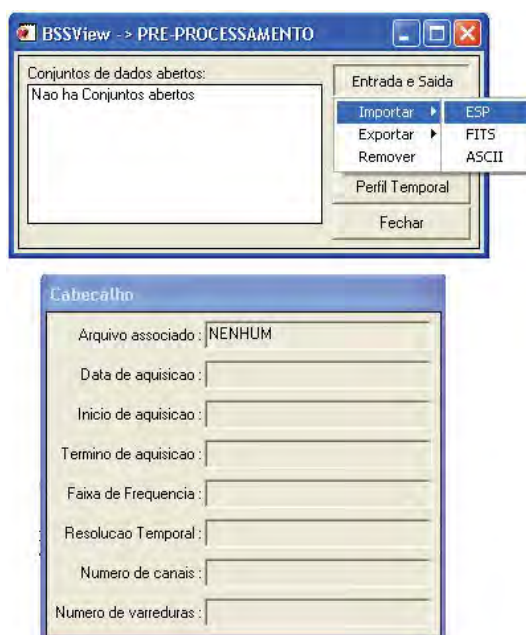


Figura 3.5: Menu de pré-processamento e o cabeçalho, exibindo o submenu “Entrada e Saida”



Figura 3.6: Menu “Transformacoes”

na figura 3.6. Através deste menu o usuário pode realizar operações como calibrar fluxo, subtrair *background*, integrar em tempo, integrar em canais, aplicar filtros e inverter a escala de cores. Ao selecionar a opção “Aplicar Filtros” é aberto um submenu, exibido na figura 3.7, que mostra os tipos de filtros disponíveis no BSSView, incluindo o filtro da transformada de Fourier que foi desenvolvido neste trabalho.

O terceiro botão do menu de pré-processamento, “Espectro Dinamico”, abre a janela de exibição de espectros dinamicos exibida na figura 3.8. O primeiro quadro desta janela exhibe o conjunto de dados na forma de uma imagem, onde sua altura representa as faixas de frequência da observação, seu comprimento representa o tempo e a intensidade da cor representa a intensidade do sinal captado. O segundo quadro desta janela mostra um *zoom* da imagem do primeiro quadro. A região da imagem que é exibida neste quadro é selecionada através do retângulo de



Figura 3.7: Menu “Transformacoes”, exibindo o submenu “Aplicar Filtros”

*zoom* do primeiro quadro. O retângulo de *zoom* é posicionado através do *mouse*. O botão “Operações” na parte de cima da janela abre um submenu onde é possível configurar o fator de *zoom*, a escala de cores, visualizar os dados de formas alternativas (imagem 2D, gráfico de superfície e isolinhas, ilustrados nas figuras 3.9, 3.10 e 3.11, respectivamente), extrair a imagem do quadro de *zoom*, criando um novo conjunto de dados, e, por último, acessar o menu “Transformacoes”, mostrado na figura 3.6.

Voltando ao menu de pré-processamento, o quarto botão, “Perfil temporal”, abre a interface mostrada na figura 3.12. Esta interface permite visualizar o conjunto de dados selecionando e através do menu “selecionar canais”(mostrado na figura 3.13) em “operacoes”, apenas as faixas de frequências desejadas, sendo possível aplicar *zoom* na série temporal.

Quanto aos demais botões do menu inicial do BSSView, exibido na figura 3.3, o botão “Visualizacão” permite visualizar um conjunto de dados já aberto na forma de espectro dinâmico e perfil temporal ou configurar a paleta de cores.

Através do botão macros o usuário faz a visualização dos dados em tempo real. Por fim, o botão “Encerrar sessao” fecha o BSSView e todos os conjuntos de dados.

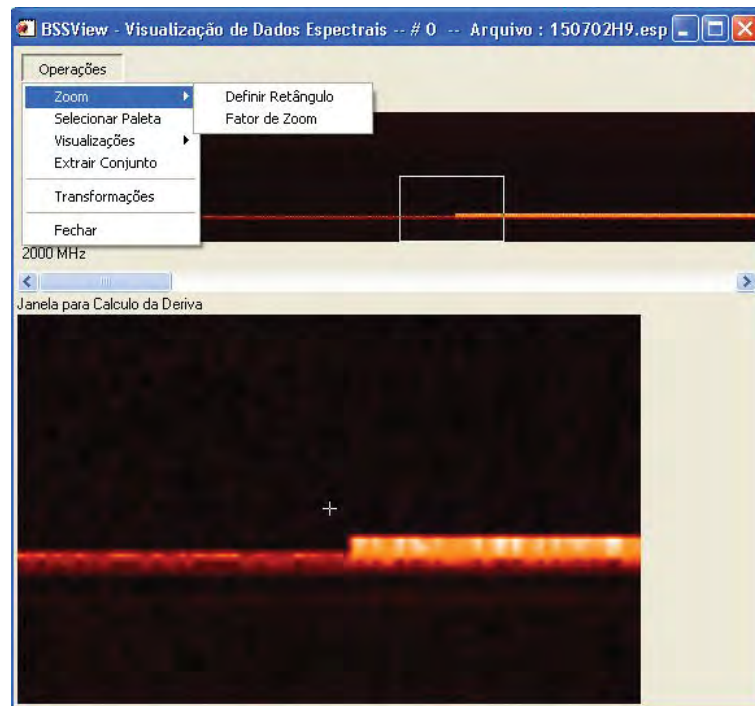


Figura 3.8: Janela de visualização de espectros dinâmicos

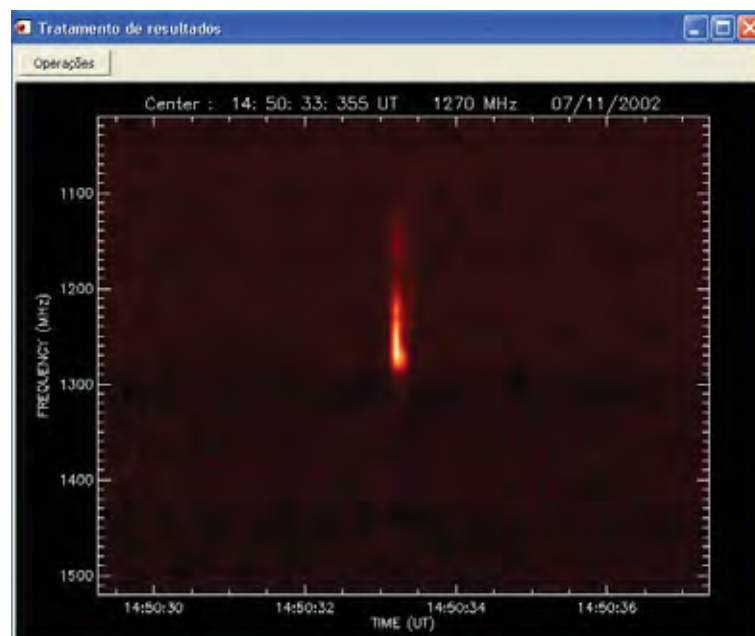


Figura 3.9: Visualização na forma de figura 2D

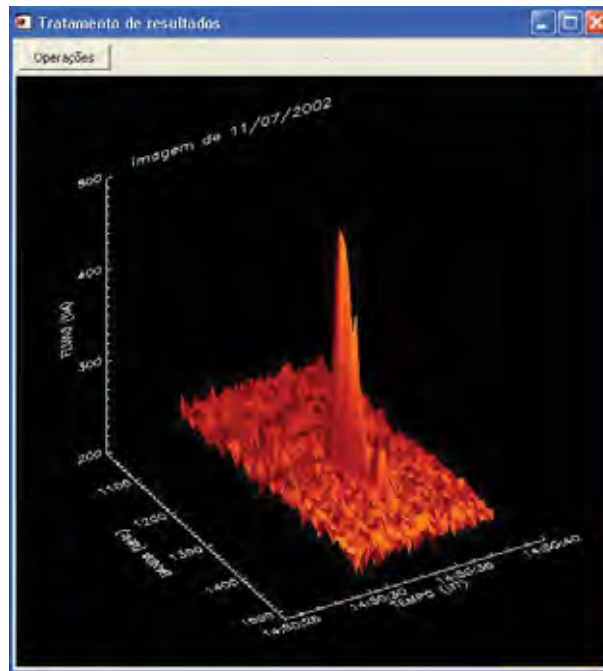


Figura 3.10: Visualização na forma de gráfico de superfície (xsurface)

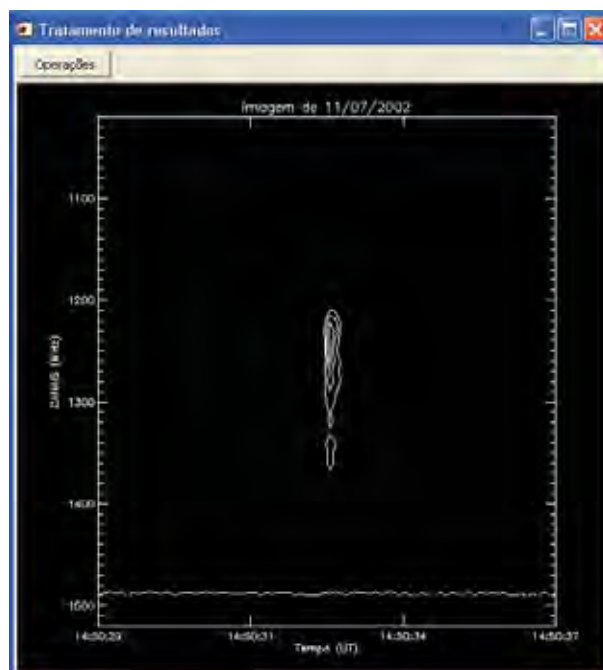


Figura 3.11: Visualização na forma de isolinhas

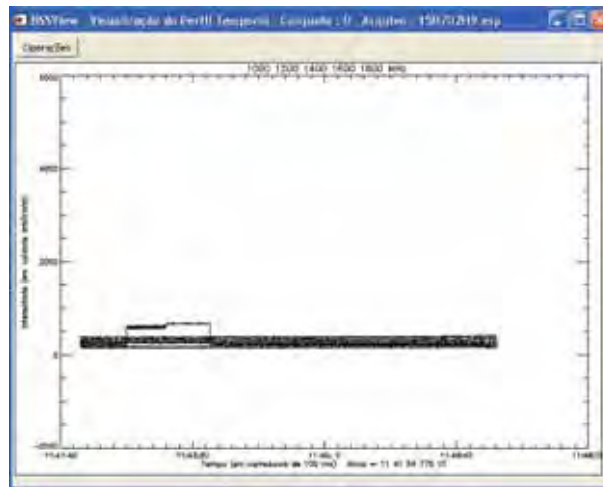


Figura 3.12: Interface da janela de visualização do perfil temporal

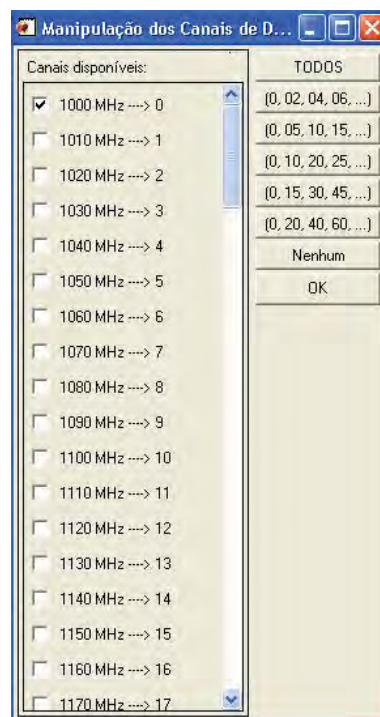


Figura 3.13: Interface da janela de seleção de canais para visualização na forma de perfil temporal



## 4 *Filtros lineares*

Um filtro linear é uma operação linear aplicada à um sinal de entrada com a intenção de reduzir efeitos associados à interferências.

Existem vários tipos de filtros lineares. Neste trabalho é usado o filtro convolução onde o sinal de entrada é decomposto no domínio das frequências, através da transformada de Fourier, e elimina-se as frequências indesejadas fazendo o produto entre as funções  $\mathcal{F}(\omega)$  e  $H(\omega)$ , sendo que a primeira é a Transformada de Fourier do sinal de entrada, e a segunda é uma função que determina as características da filtragem. Segundo Morettin e Toloí (2006), os tipos de filtro mais comuns são:

- Filtro passa-alta, que tem a característica de deixa passar apenas componentes com frequências acima de uma determinada frequência selecionada e elimina (ou atenua) componentes com frequências abaixo desta. Neste caso,  $H(\omega)$  é dada como:

$$H(\omega) = \begin{cases} 1, & \text{se } |\omega| \geq \omega_0, \\ 0, & \text{se } |\omega| < \omega_0. \end{cases}$$

- Filtro passa-baixo, que atenua componentes com frequências acima de uma determinada frequência selecionada e deixa passar apenas componentes com frequências abaixo desta.

$$H(\omega) = \begin{cases} 1, & \text{se } |\omega| \leq \omega_1, \\ 0, & \text{se } |\omega| > \omega_1. \end{cases}$$

- O filtro passa-banda reúne, ao mesmo tempo, as características dos filtros passa-alta e passa-baixo.

$$H(\omega) = \begin{cases} 1, & \text{se } \omega_0 \leq |\omega| \leq \omega_1, \\ 0, & \text{caso contrário.} \end{cases}$$

- O filtro rejeita-banda é o oposto do filtro passa-banda. Neste filtro as frequências seleti-

onadas dentro do intervalo  $[\omega_0; \omega_1]$  são eliminadas.

$$H(\omega) = \begin{cases} 0, & \text{se } \omega_0 \leq |\omega| \leq \omega_1, \\ 1, & \text{caso contrário.} \end{cases}$$

## 4.1 A transformada de Fourier

Sinais de rádio têm a forma de senoides. Nesses casos a informação chave está na frequência, fase e amplitude das componentes senoidais, que não são obtidas através do domínio do tempo.

Para obter tais informações é necessário converter os dados do domínio do tempo para o domínio das frequências. Para isso é usada a Transformada de Fourier (equação 4.1) em um conjunto de dados, obtendo o espectro de frequências  $\mathcal{F}(\omega)$  do sinal analítico  $f(t)$

$$\mathcal{F}(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)e^{-2\pi i\omega t} dt \quad (4.1)$$

onde  $t$  representa o domínio original (no caso tempo) e  $\omega$  a frequência.

Para recuperar os dados no domínio das frequências para o domínio do tempo é usada a Transformada inversa de Fourier, dada pela equação 4.2.

$$\mathcal{F}^{-1}(\mathcal{F}(\omega)) = f(t) = \int_{-\infty}^{\infty} \mathcal{F}(\omega)e^{2\pi i\omega t} d\omega \quad (4.2)$$

As equações 4.1 e 4.2 descrevem casos onde são transformadas funções contínuas. Como a coleta de dados do BSS é através de uma amostragem discreta é usada a Transformada Discreta de Fourier <sup>6</sup>, definida segundo Bracewell (1999) como:

Seja a sequência  $x_p = \{x_0, x_1, \dots, x_p, \dots, x_{N-1}\}$  com  $N$  termos, sua transformada de Fourier discreta é dada pela sequência  $X_k = \{X_0, X_1, \dots, X_k, \dots, X_{N-1}\}$ , calculada através da equação 4.3.

$$X_k = \frac{1}{N} \sum_{p=0}^{N-1} x_p e^{-2\pi i \frac{k}{N} p} \quad (4.3)$$

Sua forma inversa é dada na equação 4.4.

$$x_p = \sum_{k=0}^{N-1} X_k e^{2\pi i \frac{k}{N} p} \quad (4.4)$$

<sup>6</sup>Conhecida como DFT, do inglês, Discrete Fourier Transform

Computacionalmente, o cálculo da DFT pode se tornar inviável dependendo número de elementos que devem ser calculados. Como alternativa, foram desenvolvidos algoritmos designados como FFTs que conseguem reduzir drasticamente o número de operações necessárias para calcular a DFT.

### 4.1.1 Transformada rápida de Fourier (FFT)

A Transformada rápida de Fourier (FFT<sup>7</sup>) é um algoritmo criado por Cooley e Tukey (1965). Ele tem como objetivo calcular a DFT de um conjunto de dados com um menor tempo computacional (da ordem de  $N^2$  operações no caso do método tradicional para a ordem de  $N \log_2 N$  operações (BRIGHAM; MORROW, 1967)). O gráfico da figura 4.1 ilustra a diferença entre o número de operações necessárias em cada método.

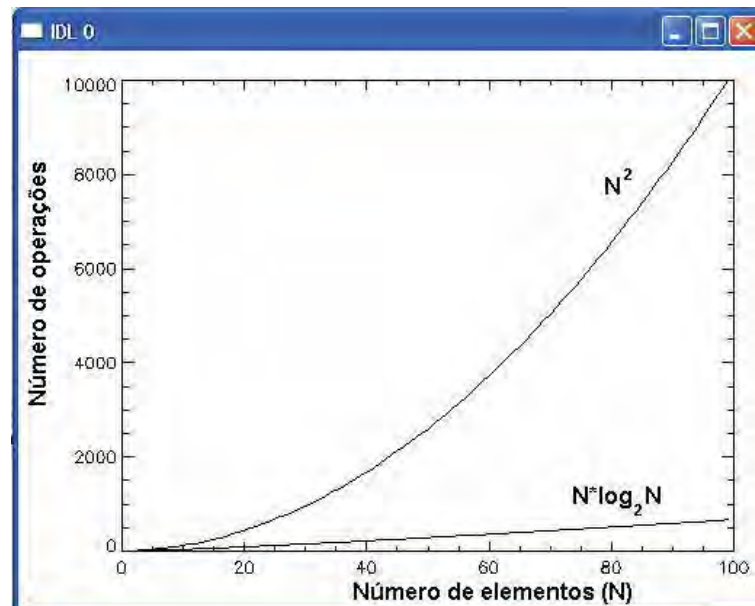


Figura 4.1: Comparativo entre o número de operações necessárias para realizar uma DFT tradicional ( $N^2$ ) e uma FFT ( $N \log_2 N$ ) para  $N$  até 100.

Devido ao fato de calcular a DFT em um menor intervalo computacional, é usado neste trabalho um algoritmo de FFT para o cálculo tanto da transformada de Fourier, quanto da sua forma inversa.

<sup>7</sup>Do inglês: Fast Fourier Transform

## 5 *A Ferramenta “Filtro Fourier”*

A ferramenta desenvolvida neste trabalho tem como objetivo filtrar as componentes de interferência dos espectros dinâmicos visualizados pelo BSSView. A filtragem é feita através do método do filtro da transformada Fourier, onde a filtragem dos dados ocorre no domínio das frequências obtido através da transformada de Fourier. Ao aplicar a transformada inversa de Fourier nesse conjunto de dados obtém-se o conjunto de dados livre de interferências.

A ferramenta permite que o usuário visualize o espectro de Fourier da imagem e selecione as componentes a serem eliminadas/minimizadas. As componentes são selecionadas para a aplicação de um filtro rejeita-banda neste espectro através dos sliders. O intervalo designado  $[S_1 : S_2]$ , onde  $S_1$  e  $S_2$  representam respectivamente os valores do primeiro e segundo slider, representa os elementos do espectro de Fourier da matriz de dados que terão seus dados filtrados.

Por fim, é feita a transformada inversa de Fourier (FFT inversa), retornando a imagem com suas interferências eliminadas (ou atenuadas). Caso o resultado seja satisfatório, utiliza-se os botões “rem diffdata in/out” para separar a interferência do erro aritmético, e soma-lo de volta ao espectro filtrado através do botão “Add”, gerando um novo conjunto de dados sem interferência. O diagrama da figura 5.1 esquematiza o processo utilizado.

### 5.1 **Desenvolvimento da ferramenta**

Para tornar o uso da ferramenta mais prático ao usuário, ela foi criada de modo a permitir que o usuário realize a filtragem, avalie os resultados obtidos, e caso não esteja satisfeito, reinicie o processo. Para que possa ser feita a avaliação dos resultados, a ferramenta foi desenvolvida de modo que possua 3 quadros: um para mostrar o espectro dinâmico original, o segundo exibe o espectro filtrado e o terceiro que mostra a diferença entre os espectros anteriores, permitindo a avaliação do resultado final.

O diagrama da figura 5.1 ilustra o processo de filtragem utilizado. Inicialmente, obtém-se as componentes do espectro de Fourier realizando a FFT da matriz de dados e então seleciona-

se um intervalo, designado  $[S_1 : S_2]$  através dos sliders. Em seguida aplica-se o filtro sobre as componentes de Fourier para então calcular a FFT inversa do espectro de Fourier filtrado, obtendo uma nova matriz de dados com as interferências eliminadas (ou minimizadas) Realiza-se uma avaliação dos dados, em caso de reprovação, reinicia-se o processo, e em caso de aprovação, a ferramenta separa os dados filtrados dos dados removidos. Caso a filtragem remova componentes do espectro que não deveriam ser removidos o usuário pode separar estas componentes que não deveriam ter sido subtraídas e soma-las ao espectro filtrado. Por fim, com a nova matriz de dados sem interferências, a ferramenta cria um novo espectro dinâmico com melhor visualização e permite ao usuário salvá-lo no formato “.esp”.

A arquitetura da ferramenta desenvolvida consiste em uma interface gráfica para o usuário<sup>8</sup> que possui 18 botões, duas barras de rolagem (sliders) e três quadros. Para criar esta interface foi necessário criar uma `widget_base`<sup>9</sup>(que seria o fundo da interface), que recebe as demais widgets sobre ela (3 quadros, 2 sliders e 18 botões).

Através de um comando “case”, sempre que o usuário selecionar algum botão ou slider o programa executará os comandos correspondentes. A existencia de duas rotinas (denominadas `Fourier` e `Fourier_event`) se deve ao fato das widgets não detectarem automaticamente se são ativadas ou não, para isso é necessário o comando `XManager`, que identifica as widgets que são ativadas e chama um outro programa (no caso, `Fourier_event`), o qual recebe a informação sobre qual foi a widget ativada, e enfim executar os comandos referentes ao botão acionado, ou no caso dos sliders, atualizar o seu valor.

## 5.2 Interface da ferramenta

A interface da ferramenta, mostrada na figura 5.2, permite comparar o resultado obtido após a filtragem com a imagem original através de seus 3 quadros, denominados “A”, “B” e “C”, onde o primeiro (A) exibe a imagem original; o segundo (B), a imagem filtrada; e no terceiro (C) é exibida a diferença das imagens dos quadros anteriores.

A ferramenta também permite ao usuário salvar os dados no formato “.esp”(próprio do `BSSView`) e carregar dados já salvos. Também foi introduzido um artifício que permite ao usuário somar de volta ao espectro filtrado as componentes que foram, mas que não deveriam ter sido, eliminadas no processo de filtragem.

<sup>8</sup>Também conhecida como GUI, uma sigla em inglês que significa “Graphical User Interface”.

<sup>9</sup>widgets são as componentes da GUI

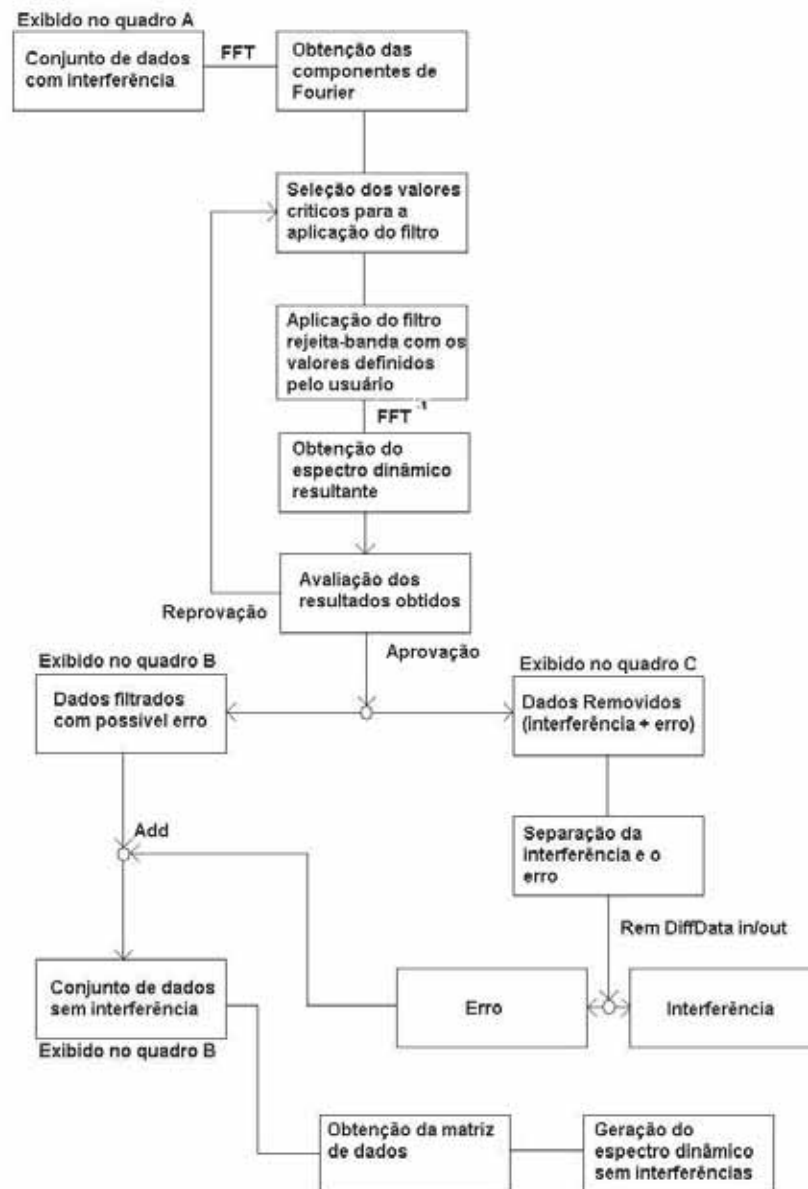


Figura 5.1: Representação dos passos utilizados no processo de filtragem

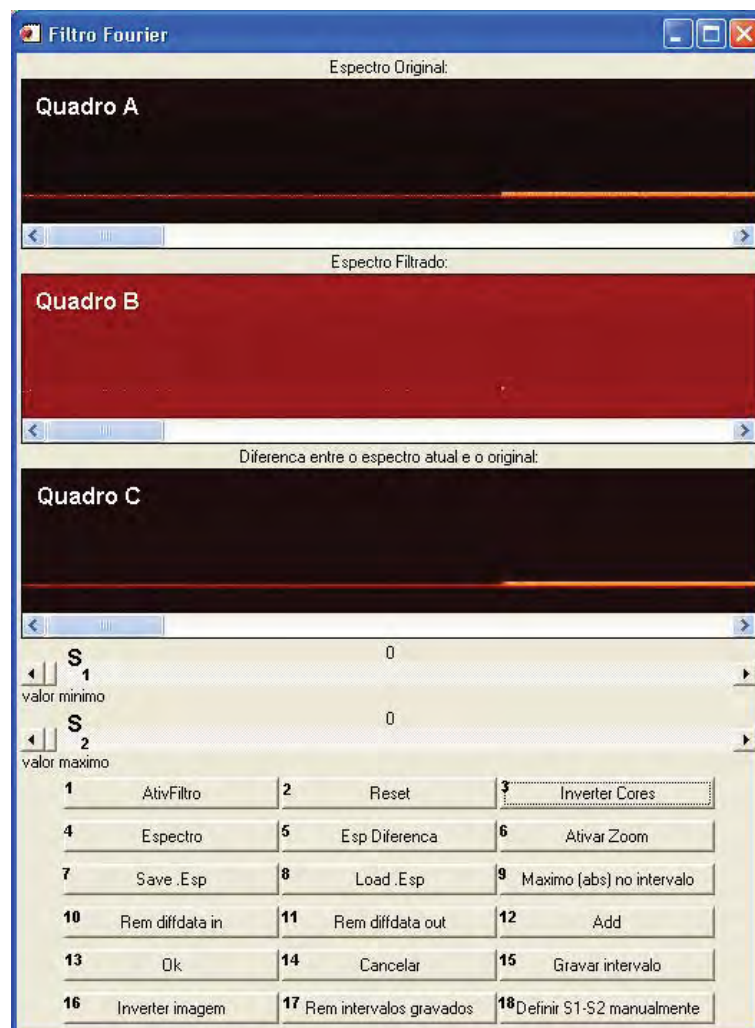


Figura 5.2: Interface da Ferramenta, com numerações nos botões, quadros e sliders

### 5.2.1 Desenvolvimento dos botões

Cada botão da ferramenta, ao ser ativado, altera o valor da variável “widget” para um valor próprio (uvalue). Através de um comando case, o IDL reconhece qual foi o botão acionado, realizando as funções descritas anteriormente.

A rotina `Fourier_event` trabalha com 4 blocos de variáveis globais: `Common_Area`, `FourierBase`, `sl` e `sl2`. O primeiro traz a variável “(\*DATASETS.current).matrix” que é a matriz de dados, carregada pelo usuário, que forma o espectro dinâmico; o segundo guarda a estrutura “info”, declarada na rotina “Fourier”, que é responsável por armazenar os valores que são utilizados na rotina; e por último, os blocos “sl” e “sl2” são usados para armazenar os valores dos sliders.

Individualmente, os botões foram desenvolvidos da seguinte forma:

- **AtivFiltro:** Monta o filtro que será aplicado no conjunto de dados e salva na variável “info.mask”; após isso encontra os canais adjacentes à interferência e calcula-se a média de seus elementos, gravando na variável “meandata”. Esta média é subtraída de todos os elementos. Esta subtração é feita para que ao realizar a filtragem, os valores eliminados pelo filtro sejam suavizados em relação ao resto da imagem. Feito isso, é realizado o filtro da transformada de Fourier e é somado de volta o valor subtraído. o espectro resultante é exibido no quadro B através do comando `tvscf`, assim como a diferença entre o espectro original e filtrado (variável `diff`) é exibido no quadro C.
- **Reset:** Apaga o conteúdo dos quadros B e C através do comando `erase` e atribui o valor da matriz de dados original (`(*datasets.current).matrix`) à variável “info.dataset”.
- **Inverter cores:** Realiza a operação dada na equação 5.1 nas matrizes de dados dos quadros A e B, exibindo as imagens resultantes em seus respectivos quadros.

$$Q_f = 4095 - Q_i, \quad (5.1)$$

sendo  $Q_i$  e  $Q_f$  o valor atual do quadro e o valor a ser retornado em cada quadro respectivamente.

- **Espectro:** Faz a subtração da média dos dados, realiza a FFT e exibe o resultado na forma de gráfico através do comando `plot`.
- **Esp Diferenca:** Calcula a diferença entre o espectro original e o filtrado (`(*datasets.current).matrix` e `info.dataset`, respectivamente) e a exibe na forma de gráfico através do comando `plot`.
- **Ativar Zoom:** Chama a rotina `zoomxy`<sup>10</sup> onde o usuário seleciona com o *mouse* uma região do espectro de Fourier através de um retângulo. Com os dados sobre a região de zoom, é usado o comando `plot` para exibir apenas este intervalo.
- **Save .esp:** Atribui o valor da variável `info.dataset` para “`(*datasets.current).matrix`”. Então chama a rotina “WriteExp”, desenvolvida por Faria (1999), que salva a matriz de dados “`(*datasets.current).matrix`” em um arquivo “.esp”.
- **Load .esp:** Atribui o valor da variável “`(*datasets.current).matrix`” para “`olddata`”. Então chama a rotina “readimport”, desenvolvida por Faria (1999), que carrega a matriz de dados “`(*datasets.current).matrix`” a partir de um arquivo “.esp”. Por fim, atribui

<sup>10</sup>Disponível em [http://idlastro.gsfc.nasa.gov/ftp/pro/tv/zoom\\_xy.pro](http://idlastro.gsfc.nasa.gov/ftp/pro/tv/zoom_xy.pro)



o valor de “(\*datasets.current).matrix” para “info.dataset” e de “olddata” para “(\*datasets.current).matrix”.

- Maximo (abs) no intervalo: Lê o valor dos sliders e iguala a zero todos os elementos do espectro de Fourier que estão fora do intervalo  $[S_1 : S_2]$ , e através de um comando if dentro de um laço for, procura o maior valor na matriz de dados, exibindo no prompt do IDL através do comando print.
- Rem DiffData in: Obtem a diferença entre as matrizes dos quadros A e B, atribuí o valor 0 em todos os elementos dentro dos intervalos  $[0 : S_1]$  e  $[S_2 : n]$ , sendo n o último termo da matriz de dados. Por fim, este resultado é salvo na variável “info.rmdiff”.
- Rem DiffData out: Obtem a diferença entre as matrizes dos quadros A e B, atribuí o valor 0 em todos os elementos dentro do intervalo  $[S_1 : S_2]$ . Por fim, este resultado é salvo na variável “info.rmdiff”.
- Add: Soma o valor da variável “info.rmdiff” em “info.dataset”.
- Ok: Atribuí o valor da variável “info.dataset” à variável “(\*datasets.current).matrix”. Fecha a ferramenta “Filtro Fourier” e chama a janela de visualização de espectros dinâmicos do BSSView (vis2d).
- Cancelar: Encerra a ferramenta “filtro Fourier” através do comando `widget_control, ev.top, /destroy`.
- Gravar intervalo: Atribuí o valor 0 para todos os valores do intervalo  $[S_1 : S_2]$  da variável “info.mask”, usada para montar o filtro.
- Inverter Imagem: Aplica uma rotação, que inverte verticalmente a matriz de dados salva na variável “info.dataset”.
- Rem intervalos gravados: Atribuí o valor 1 para todos os elementos da variável “info.mask”.
- Definir S1 e S2 pelo teclado: Chama a rotina `Dialog_input`<sup>11</sup>, esta rotina cria uma caixa de diálogo onde o usuário pode entrar com dois valores, que são atribuídos as variáveis “dim(0)” e “dim(1)”. Obtidos estes valores, checka-se caso algum destes supere o tamanho do slider (“slidermax”), através de um comando if. Caso supere, este valor é igualado ao valor de “slidermax”, e enfim, através do comando `widget_control`, os sliders tomam os valores obtidos.

<sup>11</sup>Disponível em [http://www.astro.washington.edu/docs/idl/cgi-bin/getpro/library25.html?DIALOG\\_INPUT](http://www.astro.washington.edu/docs/idl/cgi-bin/getpro/library25.html?DIALOG_INPUT)

Para melhor análise, o apêndice A contém o código da rotina desenvolvida.

## 5.3 Descrição dos botões

Os botões da ferramenta, numerados de acordo com a figura 5.2 tem as respectivas funções:

- **Botão 1 - AtivFiltro:** Inicializa o filtro da transformada de Fourier.
- **Botão 2 - Reset:** Retorna o valor do espectro original (Quadro A) para o Quadro B.
- **Botão 3 - Inverter Cores:** Inverte a escala de cor de todos os quadros.
- **Botão 4 - Espectro:** Exibe em uma nova janela do IDL contendo o espectro de Fourier da imagem do Quadro B.
- **Botão 5 - Esp Diferenca:** Exibe em uma nova janela do IDL a diferença entre os espectros do Quadro A e B.

*Aplicação: Usado para visualizar a diferença entre as imagens do Quadro A e B em forma de gráfico, com o intuito de localizar componentes que não deviam ter sido subtraídas.*

- **Botão 6 - Ativar Zoom:** Deve ser usado em conjunto com o botão 4 - “Espectro”. O botão “Ativar Zoom” permite que o usuário selecione um intervalo dentro da janela gerada pelo botão “Espectro” através do mouse. Os dados selecionados serão exibidos na mesma janela do IDL.

*Observação: Deve ser utilizado o botão “Ativar Zoom” toda vez que o usuário for realizar o Zoom. Para remover o Zoom e exibir o espectro de Fourier de toda a imagem, deve ser usado o botão 4- “Espectro”.*

- **Botão 7 - Save .Esp:** Salva a imagem do Quadro B como arquivo no formato “.esp”, e retorna a imagem salva para o Quadro A.
- **Botão 8 - Load .Esp:** Carrega uma imagem gravada em um arquivo “.esp” para o Quadro B. A imagem carregada é invertida verticalmente em relação a imagem originalmente salva. Para compará-la com a imagem do Quadro A, é ideal invertê-la verticalmente, para isso, consulte o botão 16 - “Inverter imagem”.
- **Botão 9 - Maximo (abs) no intervalo:** Exibe no prompt do IDL o valor do pico das componentes do espectro de Fourier no intervalo  $[S_1 : S_2]$ .

- **Botão 10 - Rem diffdata in:** Seleciona os dados dentro do intervalo  $[S_1 : S_2]$  da imagem do Quadro C, e os exibe em uma nova janela.  
*Observação:* Não faz múltiplas seleções.  
*Aplicação:* Usado para selecionar dados, que não deveriam ter sido subtraídos, entre duas regiões de interferência<sup>12</sup>, com o intuito de somá-los novamente à imagem filtrada com o botão “Add”.
- **Botão 11 - Rem diffdata out:** Seleciona os dados fora do intervalo  $[S_1 : S_2]$  da imagem do Quadro C, e os exibe em uma nova janela.  
*Observação:* Não faz múltiplas seleções.  
*Aplicação:* Usado para selecionar dados, que não deveriam ter sido subtraídos, fora das regiões de interferência, com o intuito de somá-los novamente à imagem filtrada com o botão “Add”.
- **Botão 12 - Add:** Soma os dados selecionados pelo botão 10 ou 11 (o último que foi ativado) na imagem do Quadro B.
- **Botão 13 - Ok:** Fecha a ferramenta “Filtro Fourier”, retornando a imagem do Quadro B para a janela do espectro dinâmicos original do BSSView.
- **Botão 14 - Cancelar:** Fecha a ferramenta “Filtro Fourier”, retornando o valor do Quadro A para a janela de análise de espectros dinâmicos do BSSview.
- **Botão 15 - Gravar intervalo:** Grava o intervalo  $[S_1 : S_2]$  atual. O botão 1 - “AtivFiltro”, além de realizar a filtragem no intervalo  $[S_1 : S_2]$  atual, ele inclui na filtragem todos os intervalos que foram gravados anteriormente com este botão.  
  
Para apagar o conjunto de intervalos salvos, consultar botão 17 - “Rem intervalos gravados”.  
*Aplicação:* Deseja-se realizar a filtragem de 3 intervalos (denotados  $[A_1 : A_2]$ ,  $[B_1 : B_2]$ ,  $[C_1 : C_2]$ ) simultaneamente. Primeiramente delimite o intervalo  $[S_1 : S_2]$  com  $S_1 = A_1$  e  $S_2 = A_2$ , depois grave este intervalo com o botão “Gravar intervalo”, faça um processo análogo para o intervalo  $[B_1 : B_2]$ . Delimite o intervalo  $[C_1 : C_2]$  e clique em “AtivFiltro”. Após a filtragem, os intervalos  $[A_1 : A_2]$  e  $[B_1 : B_2]$  continuarão gravados. Para realizar novas filtragens sem estes intervalos use o botão “Rem intervalos gravados”.
- **Botão 16 - Inverter imagem:** Inverte a imagem do Quadro B verticalmente.

<sup>12</sup>Neste texto, são denominadas regiões de interferência as componentes da imagem do quadro C que correspondem às linhas de interferência. O espectro das componentes do quadro C pode ser visualizado através do botão 5 - “Esp Diferença”.

- **Botão 17 - Rem intervalos gravados:** Apaga todos os intervalos gravados através do botão 15 - “Gravar intervalo”.
- **Botão 18 - Definir S1-S2 pelo teclado:** Abre uma caixa de diálogo onde o usuário pode digitar os valores do intervalo  $[S_1 : S_2]$ .

## 5.4 Resultados obtidos

Após a realização da filtragem de alguns espectros dinâmicos obtidos pelo BSS, obteve-se os resultados mostrados nas figuras 5.3, 5.4, 5.5, 5.6 e 5.7.

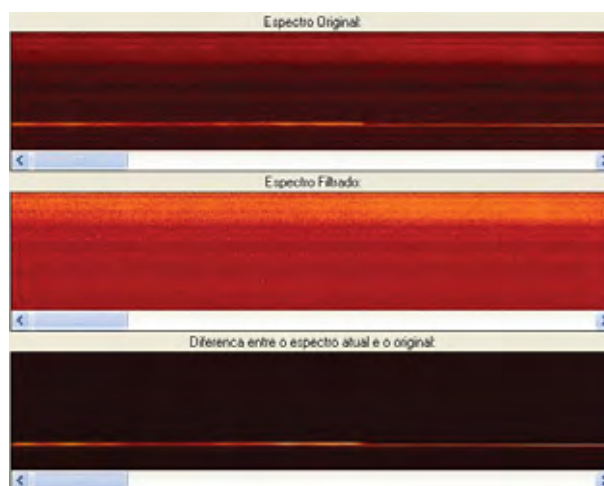


Figura 5.3: Imagem gerada pelo BSS a partir da observação Solar na faixa de frequência 1000 – 2000 MHz do dia 19/7/2002 com início as 16:16:7:262 UT e término as 16:21:14:140 UT



Figura 5.4: Imagem gerada pelo BSS a partir da observação Solar na faixa de frequência 1000 – 2000 MHz do dia 30/7/2002 com início as 17:37:56:2 UT e término as 17:43:2:550 UT

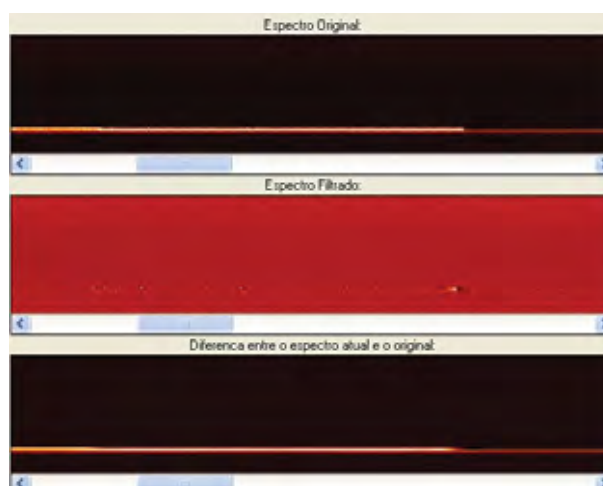


Figura 5.5: Imagem gerada pelo BSS a partir da observação Solar na faixa de frequência 1000 – 2000 MHz do dia 15/7/2002 com início as 11:41:54:775 UT e término as 11:47:10:490 UT



Figura 5.6: Imagem gerada pelo BSS a partir da observação Solar na faixa de frequência 1000 – 2000 MHz do dia 15/7/2002 com início as 11:47:11:744 UT e término as 11:52:26:420 UT



Figura 5.7: Imagem gerada pelo BSS a partir da observação Solar na faixa de frequência 1000 – 2000 MHz do dia 11/7/2002 com início as 14:47:30:362 UT e término as 14:52:37:570 UT

## 6 *Considerações finais*

A ferramenta desenvolvida conseguiu atender as necessidades existentes em filtrar os sinais de interferência existentes nos espectros dinâmicos solares registrados pelo instrumento BSS. Com esta ferramenta, os pesquisadores do INPE podem obter melhor contraste na visualização das estruturas de fenômenos solares registrados pelos espectros dinâmicos.

A arquitetura da ferramenta consiste em separar todas as tarefas referentes a filtragem e dividi-las em tarefas menores que podem ser acionadas pelo usuário através da interface de botões desenvolvida. Além de filtrar, o usuário pode visualizar informações sobre o espectro resultante que ele obteve através das filtragens, como a diferença entre este espectro e o original.

## *Referências Bibliográficas*

BRACEWELL, R. *The Fourier Transform & it's Applications*. [S.l.]: McGraw Hill Science/Engineering/Math, 1999.

BRIGHAM, E.; MORROW, R. The fast fourier transform. *IEEE spectrum*, 1967.

COOLEY, J. W.; TUKEY, J. W. An algorithm for the machine calculation of complex fourier series. *Math. Comp.* 19, 1965.

FARIA, C. *Um sistema para tratamento e visualização de dados astronômicos espectrais*. Dissertação (Mestrado) — Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1999.

GUMLEY, L. E. *Practical IDL Programming*. [S.l.]: Morgan Kauffmann Publishers, 2001.

LANG, K. R. *The Cambridge Encyclopedia of the Sun*. [S.l.]: Cambridge University Press, 2001.

MCLEAN, D.; LABRUM, N. *Solar Radiophysics*. [S.l.]: Cambridge University Press, 1985.

MORETTIN, P. A.; TOLOI, C. M. C. *Analise de Séries Temporais*. [S.l.]: Edgard Blucher, 2006.

RESEARCH SYSTEMS. *IDL Reference Guide*. [S.l.], September 2000.

SCHWENN, R. Space weather: The solar perspective. *Living reviews in solar physics*, 2006.

## *APÊNDICE A – Código da rotina desenvolvida*

```

;Evento da Widget FourierBase
pro Fourier_event, ev

common Common_area
common FourierBase
common sl
common sl2

;identificacao da widget acionada
widget_control, ev.id, get_uvalue = widget
case widget of

'SAVE':begin
(*DATASETS.current).matrix = info.dataset
WriteExp,'*.ESP'
Wset, info.box1
  erase, 0
  tvscl, (*DATASETS.current).matrix
end

'OK': begin
(*DATASETS.current).matrix = info.dataset
widget_control, ev.top, /DESTROY
vis2d
end

```



```
'CANCELAR': begin
widget_control, ev.top, /DESTROY
end

'SAVEINT': begin
if double(info.slider) lt double(info.slider2) then begin
    info.mask[info.slider:info.slider2]=0
    print, 'Intervalo salvo:'
    print, info.slider, info.slider2
endif
end

'REMINT': begin
datasize = size(info.dataset, /dimensions)
x_size = datasize[0]
y_size = datasize[1]
info.mask= intarr(x_size*y_size)+1
print, 'Os intervalos salvos foram removidos'
end

'ATIVFILTRO': begin
if double(info.slider) lt double(info.slider2) then begin
    a = float(info.slider)
    b = float(info.slider2)

    datasize = size(info.dataset, /dimensions)
    x_size = datasize[0]
    y_size = datasize[1]
    n=(x_size*y_size)-1
```

```
info.mask[info.slider:info.slider2]=0
i = max(where(info.mask eq 0, count))
for j=0,y_size,1 do begin
    if (i ge j*x_size)and(i lt (j+1)*x_size) then begin
        b_channel = j+1
    endif
endfor

i = min(where(info.mask eq 0, count))
for j=0,y_size,1 do begin
    if (i ge j*x_size)and(i lt (j+1)*x_size) then begin
        a_channel = j-1
    endif
endfor

meandata = (mean(info.dataset[* ,a_channel]) $
    + mean(info.dataset[* ,b_channel]))/2
info.dataset = info.dataset - meandata

fft2 = fft(info.dataset, dimension = 1, /double)
fft2[info.slider:info.slider2]=0
fft2 = fft2*info.mask

info.dataset = fft(fft2, dimension =1,/double, /inverse)
info.dataset = info.dataset + meandata

diff = (*DATASETS.current).matrix - info.dataset
    window, 2
    plot, diff

Wset, info.box2
    erase, 0
    tvscl, info.dataset

Wset, info.box3
```

```
        erase, 0
        tvscl, diff
    endif
end

'RESET': begin
Wset, info.box2
    erase, 0

Wset, info.box3
    erase, 0

info.dataset = (*DATASETS.current).matrix
end

'ESPECTRO': begin
dataset = info.dataset
datasize = size(dataset, /dimensions)
    x_size = datasize[0]
    y_size = datasize[1]
meandata = mean(dataset)
b = dataset - meandata
a = fft(b, dimension = 1)
window, 2
    plot, a, xrange=[0,x_size*y_size]
end

'ATIV_ZOOM': begin
widget_control, ev.top, get_uvalue = header

auxX = !X.range
auxY = !Y.range
```

```
zoomxy, wid

yrange = !y.Range
xrange = !x.range

xmin = xrange(0)
xmax = xrange(1)
ymin = yrange(0)
ymax = yrange(1)

!X.range = auxX
!Y.range = auxY

meandata= mean(info.dataset)
  b = info.dataset - meandata
  a = fft(b, dimension=1)

window, 2
  plot, a, xrange=[xmin,xmax]
end

'ESPECDIFF':begin
a = (*DATASETS.current).matrix - info.dataset
window, 2
plot, a
end

'INVCOLOR': begin
(*DATASETS.current).matrix = 4095 - (*DATASETS.current).matrix
info.dataset = 4095 - info.dataset
diff = ((*DATASETS.current).matrix - info.dataset)
```

```
Wset, info.box1
  erase, 0
  tvscl, (*DATASETS.current).matrix

Wset, info.box2
  erase, 0
  tvscl, info.dataset

Wset, info.box3
  erase, 0
  tvscl, diff
end

'slider': begin
info.slider = ev.value ;atribui valor do slider
end

'slider2': begin
info.slider2 = ev.value ;atribui valor do slider
end

'RMDATA': begin
if double(info.slider) lt double(info.slider2) then begin
  datasize = size(info.dataset, /dimensions)
  x_size = datasize[0]
  y_size = datasize[1]
  n = (x_size*y_size)-1

  info.rmdiff = (*DATASETS.current).matrix - info.dataset
  info.rmdiff[0:info.slider] = 0
  info.rmdiff[info.slider2:n] = 0
  window, 2
```

```
    plot, info.rmdiff
    print, 'Rem DiffDataIn Ok'
endif
end

'RMDATAOUT': begin
if double(info.slider) lt double(info.slider2) then begin
    info.rmdiff = (*DATASETS.current).matrix - info.dataset
    info.rmdiff[info.slider:info.slider2] = 0

    window, 2
    plot, info.rmdiff

    print, "Rem DiffDataOut Ok"
endif
end

'MAX': begin
if double(info.slider) lt double(info.slider2) then begin
    datasize = size(info.dataset, /dimensions)
    x_size = datasize[0]
    y_size = datasize[1]
    n=(x_size*y_size)-1

    fft2 = fft(info.dataset, dimension = 1)
    fft2[0:info.slider]=0
    fft2[info.slider2:n]=0

    LocMax = fft2 eq max(abs(fft2))

    a=float(info.slider)
    b=float(info.slider2)
```

```
for i = a,b do begin
  if LocMax[i] eq 1 then begin
    print, i
  endif
endfor
endif
end

'ADDDATA': begin
info.dataset = info.dataset + info.rmdiff
Wset, info.box2
  erase, 0
  tvscl, info.dataset

diff = ((*DATASETS.current).matrix - info.dataset)
Wset, info.box3
  erase, 0
  tvscl, diff
end

'IMPORTAR': begin
olddata = ((*DATASETS.current).matrix
readimport, '*.ESP'
info.dataset = ((*DATASETS.current).matrix
(*DATASETS.current).matrix = olddata

Wset, info.box2
  erase, 0
  tvscl, info.dataset

diff = ((*DATASETS.current).matrix - info.dataset)
Wset, info.box3
  erase, 0
```

```
    tvscl, diff
end

'INV_IM': begin
info.dataset = rotate(rotate(info.dataset, 5),2)
Wset, info.box2
    erase, 0
    tvscl, info.dataset

diff = ((*DATASETS.current).matrix - info.dataset)
Wset, info.box3
    erase, 0
    tvscl, diff
end

'SLDEF': begin
prompt = ['MINIMO : ', 'MAXIMO : ']

dim = Dialog_Input( $
title = 'Entre com os valores de minimo e maximo dos sliders', $
Width = 10, xsize = 300, prompt = prompt, NFIELDS = 2, $
INITIAL = [info.slider,info.slider2])

datasize = size(info.dataset, /dimensions)
    x_size = datasize[0]
    y_size = datasize[1]
    slidermax = x_size*y_size

info.slider = float(dim(0))
info.slider2 = float(dim(1))

if(double(info.slider)gt slidermax) then begin
    info.slider = float(slidermax)
```



```
endif

if(double(info.slider2)gt slidermax) then begin
    info.slider2 = float(slidermax)
endif

widget_control, slider, set_value=info.slider
widget_control, slider2, set_value=info.slider2
end

ENDCASE
end

pro Fourier, group = group

common COMMON_AREA
common sl, slider
common sl2, slider2

dataset= (*DATASETS.current).matrix
rmdiff = dataset * 0

;dimensao da matriz dataset.
;Usada para delimitar o espaco destinado aos espectros dinamicos
datasize = size(dataset, /dimensions)
    x_size = datasize[0]
    y_size = datasize[1]
;dimensao da tela.
;Sera usada para que o tamanho da widget nao supere o da tela
screensize= get_screen_size()

mask = intarr(x_size*y_size)+1
```

```
;base principal das widget
if 5*y_size lt screensize[1] then begin
    FourierBase = widget_base(column=1, title= 'Filtro Fourier') ;
endif else begin
    FourierBase = widget_base(column=2, title= 'Filtro Fourier') ;
endelse

label_1= widget_label(FourierBase, value = 'Espectro Original:')
;primeiro espectro
draw_1 = widget_draw(FourierBase, xsize = x_size, ysize = y_size, $
x_scroll_size = screensize[0]/2, y_scroll_size = y_size, $
sensitive = 1, frame =1)

label_3= widget_label(FourierBase, value = 'Espectro Filtrado:')

draw_2 = widget_draw(FourierBase, xsize = x_size, ysize = y_size, $
x_scroll_size = screensize[0]/2, y_scroll_size = y_size, $
sensitive = 1, frame =1)

label_1= widget_label(FourierBase, $
value = 'Diferenca entre o espectro atual e o original:')

draw_3 = widget_draw(FourierBase, xsize = x_size, ysize = y_size, $
x_scroll_size = screensize[0]/2, y_scroll_size = y_size, $
sensitive = 1, frame =1)

slider = widget_slider(FourierBase, uvalue= 'slider', $
title='valor minimo', min = 0, max = x_size*y_size, $
xsize=screensize[0]/2)

slider2 = widget_slider(FourierBase, uvalue= 'slider2', $
title='valor maximo', min = 0, max = x_size*y_size, $
xsize=screensize[0]/2)

bsize = 150; tamanho dos botoes
```

```
;linhas de botoes
b1base = widget_base(FourierBase, row=1, /align_center)
b2base = widget_base(FourierBase, row=1, /align_center)
b3base = widget_base(FourierBase, row=1, /align_center)
b4base = widget_base(FourierBase, row=1, /align_center)
b5base = widget_base(FourierBase, row=1, /align_center)
b6base = widget_base(FourierBase, row=1, /align_center)

ok = widget_button(b5base, value='Ok', uvalue='OK', $
xsize = bsize)

cancel_bt = widget_button(b5base, value='Cancelar', $
uvalue='CANCELAR', xsize = bsize)

Ativfilter = widget_button(b1base, value='AtivFiltro', $
uvalue='ATIVFILTRO', xsize = bsize)

Resetbt = widget_button(b1base, value='Reset', $
uvalue='RESET', xsize = bsize)

Espectrobt = widget_button(b2base, value='Espectro', $
uvalue='ESPECTRO', xsize = bsize)

Espectrodif = widget_button(b2base, value='Esp Diferenca', $
uvalue='ESPECDIFF', xsize = bsize)

Save_esp = widget_button(b3base, value='Save .Esp', $
uvalue='SAVE', xsize = bsize)

Load_esp = widget_button(b3base, value='Load .Esp', $
uvalue='IMPORTAR', xsize = bsize)

color = widget_button(b1base, value='Inverter Cores', $ ;
uvalue='INVCOLOR', xsize = bsize)
```

```
rmdata = widget_button(b4base, value='Rem diffdata in', $
uvalue='RMDATA', xsize = bsize)

rmdataout = widget_button(b4base, value='Rem diffdata out', $
uvalue='RMDATAOUT', xsize = bsize)

adddata = widget_button(b4base, value='Add', $
uvalue='ADDDATA', xsize = bsize)

localmax = widget_button(b3base, $ ;
value='Maximo (abs) no intervalo', uvalue='MAX',xsize = bsize)

zoom = widget_button(b2base, value='Ativar Zoom', $ ;
uvalue='ATIV_ZOOM', xsize = bsize)

multiinterval = widget_button(b5base, value='Gravar intervalo', $ ;
uvalue='SAVEINT', xsize = bsize)

Inv_Im = widget_button(b6base, value='Inverter imagem', $ ;
uvalue='INV_IM', xsize = bsize)

multiintervaloff = widget_button(b6base, $ ;
value='Rem intervalos gravados', uvalue='REMINT', xsize = bsize)

slider_range = widget_button(b6base, $ ;
value='Definir S1-S2 manualmente', uvalue='SLDEF', xsize = bsize)

widget_control, FourierBase, /realize ;gerar widget
;final da widget

widget_control, draw_1, get_value = box1
;plotagem do espectro original no primeiro espaco
Wset, box1
```

```
erase, 0
tvsc1, dataset

widget_control, draw_2, get_value = box2
widget_control, draw_3, get_value = box3

;estrutura para armazenar os dados
common FourierBase, info

info={box1:box1, box2:box2, box3:box3, slider:slider, $
slider2:slider2, dataset:dataset, rmdiff:rmdiff, mask:mask}
info.slider = 0
info.slider2 = 0

widget_control, slider, set_value = info.slider
widget_control, slider2, set_value = info.slider2

xmanager,'Fourier', FourierBase
end
```