



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

**INPE-14464-TDI/1145**

**IDENTIFICAÇÃO DE RADIOFONTES PUNTIFORMES  
PRESENTES NA REGIÃO OBSERVADA PELO TELESCÓPIO  
BEAST**

Márcia Silva de Oliveira

Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Astrofísica, orientada pelos  
Drs. Carlos Alexandre Wuensche de Souza e Cristiano da Rocha, aprovada em 5 de  
agosto de 2004.

INPE  
São José dos Campos  
2006

523.165

Oliveira, M. S.

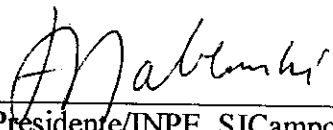
Identificação de radiofontes puntiformes na região observada pelo Telescópio BEAST / Márcia Silva de Oliveira. – São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 2006.

111 p.; (INPE-14464-TDI/1145)


1. Radiação cósmica de fundo. 2. Radiofontes extragaláticas. 3. Fontes puntiformes. 4. Telescópio BEAST. 5. Simulação de Monte Carlo. I. Título.

Aprovado(a) pela Banca Examinadora  
em cumprimento ao requisito exigido  
para a obtenção do Título de **Mestre  
em Astrofísica.**

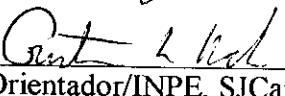
Dr. Francisco José Jablonski

  
\_\_\_\_\_  
Presidente/INPE, SJCampos-SP

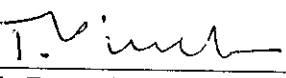
Dr. Carlos Alexandre Wuensche de Souza

  
\_\_\_\_\_  
Orientador/INPE, SJCampos-SP

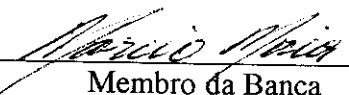
Dr. Cristiano da Rocha

  
\_\_\_\_\_  
Orientador/INPE, SJCampos-SP

Dr. Thyrso Villela Neto

  
\_\_\_\_\_  
Membro da Banca/INPE, SJCampos-SP

Dr. Márcio Antonio Geimba Maia

  
\_\_\_\_\_  
Membro da Banca  
Convidado – Observatório do Valongo, RJ

Candidato: Márcia Silva de Oliveira

São José dos Campos, 05 de agosto de 2004.



De tudo, ficaram três coisas:

A certeza de que estamos sempre começando...

A certeza de que precisamos continuar...

A certeza de que seremos interrompidos antes de terminar....

Portanto devemos:

Fazer da interrupção um caminho novo ...

Da queda um passo de dança...

Do medo, uma escada...

Do sonho, uma ponte...

Da procura, um encontro...

*FERNANDO PESSOA*



A meus pais,  
*DORCAS* e *ITAMAR*,  
pelo amor, compreensão e  
incentivo para prosseguir.





## AGRADECIMENTOS

Agradeço à Fundação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, pelo apoio financeiro durante o mestrado.

Aos meus amigos Ademir, Jonas, Leocádia, Lígia e Maurílio, por me ajudarem a realizar o sonho da entrada na Universidade e as minhas amigas “ceuquianas” Bruna, Cheila, Eliane, Irene, Lilian e Melissa pela amizade que se formou nos cinco anos de CEUC (Casa da Estudante Universitária de Curitiba). Aos meus amigos Joana e Gilmar, pelos bons tempos de Universidade. Estas amizades, tenho certeza, sobreviverão ao tempo.

Ao professor da Universidade Federal do Paraná, Dr. Adonai S. Sant’anna, pelo incentivo em entrar no Universo da Pesquisa e em continuar nele, mesmo nas horas difíceis. Saiba que você enriqueceu minha vida durante nossa convivência. Agradeço ainda aos meus professores no curso de Física, que me proporcionaram bases sólidas para ter êxito na pós-graduação.

Ao Dr. Carlos Alexandre Wuensche, pela orientação recebida nestes dois anos de trabalho juntos; e ao Dr. Cristiano da Rocha, pela convivência nestes 12 meses de trabalho, pelo apoio recebido e por compartilhar seus conhecimentos de forma tão plena.

Aos pesquisadores da Divisão de Astrofísica, em especial à Dra. Cláudia Vilega, Dr. Flávio D’amico, Dr. Francisco Jablonski, Dr. Jorge Mejía, Dr. José Williams Villas Boas e Dr. Udaya Jayanthi, pela ajuda prestada.

Às secretárias da divisão, cujo trabalho tem valor inestimável: Elaine, Ivone, Nilda e Valdirene.

À Dra. Maria Virgínia Alves, pela convivência enriquecedora no curso de Física de Plasma e por todas as conversas que tivemos. Saiba que te admiro como pesquisadora, docente e, principalmente, como pessoa.

Ao Dr. Gastão B. Lima Neto, do Instituto Astronômico e Geofísico por ceder, tão gentilmente, várias figuras utilizadas neste trabalho e ao Dr. Luiz Claudio Lima Botti, da Universidade Mackenzie, pela preciosa ajuda na versão pós-defesa.

Ao Jorge, meu companheiro, namorado e amigo, pelo seu carinho, compreensão e incentivo em momentos cruciais. Ter você ao meu lado foi fundamental para que eu chegasse até aqui.

A minha família, pois sem vocês nada disso seria possível. Esta conquista pertence a

vocês também!

Aos meus colegas de curso, pelo convívio nestes dois anos. Ao César, por ceder a versão em  $\text{\LaTeX}$  do modelo da biblioteca; à Cristiane, pelo companheirismo durante este tempo de trabalho no grupo de Cosmologia; e ao Kenny, pela ajuda com o  $\text{\LaTeX}$ .

As meninas do “amarelinho”: Isabela, Sylvia e Maju, pela acolhida durante a fase de correção do texto; e ao pessoal do coral Madrigal ADC/INPE pelo imenso carinho que sempre me dispensaram. A você, Zélia, um agradecimento especial!

Ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, pela oportunidade de estudar em um ambiente tão rico e acolhedor.

A Deus, razão de todas as coisas.

## RESUMO

O *Background Emission Anisotropy Scanning Telescope* (BEAST) é um experimento desenvolvido para o estudo das anisotropias da Radiação C3smica de Fundo em Microondas (RCFM) nas frequ4ncias 30,0 GHz e 41,5 GHz (bandas Ka e Q, respectivamente). Em experimentos de alta resolu43o angular, da ordem de no m3ximo alguns minutos de arco, o sinal de fontes extragal3cticas, que est3o presentes no campo de vis3o, representa uma fra43o significativa do sinal total medido. A identifica43o destes objetos e o estudo de seu comportamento espectral s3o etapas importantes na an3lise de dados da RCFM, pois possibilitam a modelagem de suas contribui43es ao sinal cosmol3gico ou sua remo43o em etapas posteriores da an3lise. Neste trabalho, 527 horas das observa43es feitas durante 2001 e 2000 foram utilizadas, para gerar mapas de flutua43es de temperatura da RCFM nas bandas Ka e Q, com a finalidade de identificar radiofontes puntiformes nas frequ4ncias consideradas. Na regi3o observada pelo BEAST ( $0\text{h} < \alpha < 24\text{h}$  e  $33^\circ \lesssim \delta \lesssim 42^\circ$ ), foram selecionadas 27 candidatas 3 radiofonte detectadas em ambas as bandas (Ka e Q). Apresentamos o resultado da busca da contrapartida destas 27 candidatas nos cat3logos existentes, a estimativa do fluxo de cada radiofonte medido pelo BEAST em 30,0 GHz e 41,5 GHz, bem como os 3ndices espectrais calculados a partir dos dados do BEAST e daqueles dispon3veis na literatura. Mostramos o resultado das simula43es Monte Carlo (MC) para o n3mero de fontes esperadas em fun43o da densidade de fluxo ( $dN/dS$ ), que foram realizadas para a regi3o de observa43o do telesc3pio e para o c3u inteiro. Finalmente, comparamos o resultado das simula43es com o n3mero de fontes que foram encontradas pelo m3todo de detec43o proposto.



# IDENTIFICATION OF RADIO SOURCES PRESENT IN THE REGION OBSERVED BY THE BEAST TELESCOPE

## ABSTRACT

The *Background Emission Anisotropy Scanning Telescope* (BEAST) is an experiment developed to study the Cosmic Microwave Background (CMB) anisotropies at frequencies of 30.0 GHz and 41.5 GHz (Ka and Q bands, respectively). In experiments with high angular resolution, of the order of a few arc minutes or less, the signal of extragalactic sources present in the field of view represents a significant fraction of the total signal measured. The identification of these objects and the study of their spectral behavior are important steps in CMB data analysis, because they allow the modeling of its contributions to the cosmological signal or its removal in posterior stages of the analysis. In this work, we generated CMB maps in two bands (Ka and Q), using 527 hours of observations made during 2001 and 2002, in order to identify radio point sources in the region observed by BEAST ( $0\text{h} < \alpha < 24\text{h}$  e  $33^\circ \lesssim \delta \lesssim 42^\circ$ ). Our analysis identified 27 radio sources candidates in both bands. We present the results of their counterpart search in the existing catalogs, the estimated flux from BEAST measurements in 30.0 GHz and 41.5 GHz, as well as the spectral indexes computed both from BEAST and from available data in the literature. We show the results of Monte Carlo's simulations for the expected source numbers in terms of flux density, which were realized both for the region observed with BEAST and for the whole sky. Finally, we compare the simulation results with the source numbers that were found by the method applied in this work.



# SUMÁRIO

Pág.

## LISTA DE FIGURAS

## LISTA DE TABELAS

<b>1 - INTRODUÇÃO</b> . . . . .	<b>25</b>
1.1 - O Modelo Cosmológico Padrão . . . . .	25
1.2 - A Radiação Cósmica de Fundo em Microondas . . . . .	26
1.3 - Anisotropias na Radiação Cósmica de Fundo em Microondas . . . . .	28
1.4 - Experimentos para Medidas das Anisotropias da Radiação Cósmica de Fundo em Microondas . . . . .	30
1.5 - Contaminantes da RCFM . . . . .	34
<b>2 - RADIOFONTES EXTRAGALÁCTICAS</b> . . . . .	<b>39</b>
2.1 - Emissão das Radiofontes Extragalácticas . . . . .	39
2.2 - Classificação de AGN's . . . . .	41
2.3 - Propriedades Observáveis e Classificação Empírica de AGN's . . . . .	46
2.4 - Variabilidade dos Núcleos Ativos de Galáxia . . . . .	47
2.5 - Contagem de Fontes e Teste $\langle V/V_m \rangle$ . . . . .	48
<b>3 - INSTRUMENTAÇÃO E DADOS OBSERVACIONAIS</b> . . . . .	<b>51</b>
3.1 - O telescópio BEAST ( <i>Background Emission Anisotropy Scanning Telescope</i> )	51
3.2 - Tratamento de Dados . . . . .	55
3.3 - Os Mapas Utilizados . . . . .	58
<b>4 - Metodologia de Pesquisa</b> . . . . .	<b>63</b>
4.1 - Detecção das Fontes . . . . .	63
4.1.1 - O Programa de Detecção de Fontes . . . . .	63
4.1.2 - Verificação de Contrapartida nas Bandas Ka e Q . . . . .	66
4.1.3 - Busca de Contrapartida nos Catálogos de Radiofontes . . . . .	67
4.2 - Determinação do Fluxo das Fontes . . . . .	68
4.3 - Fluxos em Função da Frequência e Determinação do Índice Espectral . . . . .	70
4.4 - Simulação Monte Carlo . . . . .	70
<b>5 - RESULTADOS</b> . . . . .	<b>75</b>

5.1 - Identificação de Radiofontes Presentes na Região Observada pelo BEAST .	75
5.2 - Simulação Monte Carlo (MC) . . . . .	87
<b>6 - CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS . . . . .</b>	<b>95</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS . . . . .</b>	<b>97</b>
<b>A -FLUXOS EM FUNÇÃO DA FREQUÊNCIA . . . . .</b>	<b>105</b>



## LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
1.1 Representação da <i>Superfície de Último Espalhamento</i> . . . . .	26
1.2 Espectro de Corpo Negro da RCFM. . . . .	27
1.3 Esquema do dipolo cinemático da RCFM. . . . .	29
1.4 Distorção do espectro de corpo negro da RCFM . . . . .	30
1.5 Mapas da RCFM gerados pelo satélite COBE e pelo HACME. . . . .	31
1.6 Mapa do primeiro ano de observação do satélite WMAP na banda Q . . . .	32
1.7 Espectro combinado das emissões atmosféricas da água, oxigênio e ozônio .	34
1.8 Contaminantes Galácticos do sinal da RCFM. . . . .	36
2.1 Espectros típicos de radiogaláxias (3C 84 e 3C 123) e quasares (3C 48 e 3C 454.3). . . . .	42
2.2 Imagem em alta resolução da radiofonte 3C 175. . . . .	44
2.3 Estrutura da radiofonte Cygnus A. . . . .	45
2.4 Variabilidade dos núcleos ativos. . . . .	47
3.1 Desenho do sistema óptico do BEAST. . . . .	52
3.2 Esquema de varredura das cornetas do BEAST . . . . .	53
3.3 Foto do Telescópio BEAST em frente ao prédio do departamento de Física da UCSB. . . . .	54
3.4 Esquema da Pixelização HEALPix para 3 estágios partindo do pixel base. .	56
3.5 Mapa de temperaturas do BEAST para a banda Q nas projeções gnomônica e <i>Mollweide</i> . . . . .	57
3.6 Diagrama mostrando o formato dos arquivos que contém os dados brutos do BEAST . . . . .	58
3.7 Mapa de temperaturas do BEAST (em Kelvin) para o canal 2, com e sem a suavização . . . . .	60
3.8 Mapa do número de observações da banda Q (41,5 GHz), antes e depois do corte aplicado para a região de Cygnus A . . . . .	61
4.1 Representação do esquema de corte <i>threshold</i> mostrando uma fonte pun- tiforme e uma fonte extensa. . . . .	63
5.1 Distribuição das fontes identificadas pelo NED no mapa de temperaturas da banda Q . . . . .	76
5.2 Histograma das distâncias da fonte detectada à contrapartida nos catálogos de radiofontes . . . . .	78

5.3	Diferenças das posições das fontes identificadas pelo BEAST à contrapartida fornecida pelo NED . . . . .	80
5.4	Densidade de fluxo em função da frequência para a fonte 6 (B3 2240+379A)	83
5.5	Densidade de fluxo em função da frequência para a fonte 14a (4C 35,57) .	83
5.6	Densidade de fluxo em função da frequência para a fonte 3 (J0927+3902) .	85
5.7	Densidade de fluxo em função da frequência para a fonte 7 (J1635+3808) .	85
5.8	Estimativa do índice espectral entre 10 GHz e 100 GHz para a fonte 3 (J0927+3902) . . . . .	86
5.9	Estimativa do índice espectral entre 10 GHz e 100 GHz para a fonte 7 (J1635+3808) . . . . .	86
5.10	Número de fontes em função da densidade de fluxo para o céu inteiro na banda W (Figura a), banda Ka (Figura b), e banda Q (Figura c) - Holdaway.	88
5.11	Número de fontes em função da densidade de fluxo para a região do BEAST banda W (Figura a), banda Ka (Figura b), e banda Q (Figura c) - Holdaway.	89
5.12	Número de fontes em função da densidade de fluxo para o céu inteiro na banda W (Figura a), banda Ka (Figura b), e banda Q (Figura c) - Toffolatti.	90
5.13	Número de fontes em função da densidade de fluxo para a região do BEAST banda W (Figura a), banda Ka (Figura b), e banda Q (Figura c) - Toffolatti.	91
5.14	Média da distribuição dos índices espectrais na região do BEAST para densidade de fluxo maior que 0,1 Jy (Figura a) e 0,4 Jy (Figura b) - Holdaway.	93
5.15	Média da distribuição dos índices espectrais na região do BEAST para densidade de fluxo maior que 0,1 Jy (Figura a) e 0,4 Jy (Figura b) - Toffolatti.	94
A.1	Gráfico da densidade de fluxo em função da frequência para a fonte 1 (J003408+3901) . . . . .	105
A.2	Gráfico da densidade de fluxo em função da frequência para a fonte 2 (J2315+3841) . . . . .	106
A.3	Gráfico da densidade de fluxo em função da frequência para a fonte 4 (B3 2354+383) . . . . .	106
A.4	Gráfico da densidade de fluxo em função da frequência para a fonte 5 (B3 2331+385) . . . . .	107
A.5	Gráfico da densidade de fluxo em função da frequência para a fonte 5 (B3 2331+385) . . . . .	107
A.6	Gráfico da densidade de fluxo em função da frequência para a fonte 9 (B3 0017+374) . . . . .	108
A.7	Gráfico da densidade de fluxo em função da frequência para a fonte 10 (TXS 2238+364) . . . . .	108
A.8	Gráfico da densidade de fluxo em função da frequência para a fonte 11 (87GB 160739,8+37081) . . . . .	109

A.9 Gráfico da densidade de fluxo em função da frequência para a fonte 12 (4C + 36,46) . . . . .	109
A.10 Gráfico da densidade de fluxo em função da frequência para a fonte 13a (J234027+3615) . . . . .	110
A.11 Gráfico da densidade de fluxo em função da frequência para a fonte 13b (J234116+3618) . . . . .	110
A.12 Gráfico da densidade de fluxo em função da frequência para a fonte 14b (J231903+3556) . . . . .	111
A.13 Gráfico da densidade de fluxo em função da frequência para a fonte 15 (7C 1452+3551) . . . . .	111



## LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
1.1 Alguns efeitos causadores de anisotropias, a escala angular de sua ocorrência e sua classificação. . . . .	29
1.2 Alguns experimentos desenvolvidos para análise da RCFM. . . . .	33
2.1 Índices espectrais aproximados e proporção de luminosidade para várias faixas espectrais. . . . .	42
2.2 Taxonomia dos AGN's. . . . .	46
3.1 Características do telescópio BEAST. . . . .	52
3.2 Medidas dos espelhos do telescópio BEAST. . . . .	53
3.3 Parâmetros utilizados e valores da sensibilidade e fluxo mínimo detectável pelo BEAST. . . . .	55
4.1 Valores <i>RMS</i> do ruído para cada canal e para as bandas Ka e Q. . . . .	64
5.1 Fontes identificadas em catálogos de rádio - coordenadas, classe do objeto e contrapartida. . . . .	77
5.2 Candidatas não identificadas nos catálogos de radiofontes com as respectivas coordenadas nos mapas do BEAST. . . . .	79
5.3 Diferenças de posições em <i>l</i> e <i>b</i> e a distância entre as posições. . . . .	79
5.4 Candidatas identificadas em catálogos de raios X: candidata, catálogo e contrapartida. . . . .	81
5.5 Temperaturas do pixel central, do ajuste gaussiano e densidade de fluxos para as fontes identificadas (banda Ka). . . . .	82
5.6 Temperaturas do pixel central, temperaturas do ajuste gaussiano e densidade de fluxos para as fontes identificadas (banda Q). . . . .	84
5.7 Índices espectrais calculados com os dados do BEAST e do WMAP. . . . .	87
5.8 Distribuição do número de fontes em função da densidade de fluxo na região do telescópio BEAST. . . . .	92



# 1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo faremos uma breve exposição sobre o Modelo Cosmológico Padrão, a origem e descoberta da Radiação Cósmica de Fundo em Microondas (RCFM) e suas anisotropias. Falaremos brevemente sobre alguns experimentos desenvolvidos para medir estas anisotropias e também sobre alguns dos principais contaminantes da RCFM.

## 1.1 O Modelo Cosmológico Padrão

O modelo cosmológico padrão (MCP), também conhecido como modelo do “Big Bang”, supõe que o Universo evoluiu a partir de uma fase inicial com temperatura e densidade extremamente elevadas. Com o início da expansão, a temperatura e a densidade diminuíram. Nesta fase, o Universo era dominado pela radiação e a interconversão de partículas era o processo de interação dominante (fótons altamente energéticos são convertidos em pares de partícula e antipartícula). Durante esta época, um grande número de pares era criado e aniquilado, aquelas espécies que possuíam menor seção de choque de aniquilação, e que conseguiram sobreviver, acabaram introduzindo no Universo uma densidade inicial de matéria. Com a contínua expansão e resfriamento, a temperatura diminuiu e atingiu valores da ordem de  $10^{10}$  K, dando início à nucleossíntese primordial, em que foram formados os núcleos de alguns elementos leves ( $^3\text{He}$ ,  $^4\text{He}$  e  $^7\text{Li}$ ) e o Universo ainda era dominado pela radiação. Em  $T \sim 10^4$  K ( $t \sim 10^4$  anos), a densidade de matéria se igualou à densidade de radiação (o chamado “Momento da Equipartição da Energia”), a partir dessa fase iniciou-se a era de domínio da matéria. Em algum momento desta fase a energia dos fótons tornou-se menor que a energia de ionização do átomo de Hidrogênio e ocorreu a recombinação entre prótons e elétrons, formando os primeiros átomos de H. Esta época é conhecida como Época da Recombinação.

Quando a temperatura atingiu um valor da ordem de  $3 \times 10^3$  K (cerca de 100.000 anos após o “Big Bang”), a densidade de elétrons livres tornou-se muito baixa, a taxa de espalhamento Thomson entre fótons e elétrons livres se reduziu e o Universo tornou-se opticamente fino, tornando o livre caminho médio dos fótons superior ao horizonte de partículas<sup>1</sup> da época considerada (raio de Hubble). Neste momento matéria e radiação começaram a se desacoplar. Os fótons liberados neste desacoplamento e que devido à expansão do Universo foram resfriados, encontram-se hoje a uma temperatura de  $2725 \pm 0002$  K (bennett et. al., 2003a), e correspondem à radiação cósmica de fundo

---

<sup>1</sup>Chama-se **horizonte de partículas** à posição do objeto mais distante que pode ser observado em uma certa época. Um objeto além do horizonte de partículas não pode ser observado, pois sua luz ainda não percorreu completamente a distância que separa o objeto do observador.

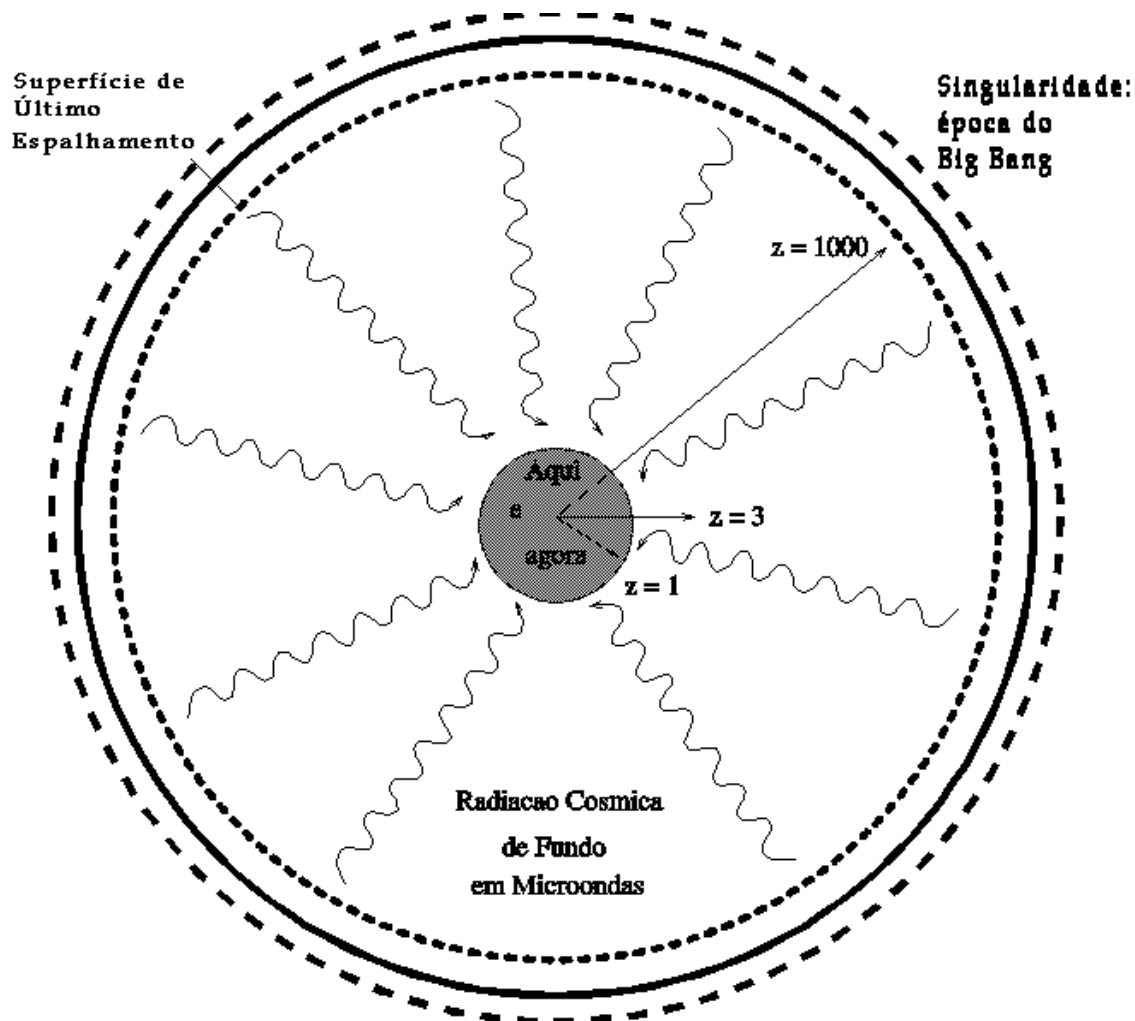


Figura 1.1 - Representação da *Superfície de Último Espalhamento*, a superfície hipotética da qual partiram os fótons que hoje observamos como RCFM.

Fonte: Adaptada de Kaiser e Silk (1986).

observada em comprimentos de onda milimétricos. A Figura 1.1 mostra a superfície hipotética, a partir da qual os fótons se propagaram praticamente sem interagir com a matéria, a chamada *Superfície do Último Espalhamento* (SUE).

## 1.2 A Radiação Cósmica de Fundo em Microondas

Em seus trabalhos sobre a origem e evolução do Universo, Gamow (1948) previu que o Universo deveria estar permeado por uma radiação de corpo negro<sup>2</sup>, originada no

<sup>2</sup>Chama-se radiação de corpo negro à radiação produzida em uma cavidade fechada, isolada e que encontra-se a uma temperatura uniforme  $T$ . As paredes da cavidade e a radiação estão em equilíbrio térmico. As propriedades da radiação dependem apenas da temperatura e a distribuição de sua in-



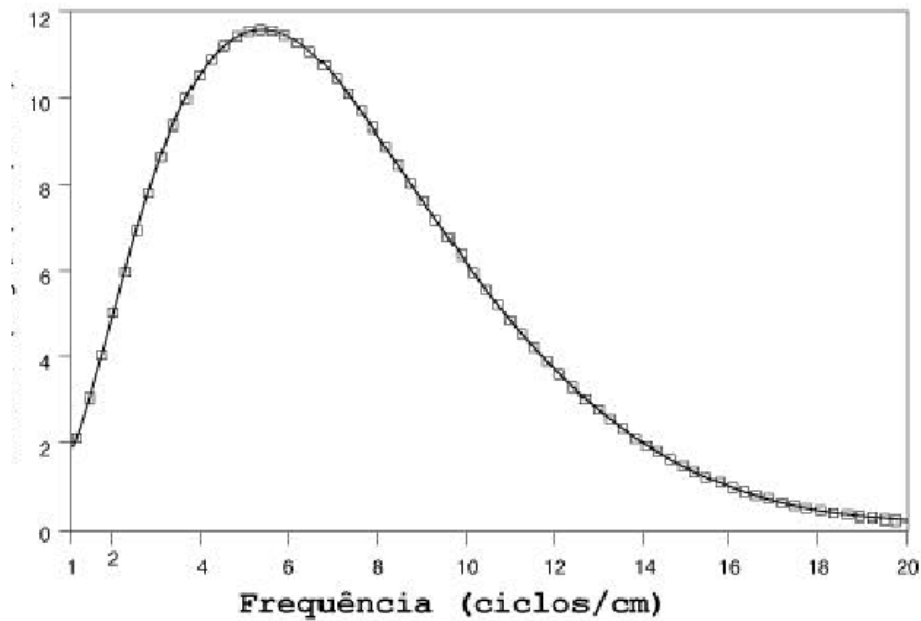


Figura 1.2 - Espectro de Corpo Negro da RCFM, com valores obtidos pelo experimento COBE/FIRAS.

Fonte: Adaptada de Mather et. al. (1990).

desacoplamento entre matéria e radiação, com temperatura da ordem de 50 K e espectro dado pela lei de Planck (Figura 1.2):

$$B_{\nu}(T) = \frac{2h}{c^2} \frac{\nu^3}{e^{\left(\frac{h\nu}{kT}\right)} - 1} \quad (\text{W m}^{-2} \text{ Hz}^{-1} \text{ sr}^{-1} \text{ rad}^{-2}). \quad (1.1)$$

Neste mesmo ano, Alpher e Herman (1948) obtiveram uma melhor estimativa para o valor da temperatura da radiação de corpo negro ( $\sim 5$  K). Em 1964, esta radiação foi detectada por Penzias e Wilson em 4080 MHz, com uma temperatura de  $3,5 \pm 1,0$  K (Penzias e Wilson, 1995) e, desde então, é chamada de Radiação Cósmica de Fundo em Microondas (RCFM). Em 1978, estes autores receberam o Prêmio Nobel de Física pela sua descoberta. Esta radiação é considerada um dos três pilares observacionais que apóiam o cenário do “Big Bang”, juntamente com a abundância dos elementos leves

---

tensidade em função do comprimento de onda é chamada de distribuição de Planck. Embora a forma dessa distribuição seja sempre a mesma, a posição do máximo de emissão depende da temperatura. Quanto maior a temperatura menor o comprimento de onda em que ocorre o pico correspondente ao máximo da distribuição.

primordiais<sup>3</sup> e a velocidade de recessão das galáxias<sup>4</sup>.

### 1.3 Anisotropias na Radiação Cósmica de Fundo em Microondas

Denomina-se **anisotropia** toda flutuação na distribuição angular da temperatura da RCFM, independentemente de ter sido originada por fenômenos físicos que ocorreram antes ou depois do desacoplamento. As flutuações de temperatura são divididas, conforme a sua origem, em dois tipos:

- **anisotropias primárias:** também denominadas anisotropias intrínsecas, foram originadas antes ou durante o desacoplamento;
- **anisotropias secundárias:** também chamadas de anisotropias extrínsecas, foram geradas no período pós-desacoplamento.

As anisotropias da RCFM podem ter sido produzidas por diversos processos físicos. A Tabela 1.1 contém uma lista com alguns tipos de anisotropias e sua classificação em relação à origem.

Dentre os diversos tipos de anisotropias existentes, a que apresenta maior amplitude é a de dipolo, que ocorre devido ao movimento do observador em relação ao referencial definido pela RCFM e que não tem origem cosmológica. Essa variação pode ser expressa por:

$$T_{obs}(\theta) \simeq T_0 \left( 1 + \frac{v}{c} \cos(\theta) \right) \quad (1.2)$$

sendo  $T_{obs}$  a temperatura medida pelo observador na Terra,  $T_0$  a temperatura da RCFM,  $v$  a velocidade do observador,  $c$  a velocidade da luz e  $\theta$  o ângulo entre a direção de observação e a direção do movimento do observador em relação ao referencial da RCFM (Figura 1.3). A variação dipolar da temperatura da RCFM é da ordem de  $10^{-3}$  K (Smoot et. al., 1977). Quando esta contribuição de dipolo para a temperatura é subtraída, a RCFM ainda apresenta flutuações de origem cosmológica da ordem de  $10^{-5}$  K (Smoot et. al., 1992). Estas flutuações são indícios de como a matéria e a energia estavam distribuídas no início do Universo e de sua evolução.

---

<sup>3</sup>As reações que ocorrem na nucleossíntese estelar e nas reações de *spallation* do meio interestelar não explicam as abundâncias observadas de He, D e <sup>7</sup>Li. Supõe-se, então, que o excesso destes elementos vêm da nucleossíntese primordial.

<sup>4</sup>Segundo a lei de Hubble, todas as galáxias do Universo afastam-se umas das outras de acordo com a relação  $v=H_0d$ , sendo  $v$  a velocidade de afastamento,  $H_0$  a constante de Hubble e  $d$  a distância entre elas. Este processo de afastamento, de acordo com o MCP, é uma evidência da expansão do Universo.

Tabela 1.1 - Alguns efeitos causadores de anisotropias, a escala angular de sua ocorrência e sua classificação.

<b>Anisotropias Primárias</b>		
<b>Anisotropias</b>	<b>Escalas Angulares</b>	<b>Processo Físico</b>
Sachs-Wolf (SW)	$\theta \geq 10 \text{ min}$	Flutuações no potencial gravitacional da SUE
Velocidades e Densidades Acústicas	$10 \text{ min} \leq \theta \leq 2^\circ$	Velocidades peculiares na SUE
Flutuações de densidade Adiabáticas	$\theta \leq 2^\circ$	Inomogeneidades na SUE
<b>Anisotropias Secundárias</b>		
<b>Anisotropias</b>	<b>Escalas Angulares</b>	<b>Processo Físico</b>
Sunyaev-Zel'dovich	$\theta \leq 10 \text{ min}$	Espalhamento Compton inverso em aglomerados de galáxias
Dipolo	$\theta \geq 2^\circ$	Movimento do Sistema Solar em relação à RCFM

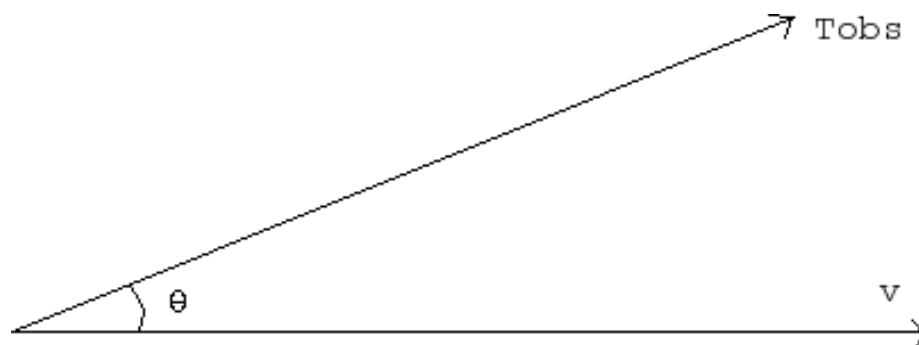


Figura 1.3 - Esquema do dipolo cinemático decorrente do movimento do observador em relação ao referencial da RCFM medida.

O efeito Sunyaev–Zel'dovich (Sunyaev e Zel'dovich, 1980) ocorre quando os fótons da RCFM, que atravessam o gás quente da parte interna de um aglomerado de galáxias, sofrem espalhamento Compton inverso pelos elétrons e ganham energia. O resultado dessa interação pode ser observado no espectro da radiação cósmica de fundo, na região de um aglomerado: nota-se uma distorção no espectro da radiação de corpo negro, a intensidade da radiação aumenta na região de Wien (de pequenos comprimentos de onda) e diminui na região de Rayleigh-Jeans (maiores comprimento de onda), como pode ser visto na Figura 1.4.

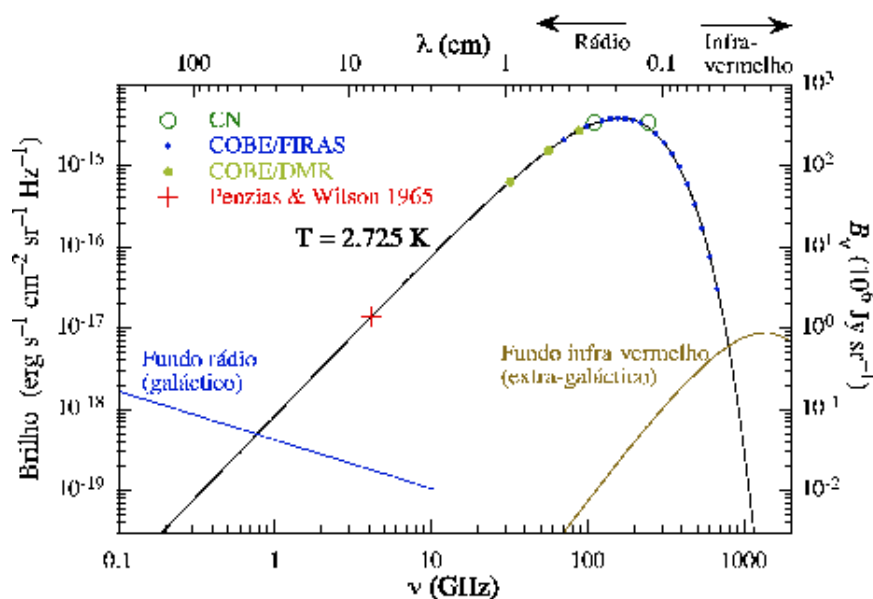


Figura 1.4 - Distorção do espectro de corpo negro da RCFM (linha tracejada) devido ao efeito Sunyaev-Zel'dovich (linha contínua).

Fonte: Lima Neto (2003)

Para uma revisão sobre anisotropias ver, por exemplo, Hu e Dodelson (2002).

#### 1.4 Experimentos para Medidas das Anisotropias da Radiação Cósmica de Fundo em Microondas

A partir da sua descoberta, diversos experimentos foram e vêm sendo desenvolvidos para estudar as flutuações de temperatura da RCFM. Em 1989, o satélite COBE (*COSMIC BACKGROUND EXPLORER*), desenvolvido pela NASA, foi lançado com três experimentos a bordo: o DIRBE (*DIFFUSE INFRARED BACKGROUND EXPERIMENT*), o DMR (*DIFFERENTIAL MICROWAVE RADIOMETER*) e o FIRAS (*FAR INFRARED ABSOLUTE SPECTROPHOTOMETER*). O DIRBE obteve mapas do céu em infravermelho (emissões de estrelas e galáxias que datam da época em que se formaram) e mapas de extinção Galáctica. O DMR mediu pela primeira vez as anisotropias intrínsecas à RCFM, com precisão de uma parte em  $10^5$  (Smoot et al., 1992). Os dados do FIRAS, cuja resolução angular é de  $\sim 7^\circ$ , mostraram que o espectro da RCFM é muito próximo de um corpo negro com temperatura de  $2,728 \pm 0,004$  K (Fixsen, 1996).

Um outro experimento desenvolvido para análise da RCFM foi o HACME (*HEMT ADVANCED COSMIC MICROWAVE EXPLORER*). Este telescópio operou a bordo de balão, nas

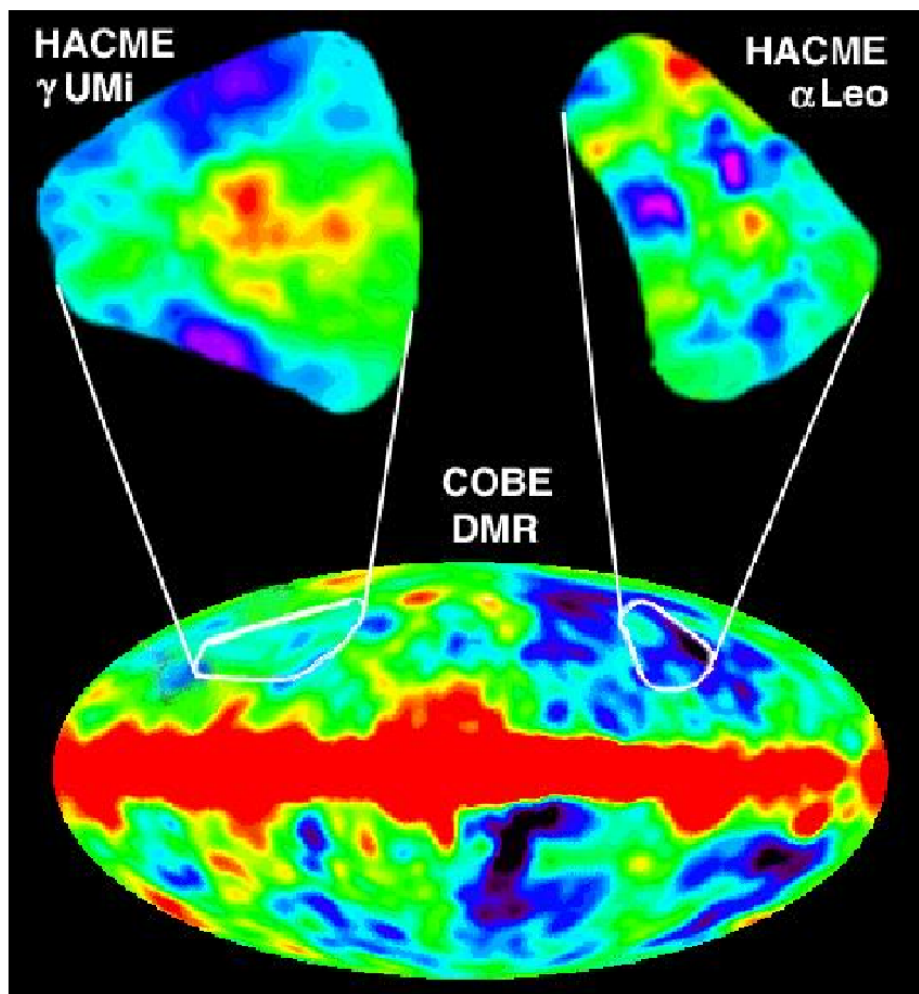


Figura 1.5 - Mapas da RCFM gerados pelo satélite COBE para o céu inteiro e pelo HACME para as regiões de  $\gamma$ -Ursa Menor e  $\alpha$ -Leão.

Fonte: Tegmark et. al., 2000.

frequências de 39, 41 e 43 GHz (Tegmark et. al., 2000.) e efetuou medidas nas regiões de  $\gamma$  Ursa Menor e  $\alpha$  Leão, proporcionando melhor resolução nos mapas do céu nestas regiões do que os obtidos pelo COBE (Figura 1.5) . Este instrumento foi o precursor do BEAST (*Background Emission Anisotropy Scanning Telescope*), um telescópio projetado para operar tanto no solo quanto a bordo de balão e cujos dados foram utilizados neste trabalho.

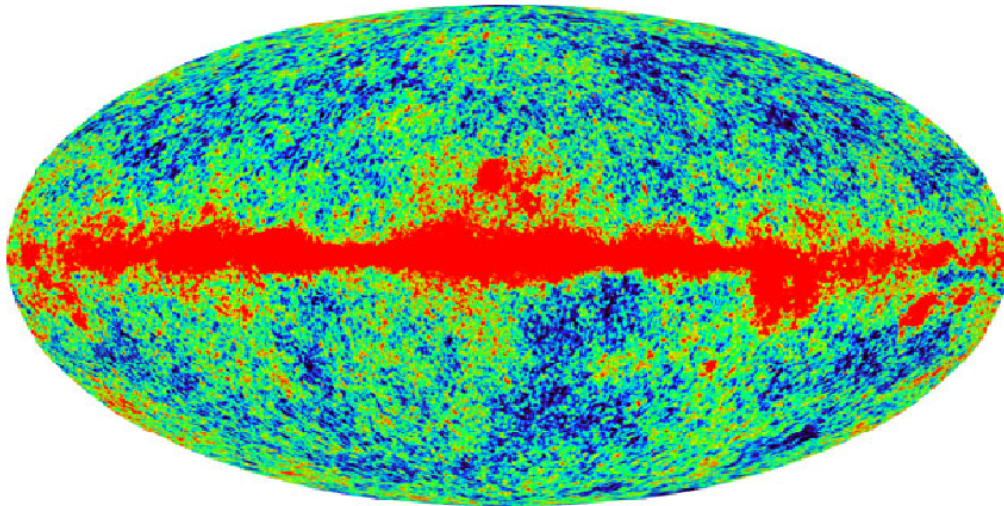


Figura 1.6 - Mapa do primeiro ano de observação do WMAP na banda Q, mostrando a região da Galáxia.

Fonte: NASA (2004).

Em 2003, dados divulgados pelo satélite WMAP (*Wilkinson Microwave Anisotropy Probe*), referentes a medidas em 22,5; 32,0; 40,5; 61,0 e 94,0 GHz forneceram um valor de  $2,725 \pm 0,002$  K (Bennett et. al., 2003a) para a temperatura da RCFM, em excelente concordância com o resultado do COBE. No mapa gerado com os dados do WMAP, pode-se notar a melhora na resolução em relação aos mapas do COBE, como pode ser visto na Figura 1.6.

Além do COBE, do HACME e do WMAP, diversos outros experimentos foram desenvolvidos para estudar as flutuações de temperatura da RCFM tanto em solo quanto à bordo de balão. Na Tabela 1.2 apresentamos uma relação de alguns destes instrumentos e as frequências de operação dos mesmos. Embora a lista dos experimentos não seja completa, é bastante representativa do que existe na literatura.

Tabela 1.2 - Alguns experimentos desenvolvidos para análise da RCFM.

<b>Experimento em Solo</b>	<b>Frequência (GHz)</b>
Tenerife <sup>a</sup>	10,4; 14,9 e 33,0
Python <sup>b</sup>	37,0-45,0 e 90,0
Saskatoon <sup>c</sup>	26,0-30,0 e 36,0-46,0
VLA <sup>d</sup> ( <i>Very Large Array</i> )	8,4
DASI <sup>e</sup> ( <i>Degree Angular Scale Interferometer</i> )	26,0-36,0
<b>Experimento em Balão</b>	<b>Frequência (GHz)</b>
FIRS <sup>f</sup> ( <i>Far Infrared Survey</i> )	170,0; 290,0 ;500,0 e 680,0
ARGO <sup>g</sup>	150,0; 250,0; 375,0 e 600,0
MAX <sup>h</sup> ( <i>Millimeter-wave Anisotropy eXperiment</i> )	180,0; 270,0 e 360,0
Boomerang <sup>i</sup> ( <i>Balloon Observations of Millimeter Extragalactic Radiation and Geophysics</i> )	90,0; 150,0; 240,0 e 410,0
Maxima <sup>j</sup> (sucessor do MAX)	150,0; 240,0 e 410,0 GHz
<b>Experimento em Satélite</b>	<b>Frequência (GHz)</b>
COBE <sup>k</sup>	31,5; 53,0 e 90,0
WMAP <sup>l</sup>	22,5; 32,9; 40,5; 61,0 e 94,0
Planck <sup>m</sup> (a ser lançado em 2007)	30-857

<sup>a</sup> - Gutierrez et. al., 2000

<sup>b</sup> - Coble et. al, 1999

<sup>c</sup> - Wollack et. al, 1981

<sup>d</sup> - Martin e Partridge, 1988

<sup>e</sup> - Halverson et. al., 2002

<sup>f</sup> - Page et. al., 1995

<sup>g</sup> - de Bernardis et. al., 1980

<sup>h</sup> - Fisher et. al., 1992

<sup>i</sup> - Mauskopf et. al., 2000

<sup>j</sup> - Hanany et. al., 2000

<sup>k</sup> - Smoot et. al., 1990

<sup>l</sup> - Barnes et. al., 1995

<sup>m</sup> - Lawence, 2003

## 1.5 Contaminantes da RCFM

Quando um determinado instrumento realiza uma medida da RCFM, a radiação detectada tem diferentes contribuições que vão se superpondo ao longo da linha de visada entre o sinal que está sendo medido e o observador. Neste processo, é necessário determinar a contribuição de cada um dos contaminantes (atmosfera, Galáxia, fontes puntiformes, etc.) ao sinal, de forma a obter um mapa de temperatura da RCFM com a menor taxa de contaminação possível. Sendo assim, cada contaminante deve ser bem estudado de modo que, conhecendo os principais mecanismos de emissão, a subtração seja feita de forma adequada. Dentre as diversas contribuições existentes destacamos:

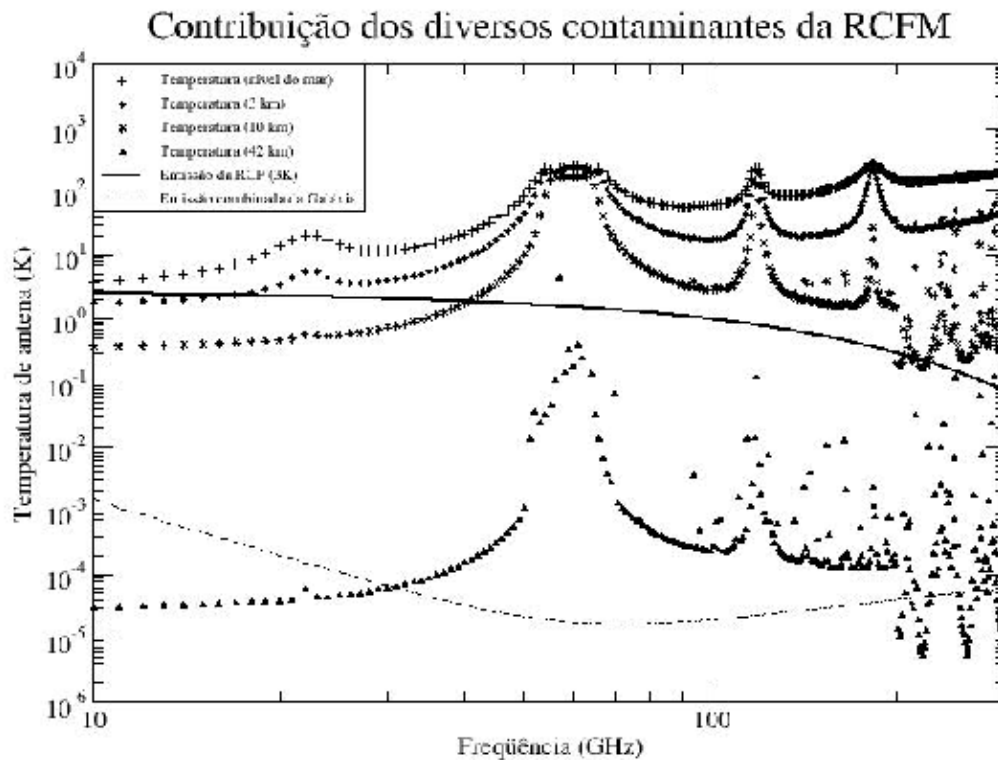


Figura 1.7 - Espectro combinado das emissões atmosféricas da água, oxigênio e ozônio em várias altitudes. São mostradas também as curvas referentes à temperatura da RCF e da emissão combinada da Galáxia (efeitos síncrotron, livre-livre e emissão de poeira).

Fonte: Wuensche, 2004.

- **Emissão Atmosférica:** a emissão atmosférica se deve principalmente ao vapor d'água ( $H_2O$ ), ao ozônio ( $O_3$ ) e ao oxigênio molecular ( $O_2$ ). A contribuição atmosférica,



em uma dada frequência, é estimada levando-se em conta que sua temperatura pode ser modelada como  $T(\alpha) = T_z \cos \alpha$ , sendo  $\alpha$  o ângulo zenital e  $T_z$  a temperatura no zênite. Em experimentos localizados no solo, a temperatura da atmosfera é superior ao valor das flutuações de temperatura da RCFM, como mostramos na Figura 1.7. Por esta razão, é importante o uso de experimentos a bordo de balões estratosféricos ou satélites, onde a contaminação atmosférica é muito menor ou inexistente.

- **Emissão Síncrotron Galáctica:** esta emissão difusa é originada por elétrons que interagem com o campo magnético da Galáxia e são acelerados por este. Como estes elétrons atingem velocidades relativísticas, podem também interagir com fótons, transmitindo-lhes energia cinética via efeito Compton inverso. O espectro da emissão síncrotron segue uma lei de potência do tipo:  $T_b \propto \nu^{-\beta}$ , em que  $\beta$  ( $2,6 < \beta < 3,1$ , Bennett et. al, 2003b) depende tanto da distribuição de energia dos elétrons, quanto da estrutura do campo magnético Galáctico. Este tipo de radiação é predominante em frequências menores que 10 GHz. Uma revisão sobre o assunto pode ser encontrada em Bersanelli et. al, 2002.

- **Emissão Livre-Livre Galáctica (free-free):** este tipo de emissão, também chamada de efeito *bremsstrahlung* térmico, surge devido ao espalhamento de um elétron acelerado interagindo com o campo Coulombiano de um íon. Para que este tipo de emissão ocorra, é necessário que o elétron tenha temperatura suficientemente alta ( $T \sim 10^4$  K). A temperatura de brilho é dada por:  $T_b \sim \nu^{-\beta}$ . A emissão livre-livre possui duas componentes distintas, uma discreta e uma difusa, e está associada a regiões HII, onde há intensa formação estelar e elétrons com temperaturas da ordem de  $10^4$  K. O índice espectral em rádio é  $\beta_{radio} \simeq +2,1_{-0,8}^{+0,6}$  (Bersanelli et. al, 2002).

- **Emissão de Poeira Galáctica:** a emissão de poeira é originada por grãos aquecidos no meio interestelar por radiação estelar. Os grãos de poeira absorvem fótons no ultravioleta (UV) e no óptico e a energia é reemitida no infravermelho próximo (NIR). Este tipo de emissão predomina em frequências  $\gtrsim 100$  GHz e a intensidade total depende da composição química do gás no qual os grãos estão imersos, da abundância de poeira no gás e da composição do grão, bem como de sua estrutura e dimensão. A forma espectral da emissão segue uma lei de potência do tipo:  $I_\nu \propto \nu^\alpha B_\nu(T_d)$ , em que  $\alpha$  é  $\simeq 2$  (Bennett et. al., 2003b),  $T_d$  é a temperatura do grão e  $B_\nu(T_d)$  é a função de Planck. A Figura 1.8 mostra os 3 tipos de contaminação Galáctica descritos acima e o seu comportamento em função da frequência.

- **Emissão Rotacional dos Grãos de Poeira (spinning dust):** este tipo de emissão ainda está sendo bastante pesquisado, o que apresentamos aqui é uma

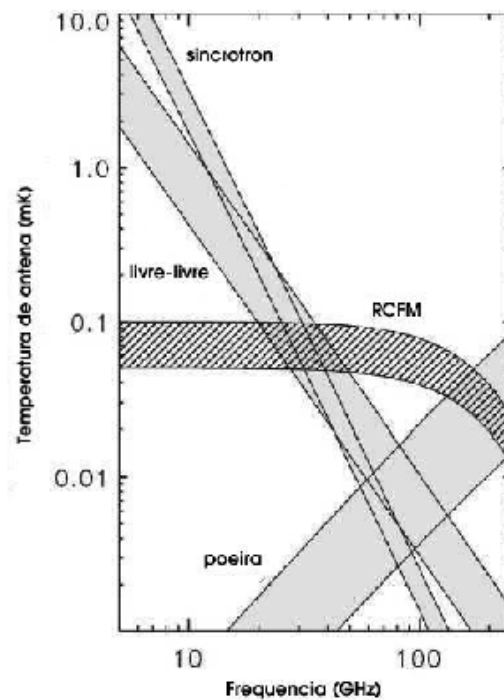


Figura 1.8 - Contaminantes Galácticos do sinal da RCFM e suas faixas de frequência dominantes. Na figura, podemos observar que a contaminação é menor entre 40 GHz e 80 GHz.

Fonte: Adaptada de Bennett et. al. (2003b).

possível explicação para esta emissão, acredita-se que a rotação dos grãos de poeira interestelar produz uma emissão em frequência entre 10 GHz e 100 GHz. Este tipo de emissão provém de grãos muito pequenos (com raios de  $\sim 6 \times 10^{-10}$  m), que conseguem atingir uma velocidade angular suficientemente alta para que ocorra a emissão em microondas, e.g., Draine e Lazarian (1998). Dentre os processos que causam a excitação e amortecimento da rotação dos grãos de poeira estão as colisões com átomos neutros, colisões com íons e interações com íons em movimento. A emissão proveniente de “spinning dust” é dominante em frequências menores que 100 GHz.

- **Emissão de Fontes Extragalácticas:** além da emissão Galáctica, outro fator contaminante das medidas da RCFM provém de fontes extragalácticas, detectadas em experimentos de alta resolução angular (da ordem de minutos de arco). A contaminação de radiofontes (radiogaláxias de espectro plano, objetos BL Lac, blazares e quasares), em medidas da RCFM é mais importante em frequências entre 1 GHz e 200 GHz. O estudo do comportamento destas radiofontes e a determinação de seus índices espec-

trais é fundamental para a remoção deste contaminante, principalmente nos mapas da RCFM produzidos com dados de experimentos de alta resolução angular, nos quais a contribuição desse sinal é significativa.

No caso do satélite COBE, por exemplo, cuja resolução angular é baixa ( $\sim 7^\circ$ ), o sinal era diluído devido à largura do feixe em relação ao tamanho angular da fonte. A contribuição do sinal de uma fonte puntiforme para o sinal total coletado por um radiotelescópio aumenta com o inverso da área do feixe. Então, a contaminação torna-se importante em experimentos com resolução angular da ordem de minutos de arco (como o BEAST e o WMAP) e deve ser quantificada.

Como exemplo, podemos considerar um sinal da ordem de  $100\mu\text{K}$ , para uma frequência  $\nu = 30,0 \text{ GHz}$ . A densidade de fluxo da fonte emissora (em Jy), necessária para ser detectada por telescópios com a resolução angular do COBE, WMAP e BEAST deve ser:

- COBE ( $\theta_{fwhm} \sim 7^\circ$ ) :  $S = 65,0 \text{ Jy}$ ;
- WMAP ( $\theta_{fwhm} \sim 41'$ ) :  $S = 0,3 \text{ Jy}$
- BEAST ( $\theta_{fwhm} \sim 31'$ ) :  $S = 0,3 \text{ Jy}$

Os cálculos acima foram feitos de forma aproximada, levando em consideração apenas as áreas efetivas do telescópio. Para um cálculo mais rigoroso da sensibilidade mínima outros fatores devem ser considerados, conforme descrevemos no Capítulo 3, nestes cálculos, é possível mostrar que a sensibilidade mínima para o telescópio BEAST tem um valor mais elevado do que o dado acima.

Comparando os valores dados nota-se que experimentos com resolução angular da ordem de minutos de arco, devem levar em consideração a contribuição destas fontes para o sinal cosmológico e subtraí-la dos mapas de RCFM. Em experimentos de melhor resolução angular, como o Planck ( $\sim 10'$  em 100 GHz), deverá ser levado em consideração ainda um outro tipo de contaminante: o efeito Sunyaev–Zel’dovich.

Esta dissertação está dividida em outros cinco capítulos distribuídos da seguinte forma:

No Capítulo 2 deste trabalho apresentaremos um pouco da teoria das radiofontes extragalácticas descrevendo o mecanismo de emissão, as classificações alguns objetos conhecidos e dois testes estatísticos existentes.

No Capítulo 3 descreveremos o telescópio que coletou os dados utilizados, o tratamento destes dados e o método de produção de mapas.

No Capítulo 4 falaremos sobre a metodologia utilizada no desenvolvimento da pesquisa: o método de detecção das candidatas à fonte, a determinação do fluxo, os gráficos gerados com as medidas de fluxo disponíveis, bem como a determinação do índice espectral e as simulações Monte Carlo.

No Capítulo 5 apresentaremos os resultados da identificação ou não das candidatas a fonte detectadas e a análise destes resultados e os resultados e análise das simulações Monte Carlo.

No Capítulo 6 descreveremos as conclusões e perspectivas do trabalho realizado.

## 2 RADIOFONTES EXTRAGALÁCTICAS

As primeiras detecções de ondas de rádio vindas do espaço ocorreram no início dos anos 30, quando o físico e engenheiro de rádio Karl Jansky detectou este tipo de emissão vinda do centro da Via Láctea (Janski, 1933). Durante a Segunda Guerra Mundial houve o desenvolvimento do radar e, após o término do conflito, a radioastronomia desenvolveu-se com o emprego deste instrumento. Em 1949, foram detectadas pela primeira vez duas fontes de rádio (M87 e Centaurus A) em galáxias próximas à Via Láctea. Cinco anos depois foi identificada uma nova fonte de rádio, a primeira em uma galáxia distante (cerca de 700 milhões de anos-luz)<sup>1</sup>: o objeto Cygnus A.

As radiofontes extragalácticas são galáxias com um núcleo extremamente luminoso, algumas vezes mais luminoso do que a própria galáxia (com luminosidade variando entre  $\sim 10^{38}$  e  $\sim 10^{46}$  ergs  $s^{-1}$ ), são os chamados núcleos ativos de galáxias (AGN - *Active Galactic Nuclei*). A energia emitida pelo núcleo é responsável pelas linhas mais fortes e largas do que as emitidas pelas galáxias normais. Uma possível explicação para a fonte de energia dos AGN's, que não provém da fusão nuclear das estrelas, é a captura de matéria por um buraco negro super massivo. Outra explicação é que a energia é gerada por um “starburst” em alguns tipos de AGN's.

Os núcleos destas galáxias podem ser observados em uma grande parte do espectro eletromagnético, desde ondas de rádio ( $\sim 100$  MHz) até raios  $\gamma$  ( $\sim 100$  MeV). As radiofontes podem ser divididas em **compactas**, com tamanho menor que 3 kpc<sup>2</sup> em 5 GHz e **extensas** com tamanho maior que 3 kpc em 5 GHz. Para uma revisão completa sobre fontes extragalácticas ver, por exemplo, Begelman et. al. (1984) e Peterson (1987).

### 2.1 Emissão das Radiofontes Extragalácticas

A emissão em rádio proveniente de fontes extragalácticas é atribuída, na maioria das vezes, a processos de radiação síncrotron. Para uma fonte com tamanho angular  $\theta$ , em um *redshift*<sup>3</sup>  $z$  e com uma distribuição de partículas com energia dada por  $N(E)dE \propto E^{-\gamma}$ , a frequência ( $\nu_m$ ) em que a densidade de fluxo alcança o seu valor máximo é dada por:

$$\nu_m \sim f(\gamma) B^{\frac{1}{5}} S_m^{\frac{2}{5}} \theta^{-\frac{4}{5}} (1+z)^{\frac{1}{5}} \text{ GHz}, \quad (2.1)$$

<sup>1</sup>um ano-luz é definido como a distância que a luz percorre em um ano e equivale a  $\sim 95 \times 10^{12}$  km

<sup>2</sup>1 parsec  $\approx 3.1 \times 10^{18}$  cm  $\approx 3.3$  anos-luz

<sup>3</sup>O *redshift* ou desvio para o vermelho de uma fonte, é causado pelo Efeito Doppler e pode ser calculado por  $1+z = 1 + \frac{v}{c} / \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$  ou, para  $v \ll c$ ,  $z \simeq \frac{v}{c}$

onde  $S_m$  é a densidade de fluxo dada em Jansky (Jy), o tamanho angular ( $\theta$ ) é dado em milissegundo de arco, o campo magnético ( $B$ ) é dado em Gauss, a frequência ( $\nu_m$ ) em GHz e  $\gamma \equiv \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{-\frac{1}{2}}$  ( $v$  é a velocidade da partícula e  $c$  a velocidade da luz), a função  $f(\gamma)$  depende fracamente de  $\gamma$ , se as partículas são relativísticas, com velocidade  $v = 0.75c$ ,  $\gamma = 2$  e  $f(\gamma) \sim 8$ .

O espectro de uma radiofonte é dado por uma lei de potência do tipo  $S \propto \nu^{-\alpha}$ , sendo  $\alpha$  o índice espectral. No caso de frequências entre 1 e 200 GHz, o espectro geralmente é plano ( $-0.3 \leq \alpha \leq 0.3$ ). Uma explicação para isto foi proposta por Kellerman e Pauliny-Toth (1981), em que os autores sugeriram que variações na opacidade, que ocorrem por toda a extensão da fonte, levam à observação de um espectro global que, na verdade, é a superposição de várias regiões descritas pela Equação 2.1. Esta superposição daria origem ao espectro plano observado em um determinado intervalo de frequências.

Por outro lado, Condon e Dressel (1973) propuseram que este efeito pode ser resultante de uma fonte com estrutura não uniforme, na qual o campo magnético e a distribuição de elétrons relativísticos decrescem em função do raio. Simulações numéricas para fontes contendo gradientes no campo magnético e na densidade de elétrons relativísticos Marscher (1977) e estudos baseados em dados de VLBI (*Very Long Baseline Interferometry*) mostraram que o espectro plano pode ser causado pela superposição de radiação síncrotron incoerente vinda de diversas componentes gerando um processo de auto-absorção (Owen et. al. (1980) e Cotton et. al (1980)).

Um exemplo de núcleo ativo bastante interessante é a galáxia Centaurus A (NGC 5128). Esta galáxia está situada no grupo de galáxias de M83 e emite fortemente em rádio e é do tipo lenticular. A parte principal da galáxia possui características de uma elíptica gigante mas existe uma faixa de poeira sobreposta ao centro, gerando uma forma de disco em torno da galáxia, esta estrutura pode ser resultante da fusão entre duas galáxias, uma gigante elíptica e uma pequena galáxia espiral Baade e Minkowski (1954). Centaurus A exibe duas vastas regiões de emissão em rádio que se iniciam na linha central do disco e estendem-se até centenas de anos-luz para ambos os lados. Botti e Abraham (1993) apresentam um estudo sobre a variação temporal da densidade de fluxo de Centaurus A, para uma revisão completa sobre esta galáxia, por exemplo, Israel (1998).

Outro exemplo de núcleo ativo é o quasar 3C273, uma radiofonte intensa da constelação de Virgo. É o quasar mais brilhante, no óptico, presente no céu e também bastante próximo, com um *redshift*  $z = 0.16$  Bennett (1962). Este quasar emite fortemente em rádio e sua luminosidade é variável em comprimentos de onda que vão desde rádio

até raios  $\gamma$ , em escalas de tempo que variam de alguns dias até décadas. A emissão polarizada deste objeto foi observada no rádio, infravermelho e no óptico, indicando que a emissão provém da radiação síncrotron.

## 2.2 Classificação de AGN's

A classificação de radiofontes extragalácticas não possui um padrão bem estabelecido. Muitas vezes elas são classificadas em função da técnica observacional com que foram detectadas ou das características de seu espectro. Isto ocorre em parte por conflitos nas observações em diferentes regiões no espectro eletromagnético, mas também devido à diversidade das atividades nucleares nestes tipos de galáxias. Geralmente cada tipo de objeto é classificado de acordo com suas propriedades observáveis e subdivididas de acordo com suas características internas. Dentre os vários objetos extragalácticos conhecidos, destacamos:

- **Quasares** (*quasi-stellar radio source*): são definidos pelas suas propriedades ópticas. Os quasares próximos têm um excesso de emissão no ultravioleta (UV), tornando estes objetos muito azuis. À medida que observamos quasares mais distantes, com *redshifts* maiores, a emissão no UV desloca-se para o óptico e mesmo para o infravermelho. A aparência quasi-estelar vem da imagem puntiforme destes objetos quando são observados no óptico e sua luminosidade bolométrica varia entre  $10^{45}$  e  $10^{48}$  erg s<sup>-1</sup>. Aproximadamente 10% dos quasares emitem fortemente em rádio (*radio loud*), o restante são os chamados *radio quiet*. A emissão em óptico no contínuo é variável sendo que os quasares *radio loud*, às vezes, são classificados como variáveis opticamente violentas (OVV) podendo variar seus fluxos por um fator 2 em menos de uma semana. Os objetos OVV possuem alto grau de polarização linear (10%), enquanto os *radio quiet* apresentam grau de polarização da ordem de 1%. Os quasares são encontrados mais freqüentemente em altos *redshifts* ( $z \gtrsim 1$ ). Os índices espectrais e a proporção da luminosidade integrada dos quasares varia de acordo com a parte do espectro eletromagnético observado (Burke e Graham-Smith, 1996), como mostramos na Tabela 2.1.

O espectro dos quasares, em rádio, apresenta grande variabilidade como pode ser visto na Figura 2.1, na qual mostramos o espectro de dois quasares e duas radiogaláxias. Tanto no caso dos quasares quanto no caso das radiogaláxias, pode-se observar a variabilidade na densidade de fluxos ao longo das faixas de freqüência estudadas. Quando um núcleo compacto pode ser claramente observado, o índice espectral é plano ( $\alpha = 0$ ). Os jatos e lóbulos são opticamente finos, com  $\alpha \approx 0.7$ . Originalmente, usava-se o termo QSO (*Quasi-Stellar Objects*), para objetos descobertos através de observações no óp-

Tabela 2.1 - Índices espectrais aproximados e proporção de luminosidade para várias faixas espectrais.

Faixa Espectral	Índice Espectral ( $\alpha$ )	Luminosidade (%)
Infravermelho à óptico	1	30
Óptico à ultravioleta	05	15
Ultravioleta à raios X	13	30
Raios X	07	25

tico, e quasar para objetos descobertos por sua forte emissão em rádio. Atualmente, usa-se quasar como sinônimo de QSO, independente de emitir fortemente em rádio ou não.

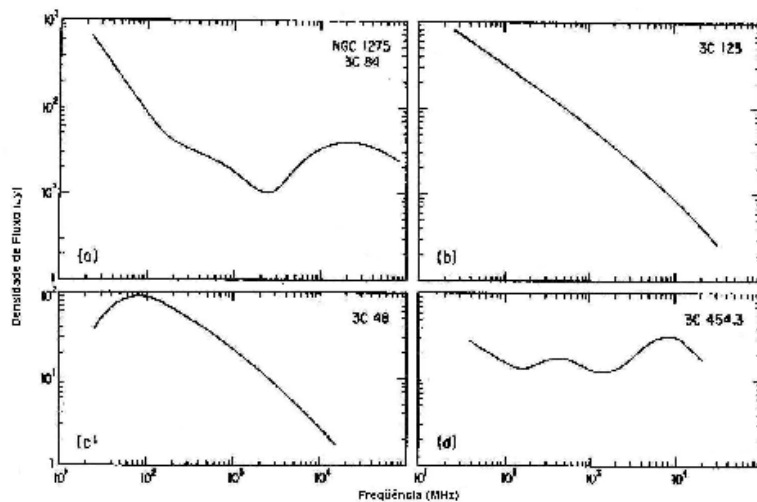


Figura 2.1 - Espectros típicos de radiogaláxias (3C 84 e 3C 123) e quasares (3C 48 e 3C 454.3).

Fonte: Burke e Graham-Smith (1996).

• **Galáxias Seyfert:** são as galáxias ativas mais freqüentes no Universo próximo e pelo menos 90% delas são espirais do tipo Sb ou SBb<sup>4</sup>. Dentre os AGN's as galáxias Seyfert são as que tem menor luminosidade, seu núcleo possui um espectro com um contínuo muito azul e linhas de emissão fortes. A luminosidade deste tipo de galáxia,

<sup>4</sup>A classificação morfológica de galáxias espirais é designada pelas siglas Sa, Sb e Sc quando não apresentam barra, as letras **a**, **b** e **c** referem-se ao nível de abertura dos braços espirais. No caso de apresentarem barra a letra **B** é incluída na designação.



em rádio, varia entre  $10^{39}$  e  $10^{41}$  erg s<sup>-1</sup> (Bruyn e Wilson, 1978) e são classificadas de acordo com a largura das linhas de emissão:

- **Seyfert 1:** possui linhas permitidas de emissão do H $\alpha$ , HeI e HeII largas provenientes de um gás de alta densidade eletrônica ( $n_e \gtrsim 10^8 \text{cm}^{-3}$ ) e linhas proibidas (OIII, NII e SII) estreitas produzidas em gás de baixa densidade ( $n_e \sim 10^3 - 10^6 \text{cm}^{-3}$ ). São altamente variáveis no óptico, ultravioleta (UV) e raios X. Cerca de 30% das Seyfert pertencem a esta subclasse;
  - **Seyfert 2:** apenas linhas de emissão estreitas são observadas, tanto as permitidas quanto as proibidas. Cerca de 60% das Seyfert são do tipo 2;
  - **Seyfert 1,2; 1,5 e 1,8:** esta classificação intermediária é baseada na aparência do espectro no óptico, em que ambas as componentes (largas e estreitas) são facilmente identificáveis (Osterbrock, 1977). Nas Seyfert **1,5** as linhas largas e estreitas em H $\beta$  são comparáveis. As classificações **1,2** e **1,8** são usadas para designar objetos com componentes estreitas de H $\beta$  relativamente fracas (**1,2**) e fortes (**1,8**), sendo um tipo intermediário entre as Seyfert **Seyfert 1 e 1,5** e **Seyfert 1,5 e 2**, respectivamente.
- **Radiogaláxias:** são galáxias que apresentam emissão em rádio muito maior que galáxias semelhantes, de mesma luminosidade óptica. Podem ser compactas (estrutura nuclear) ou extensas (com jatos e lóbulos). Uma radiogaláxia possui um núcleo (radiofonte) que emite 2 jatos simétricos de partículas relativísticas (em alguns casos apenas um jato é observado). Estes jatos colidem com o material gasoso da galáxia ou do meio intergaláctico e são desacelerados. Os lóbulos de emissão são encontrados ao final dos jatos e são formados pelo material que estes depositam. O campo magnético da radiogaláxia é responsável pela colimação dos jatos e o núcleo parece ceder material intermitentemente para os jatos. Dentro dos lóbulos de emissão estão os pontos onde a emissão é máxima e que são chamados de *hot spots*. A Figura 2.2 mostra uma imagem de alta resolução de uma radiogaláxia na qual podemos ver a fonte compacta central, um dos jatos e os lóbulos.

As radiogaláxias também podem ser divididas em duas classes:

- **Radiogaláxias de linhas largas:** em geral são galáxias elípticas com uma região central relativamente compacta. São exemplos deste tipo de objeto Cygnus A e 3C234;



Figura 2.2 - Imagem em alta resolução da radiofonte 3C 175. O quasar propriamente dito está associado à fonte compacta central.

Fonte: Gibilisco (2003)

- **Radiogaláxias de linhas estreitas:** são galáxias elípticas gigantes ou cDs. Virgo A é um exemplo deste tipo de galáxia.

A classificação de Fanaroff-Riley (Fanaroff e Riley, 1974) divide as radiogaláxias em duas classes (FR I e FR II):

FR I: são menos luminosas, possuem jatos duplos com a parte mais brilhante próximas ao núcleo, os lóbulos são fracos.

FR II: são mais luminosas e com lóbulos brilhantes, possuem apenas um jato. Esta classe está subdividida em FR IIA, com linhas de alta excitação e FR IIB, com linhas de baixa excitação.

As radiogaláxias de linhas estreitas podem ser tanto FR I quanto FR II, enquanto que as de linhas largas são apenas do tipo II. Existe uma relação entre a classificação de Fanaroff-Riley e a potência de emissão em rádio: há uma potência de corte (“break

power”) de aproximadamente  $1025 \text{ Watt Hz}^{-1}\text{sr}^{-1}$  na qual abaixo dela encontram-se as radiogaláxias do tipo FR-I e acima, as do tipo FR-II.

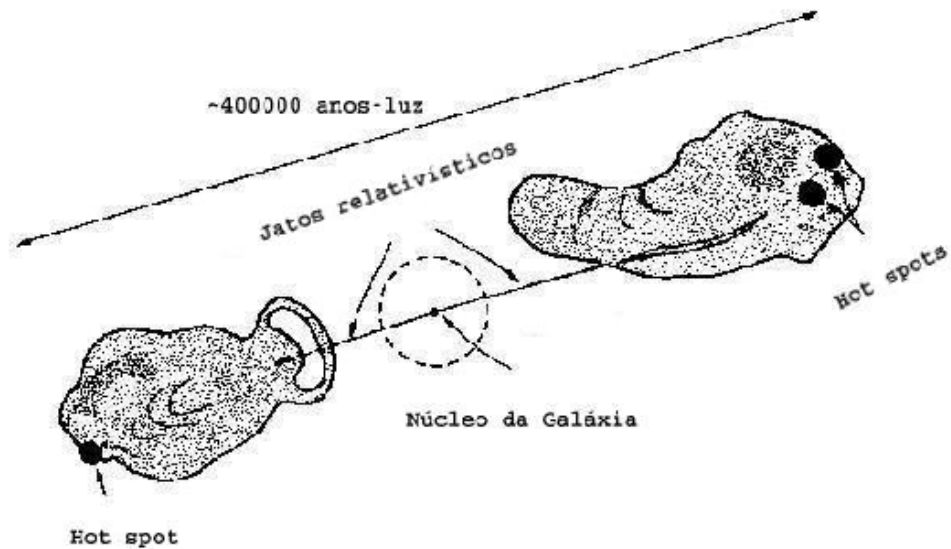


Figura 2.3 - Estrutura da radiofonte Cygnus A, mostrando a galáxia central, os lóbulos laterais e os *hot spots*.

Fonte: Adaptada de Kraus (1986).

Cygnus A (3C 405) foi a primeira radiogaláxia distante detectada, descoberta em 1954, e foi o primeiro indício de que o mecanismo de emissão das radiofontes é extremamente eficiente, com luminosidade da ordem de  $10^{46} \text{ ergs s}^{-1}$ . A radiofonte extragaláctica Cygnus A ( $\alpha = 19^{\text{h}}57'45''$  e  $\delta = 40^{\circ}44'01''$  - precessão J2000), possui dois lóbulos de emissão, cada um com aproximadamente 17 kpc de diâmetro, dentro dos quais estão os *hot spots*. Os jatos de Cygnus A têm um comprimento de 50 kpc, no final destes jatos encontram-se os lóbulos de emissão (Figura 2.3). Cygnus A apresenta também um elevado grau de polarização (em torno de 8% em  $\nu = 3,75 \text{ GHz}$ ).

- **Objetos *BL Lac*:** algumas vezes chamados de blazares, foram originalmente classificados como estrelas variáveis e chamados de *BL Lacertae*. Estes objetos são caracterizados por um espectro contínuo, não térmico e intenso, que faz com que o objeto praticamente não apresente linhas espectrais no óptico, tornando difícil estimar a sua distância. Os *BL Lac* têm variação temporal rápida de luminosidade (de até 30% em 24 horas). Diversos objetos em baixos *redshifts*, são circundados por uma fraca

nebulosidade óptica que sugerem que estes sejam galáxias elípticas.

### 2.3 Propriedades Observáveis e Classificação Empírica de AGN's

Como dito anteriormente os núcleos ativos formam um conjunto com diferentes nomes, critérios de detecção e características espectrais, de variabilidade e polarização. A taxonomia destes objetos vem de observações empíricas que buscam colocar ordem no vasto conjunto que formam o grupo dos AGN's. Na Tabela 2.2 apresentamos um resumo com vários tipos de núcleos ativos de galáxias organizados de acordo com sua forma de emissão em rádio (*radio loud* e *radio quiet*) e pelo seu espectro observado no óptico, isto é, se suas linhas de emissão são largas (Tipo 1), estreitas (Tipo 2), ou se possuem linhas de emissão fracas ou não usuais (Tipo 0) (Lawrence, 1987).

Tabela 2.2 - Taxonomia dos AGN's.

<b>Emissão em rádio</b>	<b>Tipo 2</b>	<b>Tipo 1</b>	<b>Tipo 0</b>
Radio-Quiet	Seyfert 2 NELG Quasar IV	Seyfert 1 QSO	Bal QSO
Radio-loud	FR I FR II	BLRG SSRQ FSRQ	BL Lac FSRQ

Baseado nas características do espectro no óptico e no ultravioleta, os AGN's são classificados nos três tipos mostrados na Tabela 2.2.

- **Tipo 1:** No grupo dos objetos *radio-quiet* estão as galáxias Seyfert 1 e os quasares (QSO) de alta luminosidade. Entre os objetos *radio-loud* do Tipo 1 estão as chamadas radiogaláxias de linhas largas (Broad-Line Radio Galaxies - BLRG) e os quasares de alta luminosidade, que podem ser de espectro inclinado (Steep Spectrum Radio Quasars - SSRQ) ou plano (Flat Spectrum Radio Quasars - FSRQ).
- **Tipo 2:** Os AGN's do tipo 2 incluem, no caso dos objetos *radio-quiet*, as Seyfert 2 e galáxias com linhas de emissão estreitas em raios X (Narrow Emission Line X-ray - NELG). No grupo dos objetos *radio-loud* estão as chamadas radiogaláxias de linhas estreitas (Narrow-Line Radio Galaxies - NLRG), incluindo as galáxias FR I e FR II.

- **Tipo 0:** Um pequeno grupo de AGN's com características espectrais pouco usuais estão incluídos neste grupo. Os objetos *BL Lacertae* (BL Lac) e também os FSRQ estão entre os objetos *radio-loud* presentes nesta classe, sendo que estes objetos também são chamados de blazares. Objetos que têm linhas de absorção com características pouco usuais no óptico e no ultravioleta, conhecidos como BAL (Broad Absorption Lines) quasares encontram-se nesta classificação, no grupo referente aos objetos *radio-quiet*.

## 2.4 Variabilidade dos Núcleos Ativos de Galáxia

Quasares, objetos *BL Lac* e galáxias Seyfert apresentam uma grande variabilidade temporal em vários comprimentos de onda, como pode ser visto na Figura 2.4 onde mostramos a variabilidade de duas galáxias Seyfert e de um objeto *BL Lac*, que mostram variabilidades bem características de radiofontes extragalácticas.

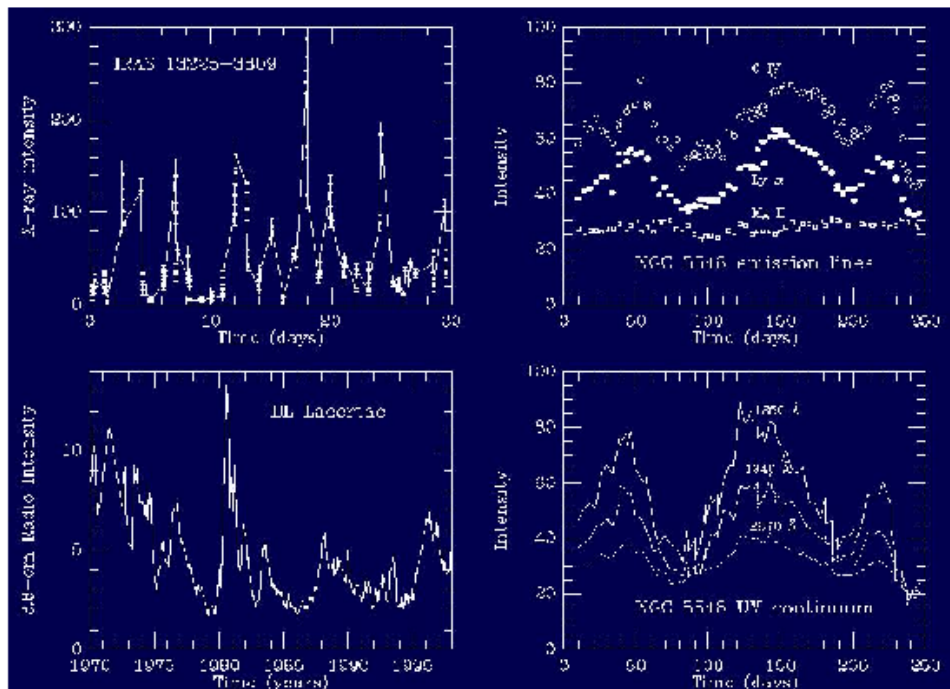


Figura 2.4 - Variabilidade dos núcleos ativos de três objetos: duas galáxias Seyfert (IRAS 13225-3809 e NGC 5548) e um *BL Lac*.

Fonte: Adaptada de ASTR. (2004)

Os objetos *BL Lac* mostram uma variabilidade bastante intensa com muitos “flares” que podem ocorrer ao mesmo tempo, a variação mostrada cobre um período de 28 anos, no qual foram calculadas as médias de intensidade a cada 5 dias.

Descobertas recentes mostram que as Seyfert 1 são contínua e fortemente variáveis na faixa de raios X (Boller et. al., 1995), como pode ser visto no gráfico mostrado utilizando dados do ROSAT da Seyfert IRAS 13224-3809. A variabilidade da galáxia NGC 5548 é mostrada em três comprimentos de onda ultravioleta (1350 Å, 1840 Å e 2570 Å) e comparadas com três linhas de emissão intensas que têm diferentes níveis de ionização (Mg II, Ly  $\alpha$  e C IV) e assim se sobressaem em diferentes níveis no gráfico. Comparando as três faixas do contínuo vemos que ele é mais variável no ultravioleta distante (1350 Å). O espectro Ly  $\alpha$  e as linhas do C IV seguem os mesmos padrões do UV próximo, enquanto que o Mg II apresenta pouca variabilidade.

## 2.5 Contagem de Fontes e Teste $\langle V/V_m \rangle$

As propriedades estatísticas da distribuição das radiofontes são importantes principalmente porque contêm importantes indícios das condições que proporcionaram a formação de um poderoso mecanismo de emissão no núcleo da galáxia e de como o desenvolvimento desta fonte é controlado por seu ambiente. Duas técnicas são comumente utilizadas no estudo estatístico das radiofontes: a contagem de fontes que foi simulada neste trabalho e o teste  $\langle V/V_m \rangle$  (Schmidt, 1968), que não foi feito pois depende da distância das fontes e não possuímos este dado, mas sobre o qual falaremos brevemente.

- A contagem de fontes de rádio em uma determinada área do céu, numa dada frequência, pode ser feita através de uma estimativa no número  $N(S)$  de fontes que excede uma densidade de fluxo  $S$ . Dessa forma pode-se obter informações sobre a densidade espacial das radiofontes. A grande vantagem deste método é o fato de não ser necessário conhecer a distância de cada objeto individualmente. A inclinação da reta num gráfico  $\log N \times \log S$  mostra como o número de fontes se distribui em função da densidade de fluxo. Existem na literatura resultados de contagem de radiofontes, e.g. Condon (1984), onde notamos que existe um maior número de fontes com baixas densidades de fluxo, indicando que a maior parte dos objetos encontram-se à grandes distâncias do observador.
- O teste  $\langle V/V_m \rangle$  é utilizado quando os *redshifts* para uma amostra limitada pelos fluxos de objetos extragalácticos são conhecidos. Supondo uma fonte

detectada a uma distância  $r$ , em um espaço Euclidiano, a distância máxima na qual esta fonte pode ser detectada é  $r_{max} = (L/4\pi S)^{1/2}$ , com  $F = L/4\pi r^2$  e  $F \geq S$ . Assim, o volume máximo  $V_{max}$ , ao redor do observador, que pode conter esta fonte é dado por:

$$V_{max} = \frac{4\pi r_{max}^3}{3} \quad (2.2)$$

Considerando muitas fontes, espera-se, para o caso de uma densidade uniforme, que 50% destas fontes estejam na primeira metade deste volume e que os outros 50% estejam na segunda metade. Sendo  $V$  o volume no qual o objeto está efetivamente localizado, a razão  $V/V_m$  será 0,5 se todos os objetos estiverem distribuídos uniformemente no espaço. Alguns resultados (e.g. Wills (1978) e Weedman (1986)) mostram que os valores do teste  $\langle V/V_m \rangle$  para quasares é superior a 0,5, mostrando que a população de quasares evolui com o tempo. Isto significa que havia mais quasares no passado do que atualmente (evolução em densidade) ou que as fontes individuais são mais fracas hoje do que eram no passado (evolução em luminosidade).





### 3 INSTRUMENTAÇÃO E DADOS OBSERVACIONAIS

Descreveremos neste Capítulo o telescópio BEAST, cujos dados foram utilizados neste trabalho, o processo de tratamento de dados e o processo de geração dos mapas de flutuações da Radiação Cósmica de Fundo em Microondas (RCFM), falaremos também dos mapas que foram utilizados no processo de detecção de fontes puntiformes.

#### 3.1 O telescópio BEAST (*Background Emission Anisotropy Scanning Telescope*)

Na década de 80 iniciou-se uma colaboração científica entre os grupos de Cosmologia Experimental do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e da Universidade da Califórnia em Santa Bárbara (UCSB) com o objetivo de desenvolver experimentos para medida das anisotropias da RCFM. Como fruto desta colaboração, diversos foram desenvolvidos: ACME (Advanced Cosmic Microwave Explorer - Meihold et. al. (1993)), MAX (Microwave Anisotropy Experiment - Fisher et. al. (1992)), HACME (HEMT's on ACME - Tegmark et. al. (2000)) e finalmente, o BEAST (Background Emission Anisotropy Scanning Telescope)- cujos dados foram utilizados no desenvolvimento deste trabalho.

O telescópio BEAST efetua medidas em frequências de 30,0 GHz (banda Ka) e 41,5 GHz (banda Q), com um total de oito canais: seis em 41,5 GHz e dois em 30,0 GHz. Porém, dois canais (banda Q) deixaram de operar durante o período de aquisição de dados, de forma que foram utilizados dados de apenas quatro canais da banda Q.

O BEAST foi projetado para operar tanto no solo quanto a bordo de balão estratosférico sendo formado por três subsistemas: o sistema óptico, o sistema de controle de apontamento e estabilização de atitude e o sistema de aquisição de dados. Descreveremos sucintamente o sistema óptico e a estratégia de observação do BEAST. O sistema de estabilização não influenciou diretamente no trabalho pois os dados utilizados foram adquiridos no solo. Uma descrição detalhada do telescópio BEAST e da técnica de observação realizada pode ser encontrado em Childers et al. (2004).

- **O Sistema óptico:** o telescópio utilizado possui uma configuração do tipo gregoriano não axial. O sistema óptico projetado consiste em um espelho primário paraboloidal e um espelho secundário elipsoidal (Figura 3.1). Existe ainda um espelho plano circular giratório, com uma inclinação de cerca de  $2^\circ$  em relação ao seu eixo de rotação que é responsável pela varredura do feixe de cada corneta no céu. Uma descrição mais detalhada do sistema óptico do

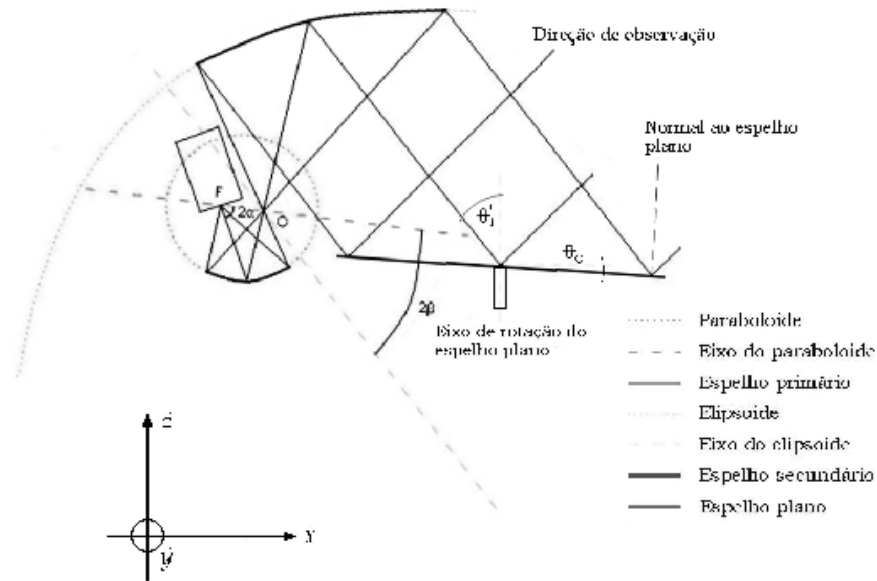


Figura 3.1 - Desenho do sistema óptico do BEAST mostrando as posições dos 3 espelhos que o compõem.

Fonte: Mejia (2004).

BEAST pode ser vista em Figueiredo et. al. (2004). A configuração escolhida é vantajosa por ser compacta e por não apresentar efeitos de obscurecimento do espelho primário pelo secundário ou pelos detectores, como acontece com sistemas axiais. As Tabelas 3.1 e 3.2 mostram os principais parâmetros do telescópio BEAST.

Tabela 3.1 - Características do telescópio BEAST.

	<b>Ka</b>	<b>Q</b>
número de cornetas	2	6
intervalo de frequência (GHz)	25–35	38–45
largura do feixe (FWHM) minutos de arco	31	23
área efetiva (m <sup>2</sup> )	1,085	1,031

Tabela 3.2 - Medidas dos espelhos do telescópio BEAST.

<b>Espelho</b>	<b>Medida (mm)</b>
primário (semi-eixo maior)	2200
secundário (semi-eixo maior)	600
plano (diâmetro)	2600

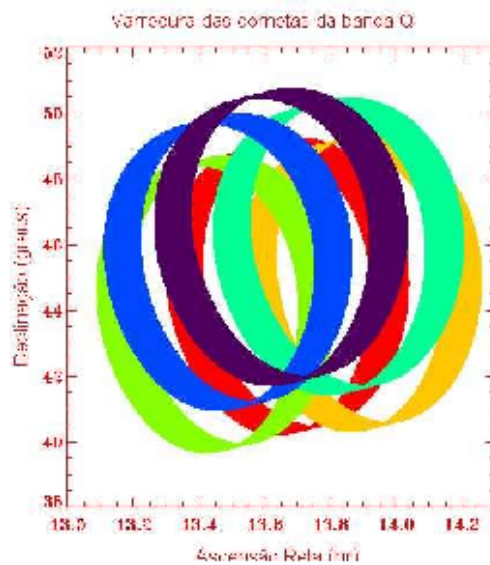


Figura 3.2 - Esquema da área coberta no céu pelo movimento de varredura dos feixes do BEAST. A figura mostra a trajetória das seis cornetas originais da banda Q.

- Estratégia de observação:** dois movimentos distintos compõem a atual estratégia de observação do BEAST no solo. O primeiro é devido à rotação do espelho plano giratório e o segundo à rotação aparente do céu. O primeiro movimento é o que apresenta a menor escala de tempo ( $\sim 2$  Hz). Esse espelho gira em torno de um eixo apontado para o zênite e, devido ao movimento de rotação da Terra, a região que do céu que está sendo observada varia. A rotação do espelho faz com que o plano focal receba um sinal cuja trajetória projetada no céu é descrita por uma elipse (Figura 3.2). A combinação desta rotação com o movimento aparente do céu faz com que, a cada 24 horas, a região observada tenha a forma um anel, centrado no pólo norte celeste, e com



Figura 3.3 - Foto do Telescópio BEAST em frente ao prédio do departamento de Física da UCSB. O espelho plano encontra-se na parte inferior da gôndola, o parabolóide apresenta a superfície refletora visível na parte superior.

Fonte: INPE (2004).

$\sim 10^\circ$  de largura em declinação ( $0h < \alpha < 24h$  e  $33^\circ \lesssim \delta \lesssim 42^\circ$ ). O BEAST (Figura 3.3), atualmente, opera no solo em White Mountain, Califórnia, EUA.

A sensibilidade (temperatura mínima detectável) de um radiotelescópio é dada por (e.g, Kraus (1986)):

$$\Delta T_{min} = \frac{K_s T_{sis}}{\sqrt{(\Delta\nu)tn}}, \quad (3.1)$$

sendo,  $\Delta T_{min}$  a sensibilidade ou temperatura mínima detectável (K),  $K_s$  a constante de sensibilidade (adimensional),  $T_{sis}$  a temperatura de ruído do sistema (K),  $\Delta\nu$  a largura da banda estudada (Hz),  $t$  é o tempo de integração (s) e  $n$  o número de observações.

No caso do BEAST, os receptores utilizados são de potência total ( $K_s = 1$ ) e o tempo de integração é fixado em  $800\mu s$ . Na Tabela 3.3, apresentamos os parâmetros utilizados

para os cálculos aplicados à Equação 3.1, a sensibilidade do BEAST e o fluxo mínimo detectável ( $S_{min}$ ) para cada canal e para a combinação deles.

Tabela 3.3 - Parâmetros utilizados e valores da sensibilidade e fluxo mínimo detectável pelo BEAST.

Canal	$T_{sis}$ (K)	$\Delta\nu$	$n$	$\Delta T_{min}$ (K)	$S_{min}$ (Jy)
2	24,3	$4,54 \times 10^9$	4463,06	$1,91 \times 10^{-4}$	0,51
3	35,8	$3,72 \times 10^9$	3710,28	$3,41 \times 10^{-4}$	0,91
4	27,8	$4,37 \times 10^9$	3999,17	$2,35 \times 10^{-4}$	0,63
5	35,6	$5,08 \times 10^9$	4529,49	$2,62 \times 10^{-4}$	0,67
6	23,1	$4,56 \times 10^9$	4603,72	$1,78 \times 10^{-4}$	0,45
7	31,0	$3,58 \times 10^9$	4442,57	$2,75 \times 10^{-4}$	0,74
Q	29,72	$4,05 \times 10^9$	12899,40	$1,54 \times 10^{-4}$	0,39
Ka	29,35	$4,82 \times 10^9$	7548,14	$1,72 \times 10^{-4}$	0,44

### 3.2 Tratamento de Dados

Um radiotelescópio pode ser entendido como uma antena sensível às oscilações em comprimentos de onda na faixa de rádio do espectro eletromagnético (que varia desde alguns metros até alguns milímetros). O papel da antena é atuar como um guia de onda para a radiação que está se propagando livremente pelo espaço. O radiômetro mede a corrente elétrica que a onda eletromagnética induz na antena e esta corrente possui, originalmente, duas componentes, sendo uma alternada (AC) e uma contínua (DC). Durante o processo de coleta de dados, as componentes contínuas (inclusive a componente contínua do sinal da RCFM) são bloqueadas, restando apenas a componente alternada. É a partir do valor desta corrente que a temperatura do pixel é determinada e registrada.

Os dados obtidos para cada canal constituem as séries temporais de dados (TOD - *Time Ordered Data*), que serão usadas para gerar os mapas da RCFM. Para que os mapas sejam feitos, as TOD brutas devem passar por um processo de limpeza, no qual serão retirados os efeitos eletrônicos, da atmosfera e diversos fatores de contaminação externa que possam ter sido registrados durante o processo de aquisição dos dados (causados, por exemplo, por aviões, satélites e outros). A partir dos dados limpos (TOD filtrada) serão gerados mapas de temperatura para a região do céu observada para cada frequência analisada. Apesar de passar por este processo inicial de filtragem as TOD ainda

possuem contaminantes de origem astronômica, que se superpõem ao sinal da RCFM (os chamados *foregrounds*), como a emissão da Galáxia e fontes puntiformes. Estes contaminantes também devem ser removidos para obter o sinal cosmológico original da RCFM, através do qual é possível determinar o espectro de potência das flutuações de temperatura e estimar os parâmetros cosmológicos, que são o objetivo final dos trabalhos em RCFM.

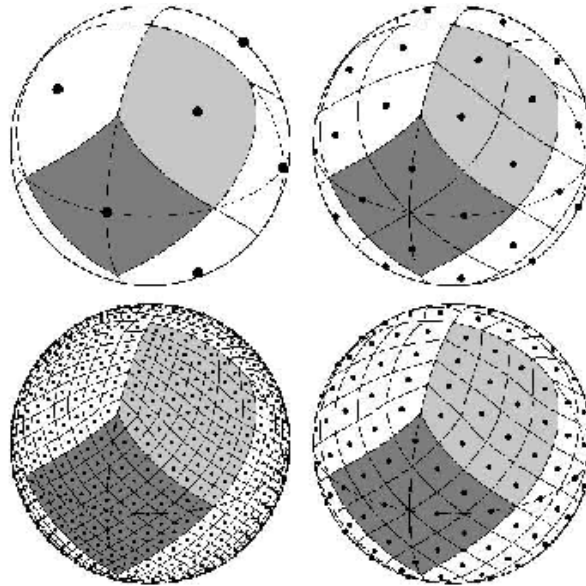


Figura 3.4 - Esquema da Pixelização HEALPix para 3 estágios partindo do pixel base, isto é, a esfera é fracionada (sentido horário) em 12, 48, 192 e 768 pixels ( $N_{\text{side}} = 1, 2, 4 \text{ e } 8$ ).

Fonte: HeALPix (2004).

O método de pixelização escolhido para gerar os mapas do BEAST foi o HEALPix (*Hierarchical Equal Area isoLatitude Pixelisation of the sphere*). Este sistema foi originalmente desenvolvido por Gorski et. al. (2000) e utilizados em experimentos como o WMAP e, futuramente, o Planck. A esfera celeste é dividida em 12 pixels base (que corresponde à mais baixa resolução possível), sendo que cada um desses 12 pixels pode ser subdividido em um número de partes ( $N_{\text{side}}^2$ ) que é sempre uma potência de 2, determinado pelo usuário (Figura 3.4) até o limite de 1024. Dessa forma, qualquer área do céu tem a mesma resolução. Os pixels são distribuídos sobre linhas de latitude constante. Esta propriedade é importante para todas as análises que utilizam propriedades de simetria, tais como a expansão em funções de base utilizando harmônicos esféricos. No caso do BEAST, utilizamos o valor  $N_{\text{side}} = 512$ . Um mapa com este número de

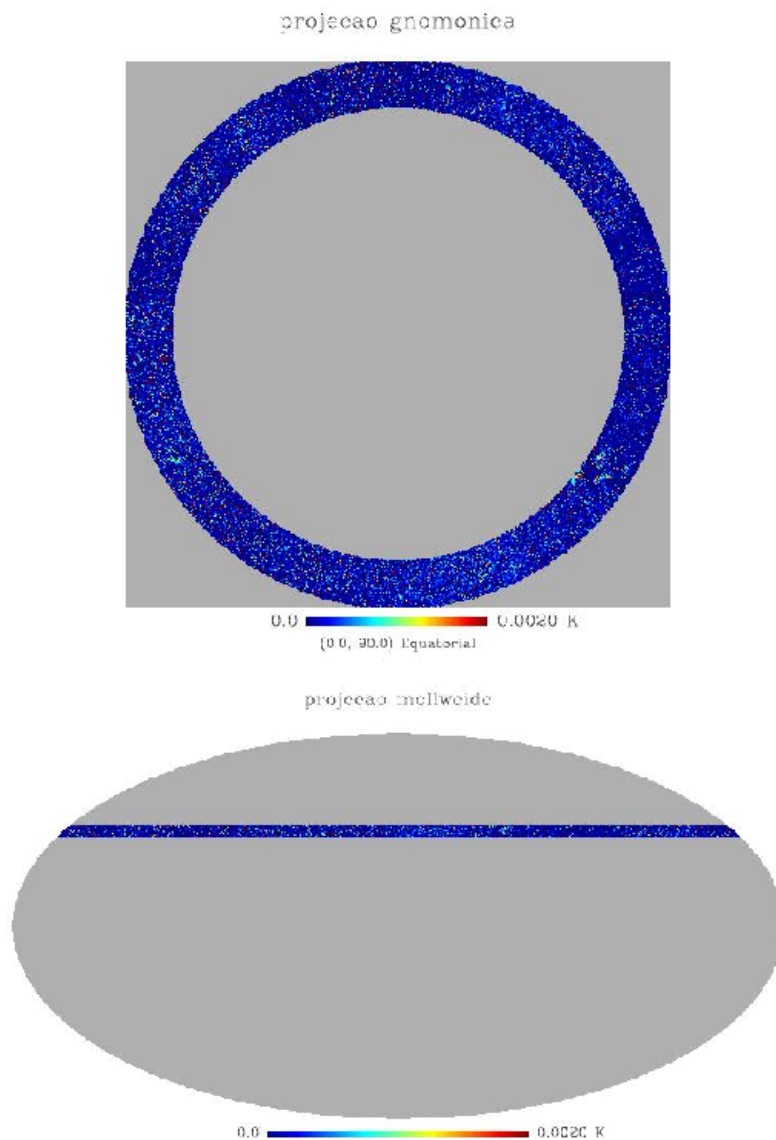


Figura 3.5 - Mapa de temperaturas do BEAST para a banda Q nas projeções gnomônica (painel superior) e *Mollweide* (painel inferior), as coordenadas da projeção gnomônica estão centradas no pólo Norte celeste.

subdivisões possui um total de 3.145.728 pixels ( $N_{\text{pix}} = 12 \times N_{\text{side}}^2$ ), com resolução angular de aproximadamente 7 minutos de arco.

Os mapas gerados com o método HEALPix podem utilizar o sistema de coordenadas galácticas (caso do WMAP) ou celestes (caso do BEAST), podendo ser projetados no outro sistema de coordenadas. Cada mapa obtido pode ser visualizado em diferentes projeções, entre elas, a projeção gnomônica, que é uma projeção radial e a projeção *Mollweide*, na qual a esfera celeste é mostrada dentro de uma elipse. Na Figura 3.5

mostramos um mapa do BEAST nas duas projeções. No exemplo mostrado a projeção gnomônica está centrada no pólo Norte celeste.

### 3.3 Os Mapas Utilizados

A primeira etapa deste trabalho foi dedicada a otimizar um programa de produção de mapas já existente, aprimorando o método e diminuindo o tempo computacional gasto no processo. O programa desenvolvido na linguagem de programação IDL gera, a partir da TOD bruta arquivos em formato **FITS** (*Flexible Image Transport System*, Hanisch et. al. (2001)). Estes arquivos representam o céu inteiro e armazenam informações sobre o número de observações, a temperatura e a variância da temperatura de cada pixel.

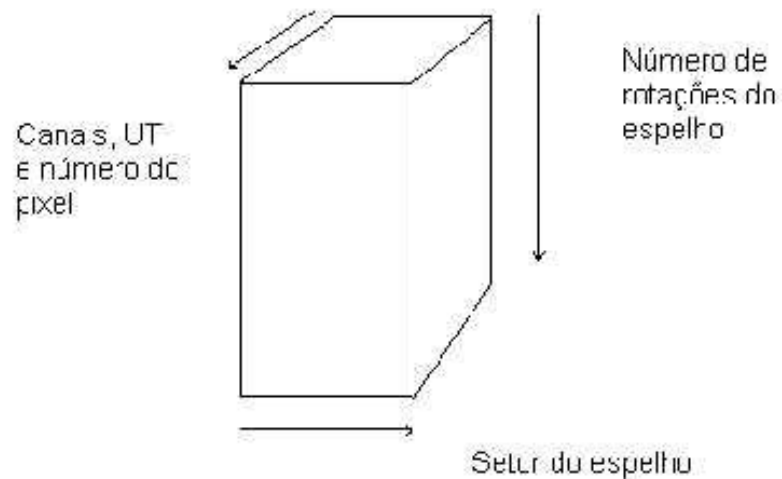


Figura 3.6 - Diagrama mostrando o formato dos arquivos que contém os dados brutos do BEAST.

Os dados do BEAST (TOD bruta) estão em blocos de dados (matriz 3-D) como mostrado na Figura 3.6. A primeira dimensão (profundidade) possui um total de 15 elementos (1:15) que correspondem ao tempo universal (1), elevação (2) temperaturas nos canais medidos (3-8), *goodness-of-data flag* (9) e o número do pixel HEALPix para cada um dos canais medidos (10-15). Na segunda dimensão (largura) estão armazenados as posições do espelho plano (1:250) as quais os dados se referem e a terceira dimensão (altura) armazena o número de rotações do espelho plano (da ordem de 5.000 a 6.000 por hora).

O *goodness-of-data flag* é utilizado para determinar se um dado bloco de observações



por pixel tem qualidade suficiente para ser utilizado na produção dos mapas. Os efeitos da atmosfera foram removidos fazendo-se a média das temperaturas de todos os pixels válidos e subtraindo este valor da temperatura de cada pixel. Após a remoção dos efeitos da atmosfera utilizamos um filtro passa-altas em 10 Hz, que eliminou ruídos sistemáticos e também um sinal com frequência em torno de 2 Hz que é causado pela rotação do espelho plano.

Os mapas do BEAST foram feitos através das médias das temperaturas de cada pixel sendo que, no programa utilizado, calculamos a média simples para dados coletados num mesmo dia (mapas diários) e média ponderada pela variância para o caso de dias diferentes (mapas combinados). Primeiro foram feitos os mapas de cada dia e depois combinados formando um mapa total para cada canal. O programa permite que os mapas diários e a soma de todos os dias analisados sejam salvos. Isto possibilitou a identificação nos mapas combinados de regiões do céu com dados problemáticos e que não tenham sido retirados com o filtro. Através dos mapas diários identificamos as horas com problemas (horas com apenas zeros e outras com a mesma temperatura repetida em todas as medidas) e as retiramos do conjunto total de dados.

A área observada pelo BEAST cobre cerca  $\sim 5\%$  do céu. Nas demais áreas em que não há observações, as temperaturas e variâncias receberam um valor padrão indicando a inexistência de informações para qualquer arquivo que utiliza o sistema HEALPix. O valor definido (*missing value*,  $-1.63750 \times 10^{30}$ ) é suficientemente pequeno, de forma a não corresponder a nenhuma medida real de temperatura.

Neste trabalho utilizamos 527 horas de observação, distribuídas ao longo de 45 dias de dados coletados nos anos de 2001 e 2002. Inicialmente, foram produzidos 45 mapas diários para cada canal. Esses mapas diários foram somados para produzir 6 mapas de 45 dias de observação (2 para a banda Ka e 4 para a banda Q). Finalmente, os mapas de cada banda foram combinados em 2 mapas: um com 45 dias de observações dos 2 canais da banda Ka e outro com os 45 de observação dos 4 canais da banda Q.

Os mapas de cada canal passaram por um processo de suavização utilizando uma rotina do HEALPix (*smoothing*) que suaviza os mapas no espaço de Fourier com um feixe gaussiano de tamanho definido pelo usuário (FWHM). Estes mapas suavizados auxiliaram na identificação visual das candidatas à fonte. Na Figura 3.7 mostramos um exemplo de um mapa do BEAST antes e após a suavização.

Nos mapas obtidos, existe uma região superamostrada correspondente à borda da região observada pelo BEAST. Esta super-amostragem é um efeito do esquema de varredura

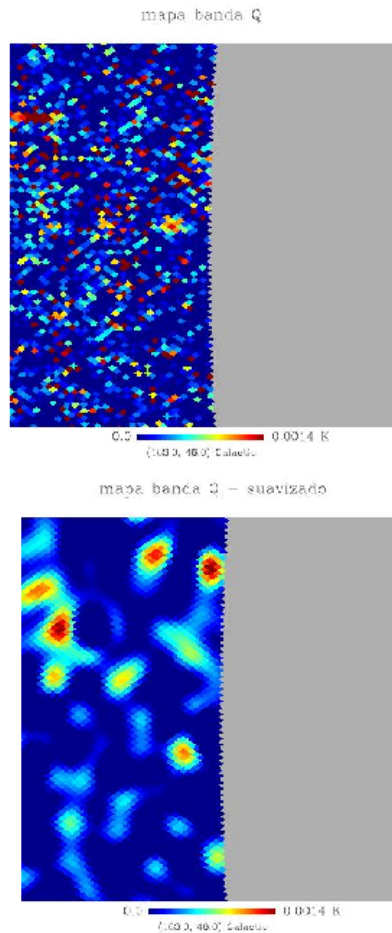
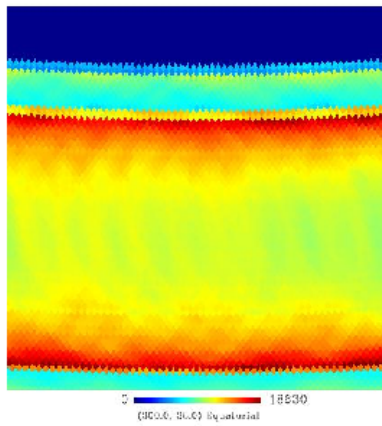


Figura 3.7 - Mapa de temperaturas do BEAST (em Kelvin) para o canal 2, sem a suavização (painel superior) e suavizado (painel inferior). No mapa suavizado podemos notar a distribuição do sinal do pixel mais quente ao seu redor.

do telescópio e é causada pela rotação do espelho plano. A fim de evitar detecções espúrias nas bordas, os pixels referentes a estas regiões foram retirados dos mapas e tiveram os seus valores de temperatura substituídos pelo *missing value*, tanto nos mapas por canal, quanto nos mapas combinados das bandas Ka e Q.

No caso dos mapas da banda Ka e da banda Q, foram retiradas também as regiões que não foram observadas por todos os canais, de modo a ficar apenas com as áreas comuns aos quatro canais da banda Q e aos dois canais da banda Ka. Com isso, mesmo tendo uma área observada de cerca de 5% do céu, utilizamos uma faixa de aproximadamente 3% para a detecção de fontes. Na Figura 3.8 mostramos um corte do mapa de número de observações da banda Q, antes e depois da retirada das regiões que não eram comuns a todos os mapas. Os mapas utilizados no processo de detecção de fontes foram os mapas

mapa do numero de observacoes - sem corte



mapa do numero de observacoes - com corte

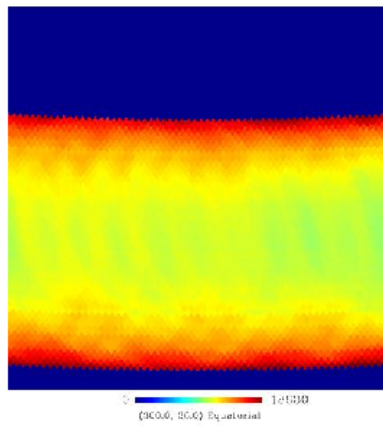


Figura 3.8 - Mapa do número de observações da banda Q (41,5 GHz), antes (painel superior) e depois (painel inferior) do corte aplicado para as regiões que não eram comuns a todos os mapas (região de Cygnus A).

de cada canal (2 da banda Ka e 4 da banda Q) e os mapas combinados dos 45 dias de dados dos 2 canais da banda Ka e dos 4 canais da banda Q.

## 4 Metodologia de Pesquisa

O trabalho de pesquisa foi desenvolvido em duas etapas. Na primeira parte do trabalho realizamos o procedimento de detecção, identificação e determinação do índice espectral de fontes puntiformes presentes na região observada pelo BEAST. Na segunda etapa, realizamos um conjunto de simulações Monte Carlo para estimar o número de fontes esperadas em função da densidade de fluxo para céu inteiro e para a região do BEAST.

### 4.1 Detecção das Fontes

O processo de detecção das radiofontes presentes nos mapas gerados com dados do telescópio BEAST, foi desenvolvido em três etapas: desenvolvimento e aplicação de um programa para a detecção de possíveis candidatas à fonte, seleção das candidatas encontradas nas bandas Ka e Q e identificação das candidatas à fonte, presentes nas duas bandas, em catálogos de radiofontes.

#### 4.1.1 O Programa de Detecção de Fontes

O programa que desenvolvemos para detectar fontes de rádio nos mapas do BEAST foi feito em IDL (*The Interactive Data Language*). A rotina realiza uma varredura nos mapas de entrada e seleciona prováveis candidatas à fonte utilizando um método de corte em função da intensidade do sinal como pode ser visto na Figura 4.1. Com este método, os pixels que têm uma razão sinal-ruído maior que um certo limite são identificados como prováveis candidatos à fonte.

A razão sinal-ruído ( $S/R$ ) é uma medida que quantifica o quanto a amplitude de um determinado sinal está acima do nível de ruído de um conjunto de dados. Para casos em que  $S/R < 1$  o sinal não se sobressai ao ruído. Se  $S/R \gtrsim 1$  o sinal supera o ruído do conjunto de dados.

Figura 4.1 - Representação do esquema de corte *threshold* mostrando uma fonte puntiforme e uma fonte extensa. O sinal que está acima do nível de detecção estabelecido ( $3\sigma$ ) é considerado provável candidato à fonte.

Fonte: Adaptada de Da Rocha (2004).

A razão sinal-ruído ( $S/R$ ) por pixel foi calculada utilizando a expressão:

$$\frac{S}{R} = \frac{T}{\sqrt{\sigma^2 + (RMS)^2}}, \quad (4.1)$$

em que  $\sigma^2$  é a variância da temperatura do pixel e  $RMS$  pode ser definido como o ruído do mapa. Para calcular o ruído foram feitos dois mapas, cada um com metade do tempo total de observação. Após a subtração do primeiro mapa pelo segundo, calculamos o desvio padrão dos mapas completos e o desvio padrão após a subtração da região da Galáxia. A retirada da contribuição galáctica foi feita cortando-se dos mapas a região em que  $|b| > 17,5^\circ$ .

Os valores obtidos no cálculo do  $RMS$  com e sem a Galáxia estão listados na Tabela 4.1. Todos os valores de  $RMS$  foram calculados sem a região de pixels superamostrados descrita na Seção 3.3. Na detecção das candidatas à fonte foram utilizados os valores sem a região da Galáxia.

A razão sinal-ruído foi calculada utilizando a variância ( $\sigma$ ) da temperatura de cada pixel e não apenas o  $RMS$  do mapa, a fim de considerarmos também uma medida do erro da temperatura. Contudo, a inclusão desta medida de erro, pode levar a uma estimativa da  $S/R$  diferente da usual, fazendo que esta razão, no nosso trabalho, esteja subestimada. Em outras palavras, o ruído do mapa pode estar superestimado.

Tabela 4.1 - Valores  $RMS$  do ruído para cada canal e para as bandas Ka e Q.

Canal/Banda	Valor com a Galáxia (K)	Valor sem a Galáxia (K)
2	$8,157 \times 10^{-4}$	$3,107 \times 10^{-7}$
3	$4,539 \times 10^{-3}$	$5,622 \times 10^{-6}$
4	$1,029 \times 10^{-3}$	$1,069 \times 10^{-7}$
5	$1,702 \times 10^{-3}$	$4,137 \times 10^{-7}$
6	$1,851 \times 10^{-3}$	$3,881 \times 10^{-7}$
7	$1,387 \times 10^{-3}$	$4,289 \times 10^{-7}$
Ka	$1,821 \times 10^{-3}$	$1,617 \times 10^{-6}$
Q	$2,914 \times 10^{-3}$	$2.049 \times 10^{-7}$

Os mapas gerados com os dados do telescópio BEAST possuem uma variância média da ordem de  $2,1 \times 10^{-3}K$  para a banda Q e  $4,7 \times 10^{-3}K$  para a banda Ka, que são da mesma ordem de grandeza dos valores das temperaturas das duas bandas. Todos os

pixels foram observados mais de 3000 vezes, por isso nenhum critério quanto ao número mínimo de observações foi estabelecido.

Utilizando a Equação 4.1 para o cálculo da razão sinal-ruído do pixel central de Cygnus A na banda Q, obtivemos o valor de 2,226 (para uma temperatura do pixel central de  $T_c = 6,491 \times 10^{-3}$  K e uma variância na temperatura de  $\sigma = 2,916 \times 10^{-3}$  K). Uma vez que Cygnus A é uma fonte claramente visível nos mapas e considerando-se que a temperatura do pixel central é alta em relação aos demais pixels dos mapas, espera-se que as prováveis candidatas à fonte tenham uma razão sinal-ruído mais baixa.

O cálculo da razão sinal-ruído de Cygnus A mostrou que o ruído, no nosso caso, está superestimado. Usualmente, utiliza-se o valor 3 como critério de corte porém, se utilizássemos este valor, não detectaríamos nada, nem mesmo fontes cuja presença já tínhamos conhecimento prévio.

Com a razão sinal-ruído de Cygnus A determinada, estabelecemos como critério de corte que os pixels selecionados tivessem  $S/R$  maior que 0,1. Desta forma, eliminamos todos os pixels com temperaturas negativas que, obviamente, não são fontes, sem correr o risco de não detectar alguma possível fonte por ter uma razão sinal-ruído subestimada.

No caso do mapas da banda Ka, as variâncias ( $\sigma$ ) eram bem mais altas do que na banda Q, o que levou a uma superestimativa do ruído maior que na banda Q. Nesta banda, as razões sinal-ruído obtidas foram sempre menores que 1. Apesar disto, as identificações foram confirmadas por estarem presentes na banda Q (com  $S/R > 1$ ) e também por terem seu sinal visível no mapa suavizado, que foi utilizado para garantir que estávamos selecionando candidatas à fonte, e não ruído.

O processo de suavização faz com que o sinal do pixel referente a candidata à fonte seja diluído num feixe gaussiano com largura pré-determinada (no caso do BEAST, 23' para a banda Q e 31' para a banda Ka) diminuindo o valor da temperatura do pixel central. Porém, a suavização minimiza o ruído, de forma que o sinal da candidata à fonte fica bastante visível, mesmo com sua temperatura diminuída. Assim, um pixel só foi considerado candidato à fonte depois de ter sido verificada a presença do seu sinal nos mapas suavizados, mesmo para a banda Q, cujo mapa é menos ruidoso do que o da banda Ka.

Outros dois critérios de corte foram estabelecidos. Para descartar a contribuição da Galáxia estabelecemos  $|b| > 17,5^\circ$  (Mejia, 2004), em que  $b$  é a latitude galáctica. Uma vez que a região da Galáxia é predominantemente composta de estruturas extensas e

quentes, qualquer fonte presente nesta região não tem o seu sinal detectado, pois o sinal proveniente das estruturas Galácticas é superior ao de qualquer fonte extragaláctica. Também estabelecemos um corte em declinação que varia para cada corneta, a fim de evitar qualquer detecção espúria nas bordas da região do céu representada.

Após a definição dos critérios de corte desenvolvemos uma rotina que gerou, a partir de um mapa de entrada, uma lista de pixels que tinham a razão sinal-ruído acima do limite de corte estabelecido, cada pixel selecionado teve suas coordenadas (em ascensão reta e elevação –  $\alpha$  e  $\delta$ , respectivamente) calculadas em coordenadas galácticas. Assim, as coordenadas de cada pixel foram lidas e comparadas com os critérios de corte em declinação e latitude galácticas. Os pixels que obedeceram às condições acima foram incluídos numa lista contendo o número da fonte, o número do pixel HEALPix, a ascensão reta (em horas), a declinação (em graus), a longitude e a latitude galácticas (em graus), a temperatura do pixel (em Kelvin) e a razão sinal-ruído.

Nesta lista de saída estão todos os pixels que obedeceram aos critérios de corte mesmo que estejam relacionados a uma mesma candidata a fonte. Com o objetivo de eliminar pixels vizinhos, esta lista foi utilizado em um programa desenvolvido em C, que calcula as distâncias entre cada pixel. Caso a distância entre dois pixels fosse menor que  $0,3^\circ$  eles foram considerados vizinhos e apenas o pixel com o maior valor de temperatura foi mantido na lista. Dessa forma, o arquivo final é uma listagem que contém apenas o pixel de maior temperatura de uma candidata à fonte. Com estas listas demos continuidade ao processo de identificação.

Em Agosto de 2003 foram divulgados os resultados do primeiro ano de observação do satélite WMAP. O trabalho publicado por Bennett et. al. (2003a) mostrou, de um total de 208 fontes puntiformes identificadas no céu inteiro, 16 detecções na região do céu observada pelo BEAST. Destas fontes, quatro foram identificadas visualmente nos mapas das bandas Ka e Q antes do corte de pixels superamostrados. Após este corte, duas continuavam na faixa de observação que restou. Estas duas fontes serviram como teste do método de detecção, isto é, ao realizar todo o procedimento estabelecido, estas duas fontes deveriam ser identificadas.

#### **4.1.2 Verificação de Contrapartida nas Bandas Ka e Q**

A comparação entre as listas disponíveis foi feita através de um programa que compara as posições dos pixels de cada arquivo de entrada dentro de um raio de busca pré-estabelecido. Um arquivo de saída fornece a relação das candidatas à fonte encontrados nos arquivos de entrada, dentro da área de busca estabelecida.



Na comparação de distâncias entre os pixels para as listas obtidas pelos mapas individuais, as fontes do WMAP não foram detectadas e nenhum pixel apresentou contrapartida em todos os mapas disponíveis utilizando dois raios de busca,  $0,2^\circ$  (raio do feixe na banda Q) e  $0,4^\circ$ . Com isso, verificamos que os mapas dos canais individuais não possuem sensibilidade suficiente para detectar fontes puntiformes.

No caso dos mapas combinados para cada banda, a lista para a banda Ka tinha um total de 1557 pixels e a da banda Q um total de 2240 pixels identificados. Utilizando um raio de busca de  $0,2^\circ$  obtivemos um arquivo de saída com 310 identificações como correspondentes, dentro da área de busca estabelecida.

Com os pixels presentes nesta lista, verificamos um a um nos mapas das duas bandas quais eram *hot pixels* (apenas um pixel numa região fria e não um conjunto deles), para isso utilizamos, além dos mapas de temperatura, os mapas suavizados de cada banda. Neste processo, eliminamos a maioria dos pixels e elaboramos uma lista final com 27 candidatas à fonte. Para esta relação realizamos a terceira parte do processo de identificação.

#### 4.1.3 Busca de Contrapartida nos Catálogos de Radiofontes

A ferramenta de busca utilizada para a verificação da contrapartida das 27 candidatas à fonte em catálogos existentes foi o NED<sup>1</sup> (*NASA/IPAC Extragalactic Database*). O NED fornece, a partir de alguns parâmetros de entrada, uma relação com os objetos existentes nos diversos catálogos disponíveis. Além do nome do objeto e do catálogo ao qual está relacionado, existem outras informações disponíveis, tais como: artigos referentes ao objeto, densidade de fluxo, frequências observadas, índice espectral, tamanho do objeto, entre outras.

A pesquisa no NED pode ser feita por nome, coordenadas, formato na IAU (*International Astronomical Union*) ou referências. Existe ainda uma opção avançada de busca, que foi usada neste trabalho, que permite especificar a densidade de fluxo, intervalo de frequência e intervalo de posições em ascensão reta e declinação e/ou em longitude e latitude galácticas.

Para a lista de candidatas à fonte do BEAST, a procura foi realizada com os seguintes parâmetros: área de busca de  $02 \times 02$  centrada nas coordenadas da fonte, densidade de fluxo mínima de 0,05 Jy e frequências de observação entre  $30 < \nu \leq 300$  GHz e  $\nu \leq 30$  GHz. Com isso nos certificamos de cobrir não só a região espectral observada pelo

---

<sup>1</sup>disponível em <http://nedwww.ipac.caltech.edu>

BEAST, mas também frequências inferiores e objetos com baixa densidade de fluxo, sempre levando em consideração a largura do feixe do telescópio. Das 27 candidatas à fonte pesquisadas, 15 apresentaram contrapartidas na literatura.

## 4.2 Determinação do Fluxo das Fontes

Conhecendo-se a temperatura de uma fonte, é possível calcular a densidade de fluxo desta através da relação, e.g. Kraus (1986):

$$S = \frac{2kT_A}{A_e} \quad (4.2)$$

sendo  $S$  a densidade de fluxo da fonte ( $\text{watts m}^{-2} \text{ Hz}^{-1}$ ),  $k$  a constante de Boltzmann ( $1,38 \times 10^{-23} \text{ joule K}^{-1}$ ),  $T_A$  a temperatura de antena devida à fonte (K) e  $A_e$  a área efetiva da antena ( $\text{m}^2$ ).

A área efetiva de uma antena é dada por  $A_e = \lambda^2/\Omega$ , em que  $\Omega$  é o ângulo sólido e  $\lambda$  é o comprimento de onda. Calculando o ângulo sólido para um feixe Gaussiano de largura  $\sigma$  teremos:

$$\Omega = \int \exp^{2\theta^2/\sigma^2} \sin^2 \theta d\theta \int \exp^{2\phi^2/\sigma^2} d\phi, \quad (4.3)$$

que resulta em:

$$\Omega = 2\pi\sigma^2 = \frac{\pi}{\ln 2} \left( \frac{FWHM}{2} \right)^2, \quad (4.4)$$

sendo  $FWHM = 2\sigma\sqrt{2\ln 2} = 2,35\sigma$ .

Substituindo os valores das áreas efetivas calculadas para o telescópio BEAST, que foram mostrados na Tabela 3.1, na Equação 4.2 obtivemos  $S = 2,54 \times 10^3 \times T_A$ , para a banda Ka e  $S = 2,68 \times 10^3 \times T_A$  para a banda Q, como fatores de conversão de temperatura em fluxo para as candidatas à fonte encontradas.

Os valores de temperatura das fontes foram determinados por dois métodos diferentes:

- utilizando o valor do pixel de maior temperatura como sendo a temperatura da fonte nas bandas Ka e Q;

- ajustando uma gaussiana a um conjunto de pixels, com o pixel de maior temperatura no centro do conjunto para as bandas Ka e Q.

O uso do ajuste gaussiano justifica-se pelo fato de que o pixel com valor máximo de temperatura pode não ser, necessariamente, o centro da fonte observada, o qual pode estar entre dois pixels. Assim, ao fazer o ajuste gaussiano estimamos valores de temperatura diferentes do valor do pixel central, estes valores foram utilizados para o cálculo da densidade de fluxo. Com isso, espera-se que os valores calculados para a densidade de fluxo sejam mais próximos da densidade de fluxos que é emitida por cada uma das fontes.

O ajuste gaussiano foi feito utilizando o programa GNUPLOT<sup>2</sup>, que faz o ajuste a partir de um conjunto de dados iniciais. No nosso caso, estabelecemos uma amplitude inicial cujo valor era a medida da temperatura do pixel central, largura de um pixel e centrada no pixel de maior temperatura.

Devido à geometria do sistema HEALPix, descrita na Seção 3.2, não foi possível ajustar uma gaussiana bidimensional para estimar a temperatura da fonte. Foram feitas duas tentativas utilizando o ajuste gaussiano do IRAF<sup>3</sup> (*Image Reduction and Analysis Facility*) e do IDL a partir de uma matriz de pixels aproximadamente quadrada mas, nos dois casos, os valores obtidos eram muito discrepantes dos valores das temperaturas dos pixels centrais das candidatas à fonte.

O conjunto de pixels utilizados para o ajuste unidimensional foi selecionado, a partir do pixel central, três pixels à direita e três à esquerda em duas direções perpendiculares. A temperatura utilizada no cálculo do fluxo foi a média das temperaturas das duas gaussianas. Embora o ajuste gaussiano unidimensional não seja o ajuste considerado ideal, tendo sido escolhido devido às limitações impostas pela geometria do sistema HEALPix, os resultados foram mais coerentes com as temperaturas dos pixels centrais das candidatas à fonte, do que nos dois ajustes bidimensionais realizados.

A partir da determinação dos valores da temperatura das fontes pelos dois métodos citados, aplicamos os fatores de conversão de temperaturas em fluxos para as duas bandas (Ka e Q). O cálculo do valor da densidade de fluxo, utilizando o valor do pixel mais quente de cada fonte, foi realizado para efeito de comparação, uma vez que o valor obtido com o ajuste gaussiano não deve ser muito discrepante da temperatura do pixel.

---

<sup>2</sup>disponível em <http://www.gnuplot.info>

<sup>3</sup>IRAF é distribuído pelo “National Optical Astronomy Observatories” (NOAO), o qual é operado pela “Association of Universities for Research in Astronomy, Inc.” (AURA), em acordo cooperativo com a “National Science Foundation” (NSF).

### 4.3 Fluxos em Função da Freqüência e Determinação do Índice Espectral

Os valores de densidade de fluxo disponíveis na literatura para as fontes identificadas pelo NED foram agregados aos valores obtidos com os dados do telescópio BEAST para as bandas Ka e Q, e fizemos gráficos de fluxo em função da freqüência utilizando todos os dados. No caso das duas fontes identificadas também pelo WMAP, incluímos os valores publicados por Bennett et. al (2003b). Através destes gráficos pudemos visualizar a existência ou não de variabilidade em fluxo ao longo das faixas de freqüências observadas.

Para a determinação do índice espectral das fontes identificadas, foram feitos gráficos para freqüências acima de 10 GHz quando havia medidas publicadas neste intervalo e para freqüências acima de 1 GHz quando não havia medidas disponíveis acima de 10 GHz, evitando assim utilizar apenas os dados do BEAST para a estimativa do índice espectral. Nestes gráficos foi ajustada uma lei de potência do tipo:

$$y = A x^{-\alpha}. \quad (4.5)$$

onde  $\alpha$  é o índice espectral.

### 4.4 Simulação Monte Carlo

O uso moderno da palavra simulação teve origem na aplicação do Método Monte Carlo (MC) por Von Neumann, Ulam e Fermi quando do desenvolvimento da bomba atômica, durante a 2ª Guerra Mundial. A denominação do método é uma referência à cidade de Monte Carlo no Principado de Mônaco, famosa por suas roletas - uma espécie de gerador de números aleatórios. O método MC consiste em simular computacionalmente um experimento com a finalidade de determinar propriedades estatísticas de um determinado conjunto de dados, a partir de uma amostragem aleatória dos componentes deste conjunto.

Neste trabalho, realizamos simulações Monte Carlo para o cálculo do número de radiofontes esperadas em função da densidade de fluxo (dN/dS) para o céu inteiro. Com o resultado das simulações fizemos uma análise do número de fontes sorteadas na região de observação do BEAST e comparamos o resultado da simulação com o número de fontes encontradas durante o processo de análise dos dados disponíveis.

Para a simulação consideramos que o Universo possui uma geometria Euclidiana e, por simplicidade, assumimos que todas as fontes existentes presentes na amostra possuem a

mesma luminosidade intrínseca  $L$  e.g, Partridge (1986) e Peterson (1997). A densidade espacial destes objetos é uma função da distância  $r$  das fontes até o observador, é  $n(r)$ . O número total de fontes que podem ser encontradas num volume  $dV$  é:

$$d\mathcal{N}(r) = n(r)dV = n(r)r^2drd\Omega, \quad (4.6)$$

a densidade superficial de fontes (número de fontes por unidade de ângulo sólido entre  $r$  e  $r + dr$ ) é dada por:

$$\frac{d\mathcal{N}(r)}{d\Omega} = n(r)r^2dr. \quad (4.7)$$

Supondo agora que todas as fontes, com uma densidade de fluxo mínima  $S$ , sejam observadas, podemos escrever  $r$  como função do fluxo:

$$r_{max} = \left( \frac{L}{4\pi S} \right)^{1/2}. \quad (4.8)$$

O número total de fontes por unidade de ângulo sólido, detectadas acima do limite de densidade de fluxo  $S$  é:

$$N(S) = \int \frac{d\mathcal{N}(r)}{d\Omega} = \int_{r_{max}}^0 n(r)r^2dr, \quad (4.9)$$

em que  $N(S)$  é a distribuição de fontes como função do fluxo. Para o caso de uma densidade uniforme de objetos, teremos  $n(r) = n_0$  e conseqüentemente:

$$N(S) = n_0 \frac{r_{max}^3}{3} = \frac{n_0}{3} \left( \frac{L}{4\pi S} \right)^{3/2}, \quad (4.10)$$

que, derivando em relação à densidade de fluxo, resulta em:

$$dN(S) = AS^{-2.5}dS, \quad (4.11)$$

onde  $A$  é uma constante de proporcionalidade que envolve a densidade ( $n_0$ ), a luminosidade ( $L$ ) e fatores numéricos.

Holdaway et. al (1994), utilizando dados do VLA (*Very Large Array*) estimaram que, para o céu inteiro, há aproximadamente 178 fontes com densidade de fluxo maior que 1 Jy em 90 GHz, a metade do valor estimado por Toffolatti et. al (1998) que é de 356 fontes de rádio para o céu inteiro. As simulações Monte Carlo para o caso do

BEAST, seguiram os mesmos padrões do trabalho desenvolvido por Pierpaoli (2003) na estimativa do número de radiofontes para o satélite WMAP, no qual é utilizada uma densidade de fluxo mínima de 0,01 Jy em 90 GHz e, além disso, estabelecemos uma densidade de fluxo máxima de 8 Jy em 90 GHz.

Integrando a Equação 4.11 com as condições de contorno citadas, os fatores de normalização para os números propostos por Holdaway et. al (1994) e por Toffolatti et. al. (1998). foram calculados, os resultados obtidos foram  $\mathbf{A} = 267$  e  $\mathbf{A} = 534$ , respectivamente. Através do valor da constante obtido calculamos o número de fontes a serem distribuídas no céu inteiro para os dois casos. Os parâmetros utilizados na integração foram uma densidade de fluxo mínima de 0,01 Jy e máxima de 8 Jy em 90 GHz.

A utilização da frequência de 90 GHz como padrão deve-se ao fato de ser a frequência utilizada nos trabalhos citados sobre estes tipos de simulações e também por estar sendo adaptada uma nova corneta no telescópio BEAST, que realizará medidas nesta frequência.

Os parâmetros referentes à densidade de fluxo foram escolhidos de forma que o fluxo mínimo proporcionasse uma visualização da distribuição de fontes, em relação à densidade de fluxo para o caso de fluxos muito abaixo da sensibilidade do instrumento. O fluxo máximo foi estabelecido de forma que fosse superior à densidade de fluxo integrada da fonte de rádio Cygnus A em 90 GHz, que é de 7,2 Jy Fogarty et. al. (1971) e que está presente na região do céu observada pelo BEAST.

Com os limites que seriam utilizados bem estabelecidos, foram sorteados fluxos em 90 GHz para o número total de fontes que seriam simuladas. O número encontrado para cada caso foi de 178000 para a normalização de Holdaway et. al (1994) e 356000 para a normalização de Toffolatti et. al. (1998).

Considerando que a densidade de fluxo em função da frequência é dada pela lei de potência:

$$S(\nu) \propto \nu^{-\gamma}, \quad (4.12)$$

em que  $\gamma$  é o índice espectral escolhido aleatoriamente num intervalo de -0,3 à 0,3 (definindo, portanto, um espectro plano) calculamos, utilizando o fluxo sorteado em 90 GHz e o índice espectral, os fluxos em 30 e 41,5 GHz.

Foram sorteadas também as posições na esfera celeste (ascensão reta e declinação) para

cada fonte que obedecia ao critério de corte inicial.

O programa foi desenvolvido de forma que a distribuição de fontes respeitasse a lei de potência dada pela Equação 4.11. Os arquivos de saída forneceram o índice espectral sorteado, o fluxo sorteado em 90 GHz, os fluxos calculados em 30 e 41,5 GHz, a posição da fonte em ascensão reta, declinação, latitude e longitude galácticas e a simulação correspondente.

A estimativa de tempo de processamento para a realização de 1000 simulações MC, em uma única máquina, foi de  $\sim 12$  dias para o primeiro caso e  $\sim 24$  dias para o segundo caso. Para otimizar este tempo, as simulações foram distribuídas em várias máquinas, com o número de simulações que seriam realizadas por cada uma variando de acordo com as características de cada computador. Para o segundo caso ( $N = 356$ ), além da divisão em diversas máquinas, estabelecemos o corte mínimo em fluxo em 0,05 Jy. Desta forma o número diminuiu para 32000 fontes que foram distribuídas em cada simulação. Este novo valor para o fluxo mínimo foi utilizado sem prejudicar nossas análises, uma vez que este fluxo é bem menor que a densidade de fluxo mínima estimada para o BEAST, conforme mostramos na Tabela 3.3.





## 5 RESULTADOS

Neste Capítulo apresentamos os resultados obtidos na identificação de radiofontes presentes na região observada pelo telescópio BEAST e os resultados das simulações Monte Carlo na estimativa do número de fontes esperadas em função da densidade de fluxo ( $dN/dS$ ), para o céu inteiro e para a região de observação do instrumento utilizado.

### 5.1 Identificação de Radiofontes Presentes na Região Observada pelo BEAST

No processo de identificação de fontes utilizando os mapas diários de cada canal e verificamos que estes mapas não possuíam sensibilidade suficiente para detectar as fontes puntiformes. Fizemos o mesmo procedimento para os mapas de 45 dias de cada canal e estes mapas também não tinham sensibilidade suficiente para detectar radiofontes. Por esta razão, o trabalho foi desenvolvido apenas com os mapas combinados, tanto para a banda Ka quanto para a banda Q.

De um total de 27 possíveis candidatas à fonte presentes nas duas bandas observadas (Ka e Q), 15 apresentaram contrapartida em catálogos de radiofontes e 12 candidatas à fonte não foram identificadas nestes catálogos, dentro da janela de busca utilizada ( $02 \times 02$ ). Verificando a contrapartida em catálogos de raios X das 27 candidatas, 10 foram identificadas nestes catálogos.

A Figura 5.1 mostra um mapa do BEAST da banda Q, em projeção gnomônica, com as 15 fontes identificadas utilizando o NED. Para efeito de visualização, consideramos o raio da fonte  $r = 04$ . Com isso algumas fontes estão sobrepostas porém, é consequência do raio utilizado para gerar a figura e não corresponde ao tamanho real da fonte.

Das 15 fontes identificadas nos catálogos de rádio, 2 tiveram identificação em mais de um catálogo. Na Tabela 5.1 apresentamos a relação das 15 fontes (incluindo os dois casos que resultaram em mais de uma identificação) com contrapartida na literatura, a posição da fonte (em ascensão reta e declinação - precessão J2000 e em latitude e longitude galáctica), a classe e o nome do objeto. Na classe do objeto NF refere-se à radiofonte. Apresentamos ainda a referência na literatura da posição da fonte fornecida pelo NED.

Na Tabela 5.2 apresentamos as candidatas à fonte que não tiveram contrapartida nos catálogos de radiofontes, num intervalo de busca de  $02 \times 02$ . Os pixels identificados pelo nosso método estão listados com suas respectivas coordenadas em ascensão reta, declinação, latitude e longitude galáctica e a temperatura dos pixels centrais nas bandas

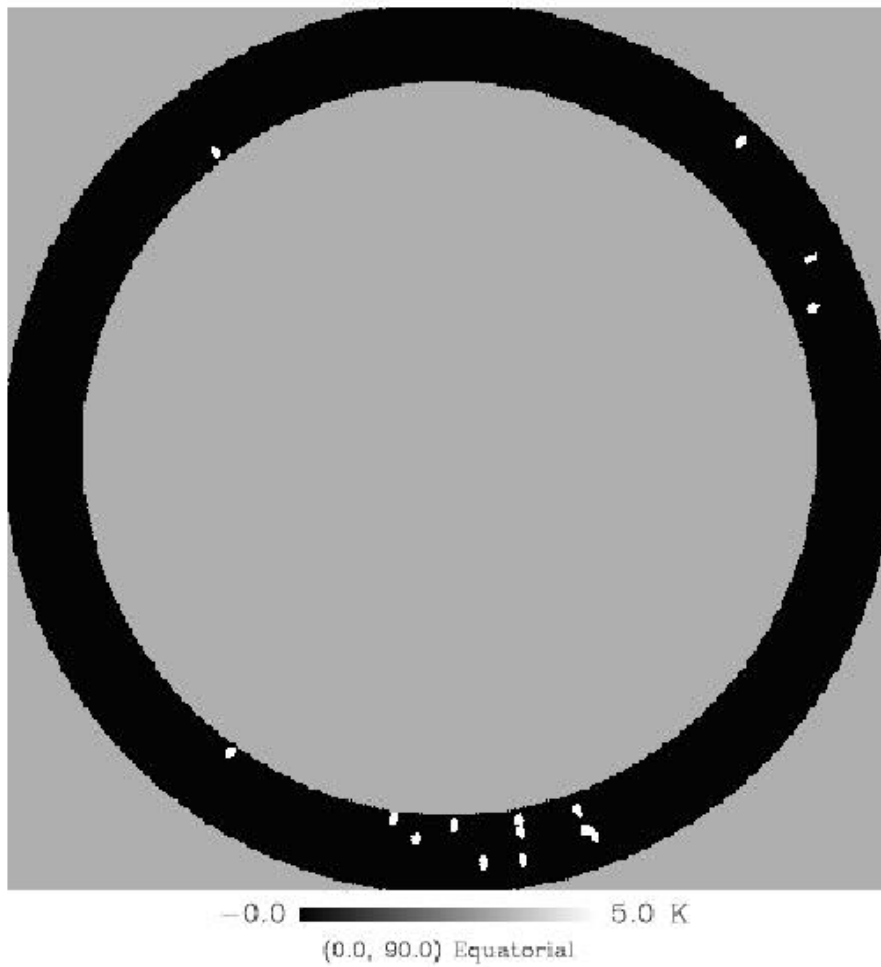


Figura 5.1 - Distribuição das fontes identificadas pelo NED no mapa de temperaturas da banda Q, as fontes correspondem ao ponto mais claros do mapa.

Tabela 5.1 - Fontes identificadas em catálogos de rádio - coordenadas, classe do objeto e contrapartida.

Fonte	$\alpha$ (h)	$\delta$ (°)	l (°)	b (°)	Classe	Contrapartida
1	00:34:02,7	39:03:35,9	119,24	-23,68	RF	J003408+3901 <sup>a</sup>
2	23:15:58,8	38:37:43,7	103,20	-20,56	RF	J2315+3841 <sup>b</sup>
3	9:27:21,5	38:46:56,2	184,08	46,22	Quasar	J0927+3902 <sup>c</sup>
4	23:56:26,1	38:46:20,6	111,33	-22,85	RF	B3 2354+383 <sup>d</sup>
5	23:34:17,2	38:40:36,4	106,81	-21,76	RF	B3 2331+385 <sup>e</sup>
6	22:41:33,4	38:17:44,7	96,65	-17,86	RF	B3 2240+379A <sup>e</sup>
7	16:35:35,4	38:01:04,8	60,93	42,26	Quasar	J1635+3808 <sup>c</sup>
8	23:17:24,7	37:54:59,9	103,19	-21,32	Quasar	B3 2314+377 <sup>f</sup>
9	0:19:38,4	37:49:18,4	116,03	-24,62	RF	B3 0017+374 <sup>a</sup>
10	22:41:36,6	36:44:41,4	95,84	-19,20	RF	TXS 2238+364 <sup>d</sup>
11	16:08:52,1	36:42:17,2	58,71	47,50	RF	87GB 160739,8+370818 <sup>g</sup>
12	22:38:02,4	36:25:06,2	95,01	-19,12	RF	4C +36,46 <sup>d</sup>
13a	23:40:36,7	36:13:57,9	107,29	-24,48	RF	J234027+3615 <sup>d</sup>
13b	23:40:36,7	36:13:57,9	107,29	-24,48	RF	J234116+3618 <sup>d</sup>
14a	23:19:31,3	36:02:53,9	102,84	-23,21	RF	4C +35,57 <sup>d</sup>
14b	23:19:31,3	36:02:53,9	102,84	-23,21	RF	J231903+3556 <sup>d</sup>
15	14:53:58,9	35:41:21,6	58,78	62,61	RF	7C 1452+3551 <sup>h</sup>

<sup>a</sup> - Condon et. al. (1998)

<sup>b</sup> - Laurent et. al. (1997)

<sup>c</sup> - Johnston et. al (1995)

<sup>d</sup> - Douglas et. al. (1980)

<sup>e</sup> - Ficarra et. al (1985)

<sup>f</sup> - Gregory et. al (1991)

<sup>g</sup> - Becker et. al (1995)

<sup>h</sup> - Waldran et. al (1998)

Ka e Q (em K).

Na Tabela 5.3 mostramos a diferença entre as posições das fontes encontradas com os dados do BEAST e as posições das fontes fornecidas pelo NED.

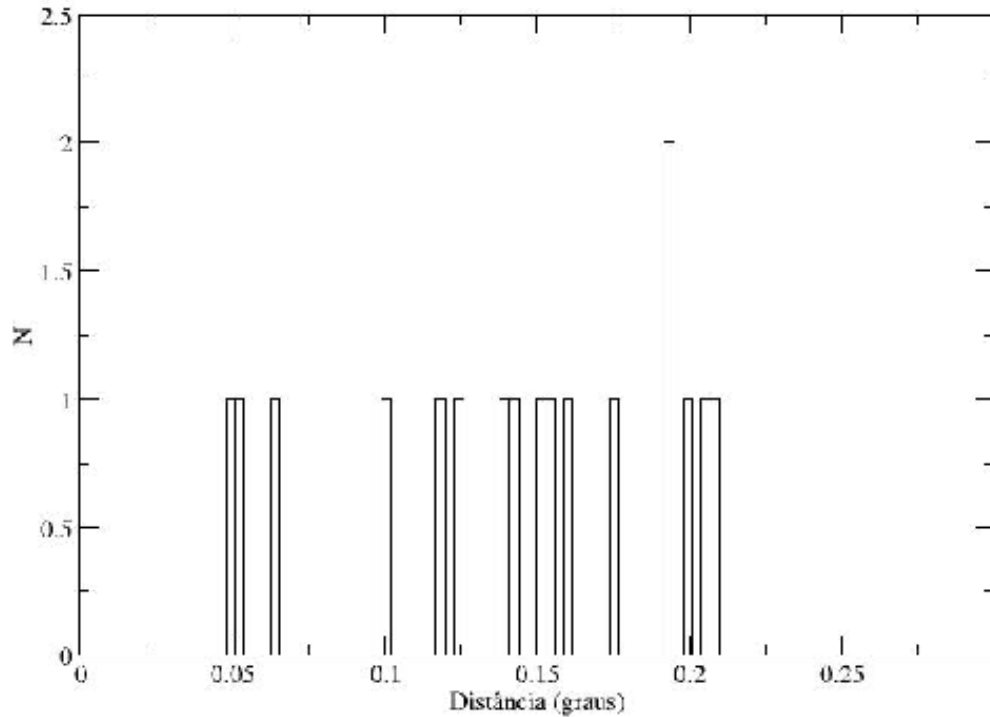


Figura 5.2 - Histograma das distâncias da fonte detectada à contrapartida nos catálogos de radiofontes.

A Figura 5.2 mostra o histograma das distâncias da fonte puntiforme detectada à sua contrapartida nos catálogos de radiofontes. Neste histograma podemos observar que a grande maioria das radiofontes identificadas (15) estão a uma distância menor que a área de busca quadrada utilizada (02). As fontes 8 e 10 extrapolam a área de busca em 45% ( $r=0209$ ) e 30% ( $r=0206$ ). Foram incluídas na figura as identificações múltiplas (fontes 13 e 14), assim, o histograma totaliza 17 fontes ao invés de 15.

Com o objetivo de verificar a ocorrência de efeitos sistemáticos nas posições, foi feito um gráfico das diferenças das distâncias ( $\Delta b \times \Delta l$ ) da fonte identificada à contrapartida. Na Figura 5.3 é mostrada a distribuição dessas diferenças. Nesta figura, podemos observar que existem 8 fontes com diferença de longitude (l) negativa e 9 com diferença de longitude positiva. Considerando somente a distribuição por latitude (b), há 6 fontes com diferença negativa e 11 fontes com diferença positiva, caracterizando uma local-

Tabela 5.2 - Candidatas não identificadas nos catálogos de radiofontes com as respectivas coordenadas nos mapas do BEAST.

Candidata	$\alpha$ (h)	$\delta$ (°)	l (°)	b (°)	$T_{Ka}$ (K)	$T_Q$ (K)
1	15:01:45,0	39:15:47,8	65,45	60,37	$1,319 \times 10^{-3}$	$0,351 \times 10^{-3}$
2	00:48:06,6	38:52:08,8	122,22	-23,99	$0,868 \times 10^{-3}$	$0,957 \times 10^{-3}$
3	00:11:11,4	38:23:27,8	114,32	-23,81	$1,192 \times 10^{-3}$	$1,694 \times 10^{-3}$
4	09:30:31,4	37:55:33,7	185,33	46,83	$1,283 \times 10^{-3}$	$2,221 \times 10^{-3}$
5	00:38:15,9	37:43:41,4	120,06	-25,07	$2,269 \times 10^{-3}$	$2,717 \times 10^{-3}$
6	01:51:23,2	37:43:41,7	135,83	-23,64	$1,117 \times 10^{-3}$	$4,719 \times 10^{-3}$
7	15:21:24,6	37:32:51,9	60,83	56,90	$1,351 \times 10^{-3}$	$1,482 \times 10^{-3}$
8	23:58:11,4	37:21:06,3	111,34	-24,32	$1,476 \times 10^{-3}$	$1,604 \times 10^{-3}$
9	13:30:39,7	36:53:39,1	85,03	77,19	$1,622 \times 10^{-3}$	$1,406 \times 10^{-3}$
10	22:30:39,1	36:41:51,0	93,84	-18,10	$1,535 \times 10^{-3}$	$2,976 \times 10^{-3}$
11	23:10:44,0	36:30:40,9	101,28	-22,09	$1,534 \times 10^{-3}$	$2,957 \times 10^{-3}$
12	09:34:44,6	36:03:28,6	188,12	47,63	$1,573 \times 10^{-3}$	$5,015 \times 10^{-3}$

Tabela 5.3 - Diferenças de posições em l e b e a distância entre as posições.

Fonte	l (°)- NED	b (°) - NED	$\Delta l$ (°)	$\Delta b$ (°)	Distância (°)
1	119,2411	-23,7364	0,005	-0,049	0,049
2	103,2225	-20,4951	-0,018	0,063	0,065
3	183,9903	46,0254	-0,089	0,197	0,199
4	111,4189	-22,9804	-0,089	-0,123	0,126
5	106,8343	-21,5753	-0,023	0,192	0,193
6	96,8012	-17,9872	-0,144	0,059	0,156
7	60,7663	42,1628	0,168	0,100	0,195
8	103,0537	-21,4841	0,136	-0,160	0,209
9	116,0122	-24,7643	0,018	-0,141	0,141
10	95,6531	-19,1235	0,189	0,082	0,206
11	58,8161	47,3884	-0,104	0,112	0,153
12	95,1044	-19,0778	-0,090	0,042	0,099
13a	107,2591	-24,4388	0,035	0,040	0,053
13b	107,4516	-24,4458	-0,158	0,077	0,176
14a	102,7348	-23,1268	0,110	0,086	0,139
14b	102,6941	-23,2729	0,151	-0,060	0,162
15	58,6822	62,5561	0,103	0,062	0,120

ização preferencial. Se fizermos anéis quadrados concêntricos de lado  $l = 01, 015$  e  $02$  veremos que existem 5, 6 e 6 fontes distribuídas, respectivamente, em cada anel. Assim, observando o gráfico como um todo, não há evidências claras de efeitos sistemáticos relacionados à determinação da posição das fontes detectadas pelo BEAST.

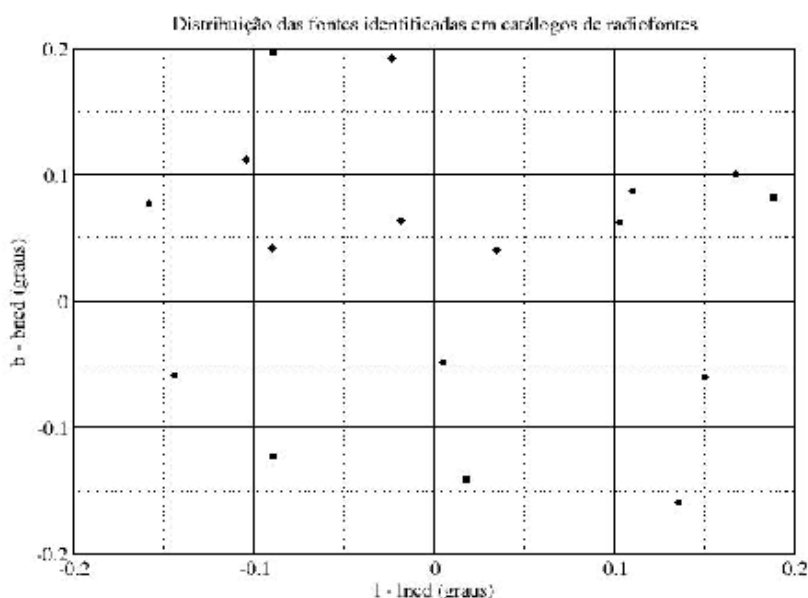


Figura 5.3 - Diferenças das posições das fontes identificadas pelo BEAST à contrapartida fornecida pelo NED. Na figura,  $l$  e  $b$  referem-se às coordenadas do BEAST e  $l_{ned}$  e  $b_{ned}$ , são as posições fornecidas pelo NED.

Visando verificar a existência de contrapartida das candidatas identificadas em outras bandas do espectro eletromagnético, foram realizadas buscas também em catálogos de raios X, com a mesma área de busca utilizada nos catálogos de radiofontes. O banco de dados utilizado foi o arquivo HEASARC<sup>1</sup> e a busca varreu diversos catálogos disponíveis, entre eles os dos satélites ASCA, BeppoSAX, CHANDRA, ROSAT, Copernicus, Einstein e EXOSAT. Na Tabela 5.4 apresentamos as candidatas à fonte identificadas em catálogos de raios X. Na parte superior da tabela estão as contrapartidas em raios X para as fontes que foram identificadas pelo NED, na parte inferior estão os resultados da busca para as candidatas que não foram previamente identificadas em rádio.

Para as fontes identificadas nos catálogos de radiofontes, fizemos um ajuste gaussiano

<sup>1</sup>disponível em :<http://heasarc.gsfc.nasa.gov/docs/archive.html>

Tabela 5.4 - Candidatas identificadas em catálogos de raios X: candidata, catálogo e contrapartida.

<b>Candidatas identificadas em catálogos de rádio</b>		
Fonte	Catálogo	Contrapartida
1	RASSFSC <sup>1</sup>	1RXS J003400.8+390615
2	RASSFSC	1RXS J231601.1+384135 e RGB J2315+386 <sup>2</sup>
7	WGACAT <sup>3</sup>	1WGA J1635.8+3759 Quasar radio loud
11	RASSFSC	1RXS J160900.5+364634
14	RASSFSC	1RXS J231948.3+360408
<b>Candidatas não identificadas em catálogos de rádio</b>		
Fonte	Catálogo	Contrapartida
4	RASSFSC	1RXS J093000.8+380021
6	RASSFSC	1RXS J015057.0+375404
9	RASSFSC	1RXS J133048.2+364208
11	RASSFSC	1RXS J231126.5+362345
12	TWOSIGMA <sup>4</sup>	ETS B0934.7+3607

<sup>1</sup> - ROSAT All-Sky Survey: Faint Sources

<sup>2</sup> - RASS/Green Bank Catalog

<sup>3</sup> - ROSAT catalog PSPC WGA Sources

<sup>4</sup> - Einstein Two-Sigma Catalog

como descrito na Seção 4.2 e calculamos a densidade de fluxo da fonte utilizando os valores fornecidos pelo ajuste. Nas Tabelas 5.5 e 5.6 apresentamos os fluxos calculados para as fontes identificadas nas bandas Ka e Q e as temperaturas dos pixels centrais da fonte.

Comparando as temperaturas resultantes do ajuste gaussiano unidimensional com as temperaturas dos pixels centrais das fontes, observamos que os resultados dos ajustes são coerentes com as temperaturas dos pixels centrais. As maiores discrepâncias nos valores dos ajuste foram para a fonte 3 da banda Ka (53%) e para a fonte 9 da banda Q (38%), os demais ajustes apresentaram discrepâncias abaixo de 23% nas duas bandas sendo que, em alguns casos, a variação ficou em torno de de 15%.

Utilizando os dados do BEAST, estimamos a densidade de fluxo de Cygnus A a partir da temperatura do pixel central. O resultado que obtivemos foi  $S = 1739 \pm 781$  Jy em  $\nu = 415$  GHz (banda Q) e  $S = 1998 \pm 1753$  Jy em  $\nu = 30$  GHz (banda Ka). Buscando na literatura valores da densidade de fluxo integrada de Cygnus A em frequências próximas as do BEAST, somente encontramos medidas disponíveis em 8 GHz, cujo

Tabela 5.5 - Temperaturas do pixel central, do ajuste gaussiano e densidade de fluxos para as fontes identificadas (banda Ka).

Fonte	Temp <sub>p</sub> (K)	Temp <sub>aj</sub> (K)	Fluxo <sub>aj</sub> (Jy)
1	$1,350 \times 10^{-3}$	$1,370 \times 10^{-3}$	$3,487 \pm 1,665$
2	$1,019 \times 10^{-3}$	$2,473 \times 10^{-3}$	$6,2927 \pm 1,028$
3	$2,028 \times 10^{-3}$	$1,783 \times 10^{-3}$	$4,544 \pm 0,662$
4	$1,321 \times 10^{-3}$	$1,096 \times 10^{-3}$	$2,789 \pm 0,921$
5	$1,178 \times 10^{-3}$	$1,242 \times 10^{-3}$	$3,161 \pm 0,520$
6	$1,703 \times 10^{-3}$	$1,091 \times 10^{-3}$	$2,775 \pm 0,800$
7	$1,632 \times 10^{-3}$	$1,537 \times 10^{-3}$	$3,911 \pm 0,121$
8	$1,878 \times 10^{-3}$	$2,075 \times 10^{-3}$	$5,280 \pm 1,499$
9	$1,186 \times 10^{-3}$	$1,582 \times 10^{-3}$	$4,025 \pm 0,580$
10	$1,753 \times 10^{-3}$	$1,635 \times 10^{-3}$	$4,160 \pm 0,652$
11	$1,437 \times 10^{-3}$	$1,741 \times 10^{-3}$	$4,430 \pm 1,350$
12	$1,503 \times 10^{-3}$	$1,953 \times 10^{-3}$	$4,968 \pm 0,459$
13	$1,420 \times 10^{-3}$	$1,431 \times 10^{-3}$	$3,641 \pm 0,867$
14	$1,633 \times 10^{-3}$	$1,570 \times 10^{-3}$	$3,994 \pm 1,174$
15	$1,286 \times 10^{-3}$	$1,431 \times 10^{-3}$	$3,641 \pm 0,153$

valor é de 214 Jy (Stull, 1971) e em 90 GHz, cujo valor é de 7,20 Jy (Fogarty et. al, 1971). Contudo extrapolando a curva do gráfico apresentado em Baars et. al. (1995), vemos que os valores obtidos com os resultados do BEAST são coerentes com os valores apresentados pelo autor.

Considerando-se que a radiação síncrotron seja o principal mecanismo de emissão das radiofontes extragalácticas, espera-se um decréscimo na densidade de fluxo com o aumento da frequência. Desta forma, os fluxos estimados para a banda Ka deveriam ser menores do que os fluxos estimados para a banda Q. No entanto, os resultados apresentaram-se sistematicamente maiores em 40 GHz (banda Q), o que não é observado nas densidades de fluxo encontradas para Cygnus A.

Devido às maiores densidades de fluxos na banda Q estimadas com os dados do BEAST, quando geramos mapas de densidade de fluxos em função da frequência com as medidas do BEAST e também as disponíveis na literatura nota-se uma inversão nos espectros como pode ser visto nas Figuras 5.4 e 5.5. É necessário uma análise mais profunda da qualidade e tratamento dos dados disponíveis para saber a origem desta discrepância.

Observando as figuras anteriores vemos um aparente variabilidade nas fontes identificadas porém, devido à escassez de medidas disponíveis, é difícil chegar a qualquer



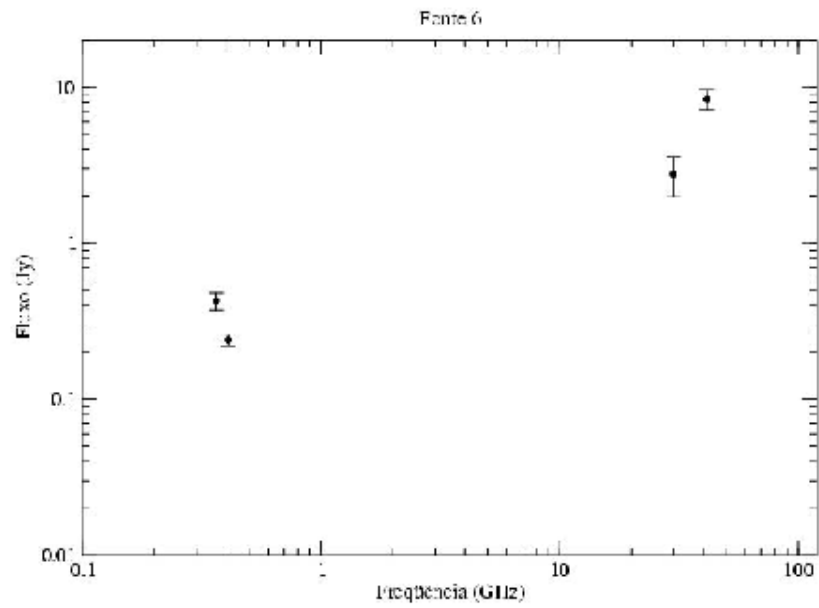


Figura 5.4 - Densidade de fluxo em função da frequência, com medidas do BEAST e da literatura, para a fonte 6 (B3 2240+379A).

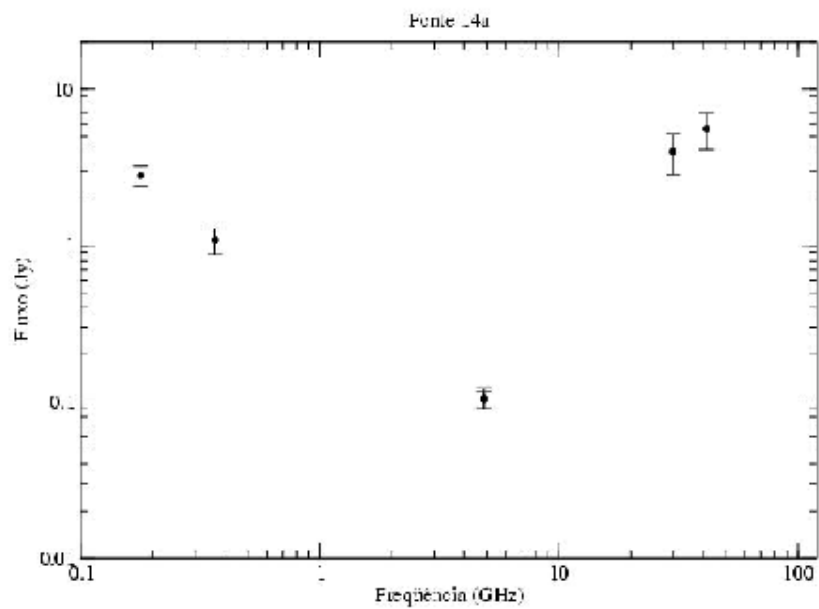


Figura 5.5 - Densidade de fluxo em função da frequência, com medidas do BEAST e da literatura, para a fonte 14a (4C 35,57).

Tabela 5.6 - Temperaturas do pixel central, temperaturas do ajuste gaussiano e densidade de fluxos para as fontes identificadas (banda Q).

Fonte	Temp <sub>p</sub> (K)	Temp <sub>aj</sub> (K)	Fluxo <sub>aj</sub> (Jy)
1	$1,991 \times 10^{-3}$	$2,559 \times 10^{-3}$	$6,856 \pm 0,737$
2	$3,593 \times 10^{-3}$	$3,740 \times 10^{-3}$	$10,021 \pm 0,749$
3	$1,256 \times 10^{-3}$	$1,337 \times 10^{-3}$	$3,581 \pm 0,404$
4	$2,248 \times 10^{-3}$	$2,277 \times 10^{-3}$	$6,102 \pm 0,013$
5	$2,512 \times 10^{-3}$	$2,765 \times 10^{-3}$	$7,408 \pm 0,268$
6	$3,146 \times 10^{-3}$	$3,131 \times 10^{-3}$	$8,389 \pm 1,247$
7	$1,478 \times 10^{-3}$	$1,545 \times 10^{-3}$	$4,141 \pm 0,186$
8	$3,703 \times 10^{-3}$	$3,737 \times 10^{-3}$	$10,012 \pm 1,311$
9	$2,119 \times 10^{-3}$	$3,469 \times 10^{-3}$	$9,294 \pm 1,084$
10	$3,423 \times 10^{-3}$	$3,455 \times 10^{-3}$	$9,256 \pm 1,449$
11	$1,868 \times 10^{-3}$	$2,246 \times 10^{-3}$	$6,020 \pm 1,073$
12	$2,353 \times 10^{-3}$	$2,273 \times 10^{-3}$	$6,809 \pm 0,759$
13	$2,321 \times 10^{-3}$	$2,387 \times 10^{-3}$	$6,397 \pm 0,840$
14	$1,860 \times 10^{-3}$	$2,072 \times 10^{-3}$	$5,553 \pm 1,451$
15	$4,611 \times 10^{-3}$	$4,818 \times 10^{-3}$	$12,910 \pm 0,767$

conclusão a este respeito. No caso específico das fontes 3 e 7, existem várias medidas disponíveis na literatura, desde 0,01 GHz até 400 GHz (fonte 3) e de 0,01 GHz até 100 GHz (fonte 7). Nas Figuras 5.6 e 5.7 observa-se a possível variabilidade tanto em frequência quanto temporal das fontes encontradas.

Para a determinação do índice espectral, foram feitos ajustes com as medidas de frequências disponíveis entre 10 GHz e 100 GHz. Assim, foram calculados os índices espectrais para as fontes 3 e 7 evitando, dessa forma, o cálculo utilizando apenas as duas medidas de densidade de fluxo obtidas com o telescópio BEAST. As figuras 5.8 e 5.9 mostram os ajustes feitos para estas duas fontes.

Para alguns autores, o índice espectral é considerado plano se  $-0,3 < \alpha < 0,3$  ver, por exemplo, Pierpaoli (2003). Outros consideram plano um índice espectral cujo valor esteja entre  $-0,5 < \alpha < 0,5$ , ver, por exemplo, Owen et. al. (1980) e Page et. al (2000). Os valores obtidos com os ajustes feitos para a determinação dos índices espectrais foram característicos de espectros planos, o que está de acordo com teoria das radiofontes extragalácticas descrita no Capítulo 2 e em concordância com os valores divulgados recentemente pela equipe do WMAP.

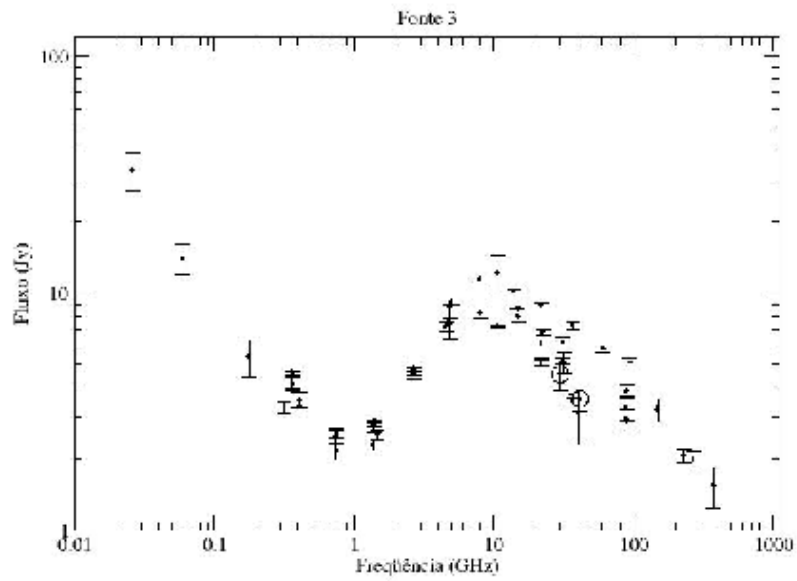


Figura 5.6 - Densidade de fluxo em função da freqüência, com medidas do BEAST e da literatura, para a fonte 3 (J0927+3902). Os pontos obtidos com dados do BEAST estão circulados.

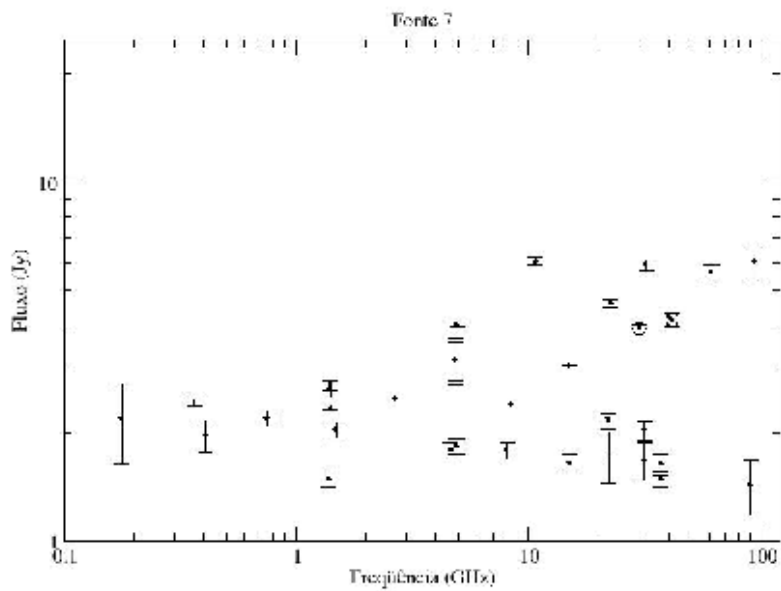


Figura 5.7 - Densidade de fluxo em função da freqüência, com medidas do BEAST e da literatura, para a fonte 7 (J1635+3803). Os pontos obtidos com dados do BEAST estão circulados.

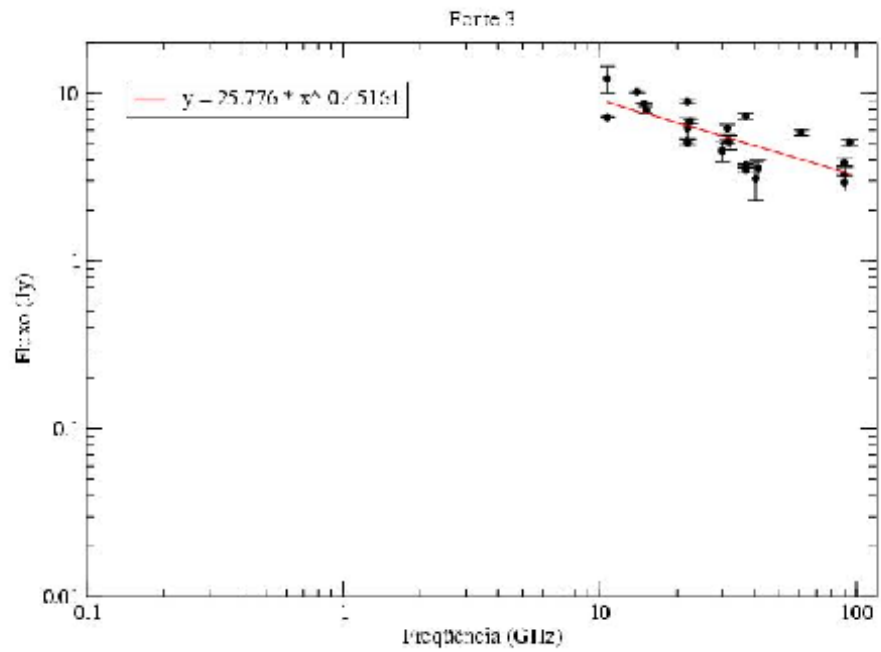


Figura 5.8 - Estimativa do índice espectral entre 10 GHz e 100 GHz para a fonte 3 (J0927+3902).

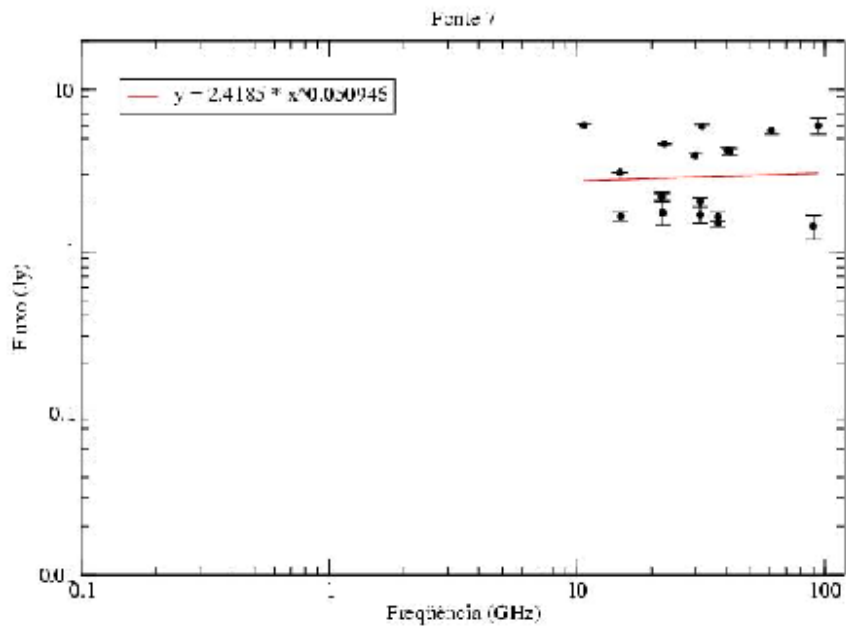


Figura 5.9 - Estimativa do índice espectral entre 10 GHz e 100GHz para a fonte 7 (J1635+3803).

Tabela 5.7 - Índices espectrais calculados com os dados do BEAST e do WMAP.

Índice Espectral		
Fonte	BEAST	WMAP
3	$040 \pm 0,03$	$040 \pm 010^a$
7	$-005 \pm 0,20$	$030 \pm 010^a$

<sup>a</sup> - Bennett (2003b)

## 5.2 Simulação Monte Carlo (MC)

Apresentamos nesta seção os resultados obtidos com 500 simulações Monte Carlo realizadas para a estimativa do número de fontes em função da densidade de fluxo ( $dN/dS$ ) descrita no Capítulo 4, para frequências de 90 GHz (banda W), 30 GHz (banda Ka) e 41,5 GHz (banda Q). O primeiro caso refere-se à normalização proposta por Holdaway et. al. (1994), em que o número de fontes com densidade de fluxo acima de 1 Jy em 90 GHz é 178 e o segundo caso refere-se à normalização proposta por Toffolatti (1998) na qual o número de fontes nas mesmas condições é 356.

Na Figura 5.10 apresentamos os resultados obtidos com as simulações para o primeiro caso – normalização de Holdaway (1994) em que foram distribuídas 178000 fontes no céu inteiro, com densidade de fluxo mínima de 0,01 Jy. Na Figura 5.11, apresentamos os resultados das simulações do caso 1, com as restrições aplicadas às características do telescópio BEAST (região de observação entre  $0h < \alpha < 24h$  e  $33^\circ \lesssim \delta \lesssim 42^\circ$ , corte da região da Galáxia em  $|b| > 17,5^\circ$  e densidade de fluxo  $S > 0,1$  Jy) para as mesmas bandas.

A Figura 5.12 mostra os resultados, para toda a esfera celeste das simulações Monte Carlo para a normalização de Toffolatti (1998), em que foram distribuídas 32000 fontes com densidade de fluxo mínima de 0,05 Jy. Os resultados desta normalização, para o telescópio BEAST são apresentados na Figura 5.13.

Nestes gráficos estão distribuídas as fontes em função da densidade de fluxo ( $dN/dS$ ). Para todos os casos notamos que, de fato, um maior número de fontes estão distribuídas em baixas densidades de fluxos. Este resultado mostra que a regra de seleção imposta no algoritmo desenvolvido foi obedecida, sendo que esta seleção está de acordo com as observações.

As retas que foram ajustadas, em todos os casos, mostram resultados de ajuste coer-

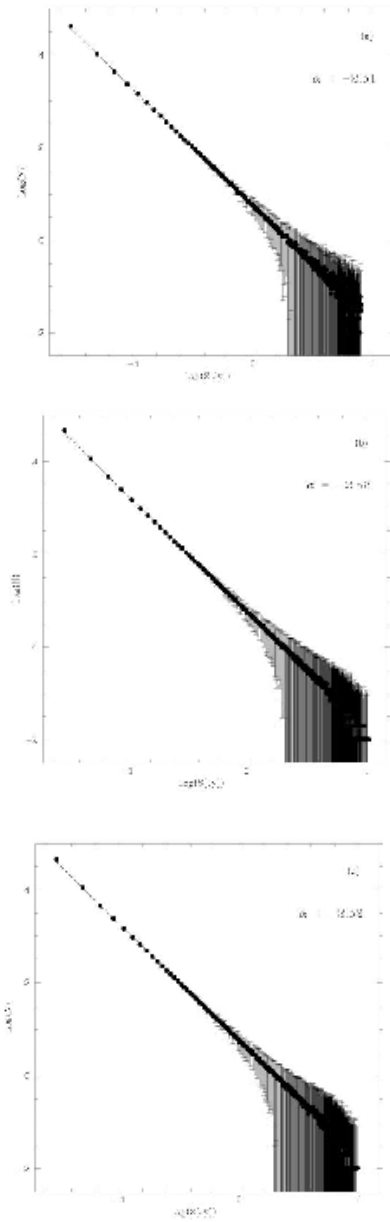


Figura 5.10 - Número de fontes em função da densidade de fluxo para o céu inteiro na banda W (Figura a), banda Ka (Figura b), e banda Q (Figura c) - Holdaway.

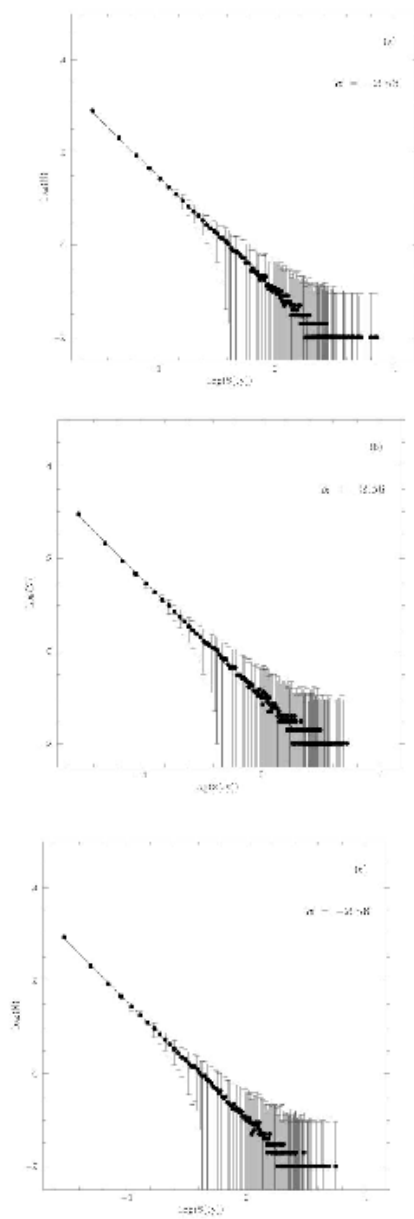


Figura 5.11 - Número de fontes em função da densidade de fluxo para a região do BEAST banda W (Figura a), banda Ka (Figura b), e banda Q (Figura c) - Holdaway.

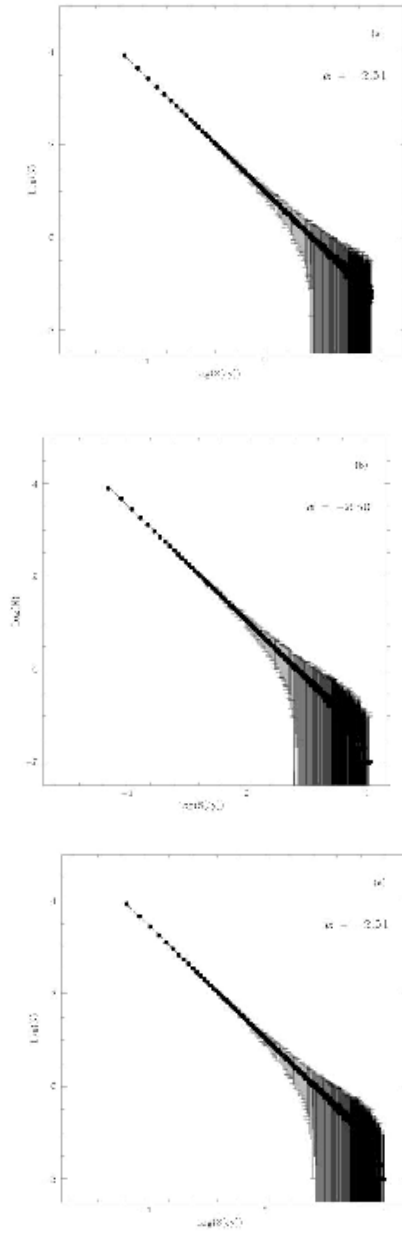


Figura 5.12 - Número de fontes em função da densidade de fluxo para o céu inteiro na banda W (Figura a), banda Ka (Figura b), e banda Q (Figura c) - Toffolatti.



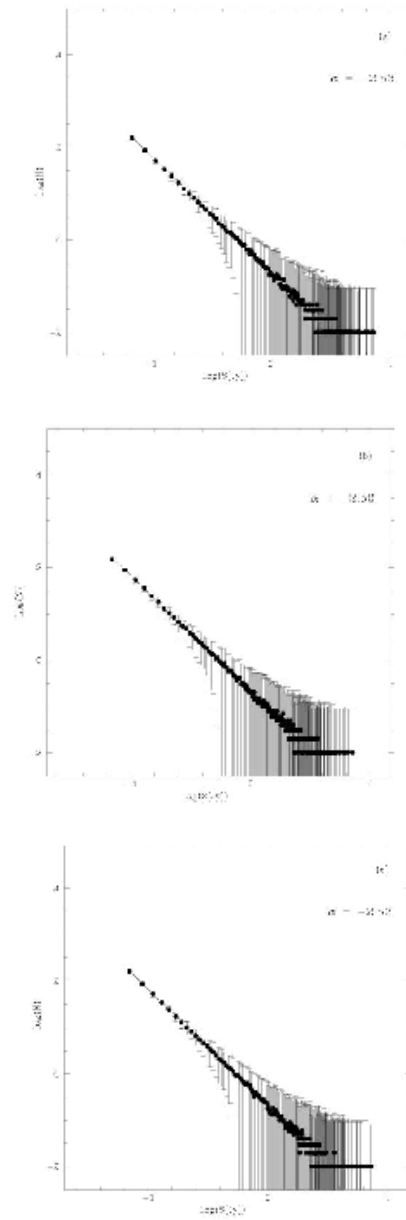


Figura 5.13 - Número de fontes em função da densidade de fluxo para a região do BEAST banda W (Figura a), banda Ka (Figura b), e banda Q (Figura c) - Toffolatti.

Tabela 5.8 - Distribuição do número de fontes em função da densidade de fluxo na região do telescópio BEAST.

$S$ (Jy)	$\bar{n}_{(1)}$	$\bar{n}_{(2)}$
0,1	$9,32 \pm 1,08$	$17,68 \pm 2,19$
0,4	$2,73 \pm 1,06$	$4,11 \pm 1,45$

entes com a lei de potência descrita no Capítulo 4. As inclinações oscilaram sempre em torno de  $\alpha = 2,5$ . Nas simulações para o céu inteiro, o ajuste mais discrepante foi de  $\sim 0,8\%$  (para  $\alpha = 2,52$ ) no primeiro caso simulado e de  $\sim 0,4\%$  ( $\alpha = 2,51$ ) para o segundo caso. Com as restrições aplicadas às características do BEAST as variações foram da ordem de  $2,4\%$  ( $\alpha = 2,56$ ) no primeiro caso estudado e  $1,2\%$  ( $\alpha = 2,53$ ) no segundo caso.

A análise das inclinações das retas ajustadas em cada caso, é necessária para verificar se a forma de distribuição realizadas nas simulações está correta. No nosso trabalho, podemos notar, através dos valores apresentados, que as fontes foram distribuídas corretamente.

Nas Figuras 5.14 e 5.15 apresentamos a distribuição dos índices espectrais na região do BEAST para o primeiro e segundo casos, respectivamente. Cada uma das figuras mostra um corte em fluxo de 0,1 Jy (Figuras **a**) e em 0,4 Jy (Figuras **b**). Nestes gráficos podemos notar que existe um processo seletivo na distribuição do número de fontes: foram distribuídas mais fontes para índices espectrais maiores. Como a densidade de fluxo é dada por  $S \propto \nu^{-\alpha}$ , sendo  $\alpha$  o índice espectral, temos uma maior concentração de fontes com fluxos baixos, como pode ser visto nas Figuras 5.10 e 5.12 e nas Figuras 5.11 e 5.13.

Os números médios de fontes simuladas com coordenadas na região de observação do BEAST, após o corte da região da Galáxia, estão relacionados na Tabela 5.8 na qual  $\bar{n}_{(1)}$  refere-se ao primeiro caso simulado (normalização de Holdaway) e  $\bar{n}_{(2)}$  ao segundo caso (normalização de Toffolatti).

Comparando os números médios de fontes na região do BEAST obtidos com as simulações, com o número de fontes identificadas na primeira etapa deste trabalho podemos notar que estes números são coerentes nos cortes de fluxos aplicados. Considerando apenas o primeiro caso, este número poderia ser considerado baixo. No entanto, esta normalização, segundo Holdaway (1994), pode estar subestimada por um fator 2.

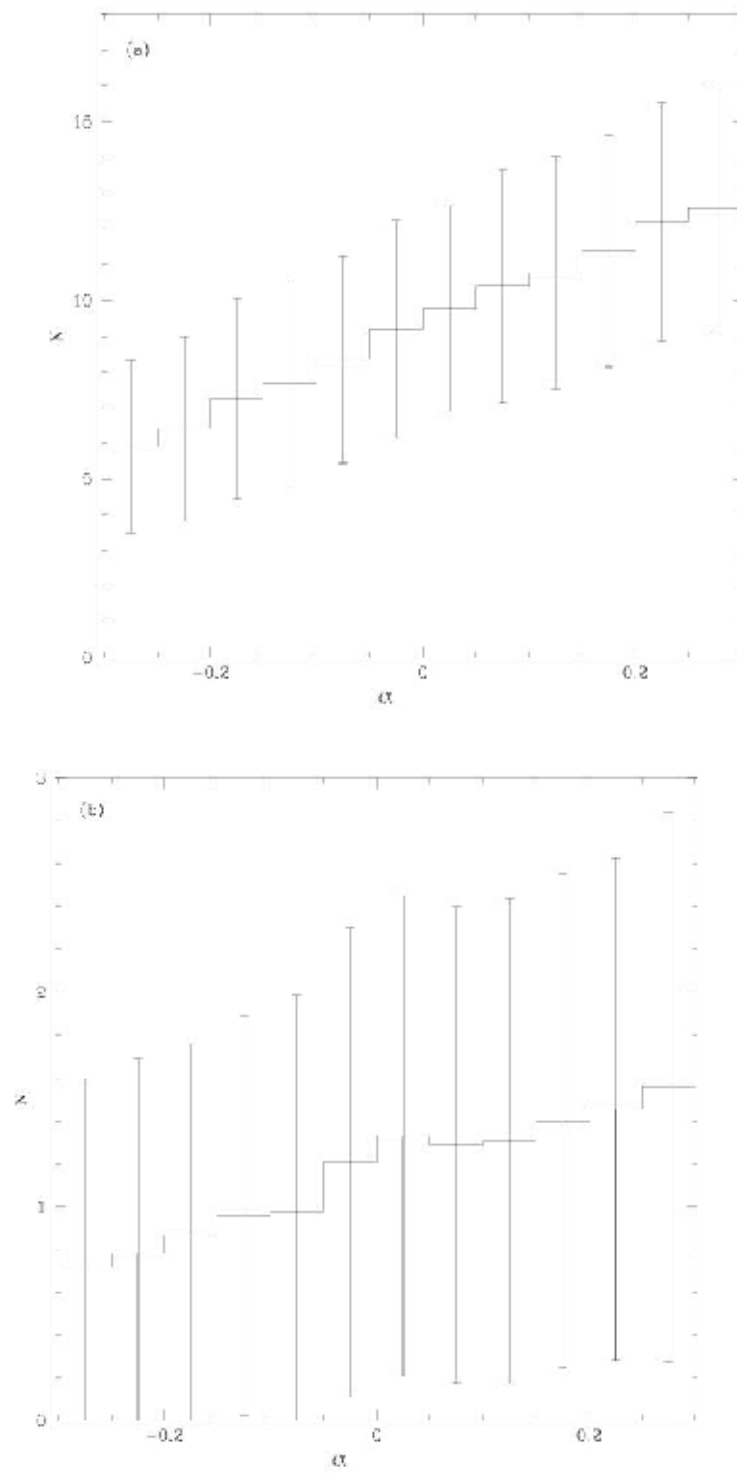


Figura 5.14 - Média da distribuição dos índices espectrais na região do BEAST para densidade de fluxo maior que 0,1 Jy (Figura a) e 0,4 Jy (Figura b) - Holdaway.

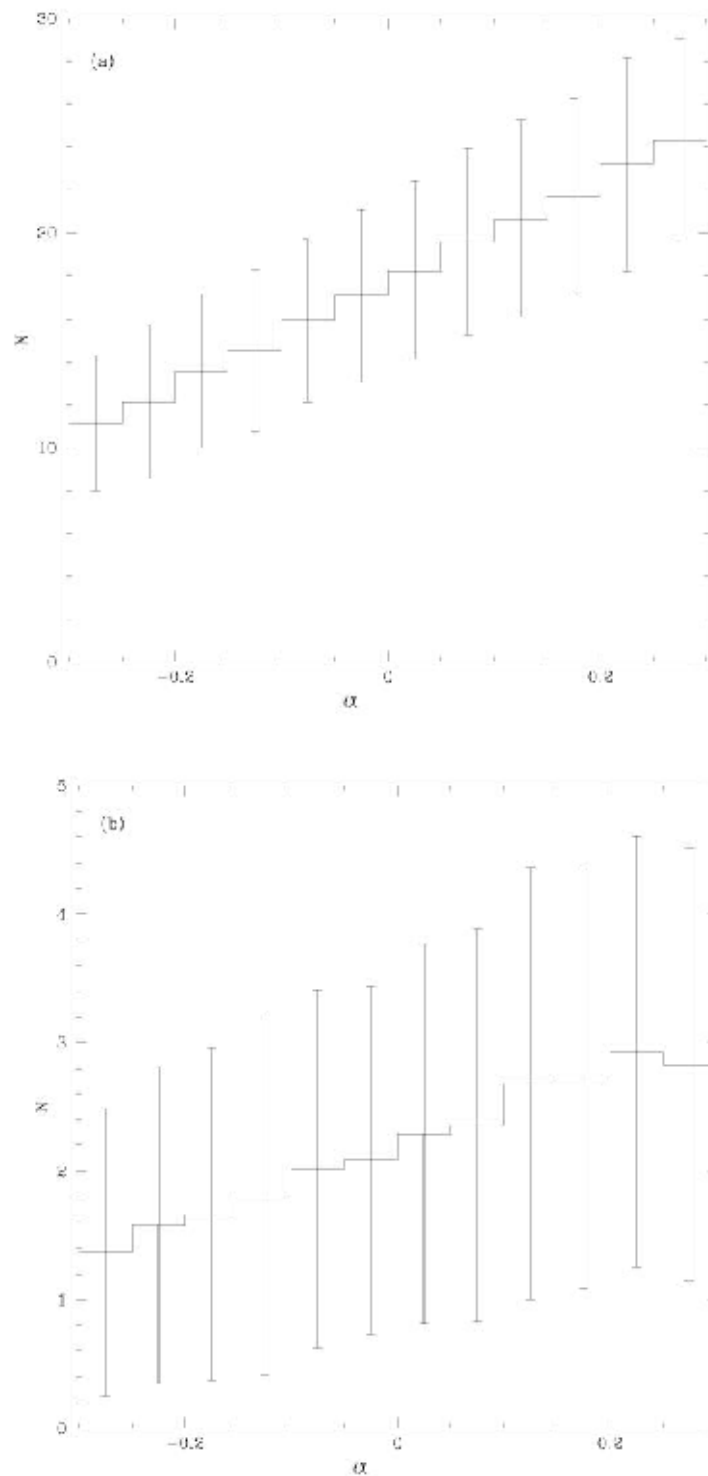


Figura 5.15 - Média da distribuição dos índices espectrais na região do BEAST para densidade de fluxo maior que 0,1 Jy (Figura a) e 0,4 Jy (Figura b) - Toffolatti.

## 6 CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS

Neste trabalho foram descritos os resultados obtidos com os dados do telescópio BEAST na identificação de radiofontes puntiformes, e também a estimativa do número de fontes em função da densidade de fluxo ( $dN/dS$ ) para toda a esfera celeste e para a região observada pelo BEAST.

Das 27 candidatas à fonte, 15 apresentaram contrapartida nos catálogos de radiofontes disponíveis na literatura e 10 apresentaram contrapartida em catálogos de raios X. Entre as fontes identificadas em raios X, 5 não estavam catalogadas em rádio. As 7 candidatas sem contrapartida em rádio e em raios X foram consideradas possíveis detecções espúrias.

O histograma das distâncias e a distribuição das fontes identificadas em catálogos de rádio mostrou que não existem erros sistemáticos na distância entre o pixel identificado no programa de detecção e as coordenadas da fonte disponíveis nos catálogos de rádio.

O cálculo do fluxo para as fontes identificadas em rádio foi feito através de um ajuste gaussiano unidimensional do perfil de temperatura dos pixels correspondentes às fontes. Os valores obtidos com o ajuste mostraram-se coerentes com a temperatura do pixel central das fontes. Os valores obtidos para o fluxo das fontes, tanto usando a temperatura do pixel central quanto usando o ajuste gaussiano foram sistematicamente maiores na banda Q, o que leva a um espectro invertido nas frequências do BEAST. O índice espectral das fontes que apresentaram várias medidas disponíveis na literatura, mostrou-se plano e coerente com os resultados divulgados pelo satélite WMAP.

Os resultados das simulações Monte Carlo para a estimativa do número de fontes presentes na região de observação do BEAST mostraram-se coerentes com o número de fontes identificadas através do método de detecção proposto. Os ajustes das retas feitos na distribuição do número de fontes em função da densidade de fluxo ( $dN/dS$ ) forneceram os resultados esperados, coerentes com uma distribuição de fontes com as características descritas no Capítulo 4.

A primeira colaboração efetiva deste trabalho, para o grupo de Cosmologia foram as modificações introduzidas no programa que gera os mapas do BEAST (cálculo das temperaturas, remoção de efeitos da atmosfera e correções no cálculo das variâncias da temperatura) e as alterações feitas na estrutura do programa visando uma maior eficiência computacional. A rotina modificada e os mapas produzidos neste trabalho já foram disponibilizados e estão sendo utilizados por membros do grupo.

Este trabalho apresenta também uma lista com as radiofontes puntiformes presentes na região observada pelo BEAST, devidamente identificadas na literatura, sendo que todas as fontes estão presentes nas bandas Ka e Q, e tiveram suas densidades de fluxo calculadas.

Para as fontes com poucas medidas na literatura, acrescentamos duas medidas de fluxo em frequências diferentes (30,0 GHz e 41,5 GHz) que poderão contribuir na compreensão dos mecanismos de emissão destes objetos.

Uma perspectiva para este trabalho é a quantificação da contaminação das fontes identificadas para o espectro de potência dos mapas da RCFM produzidos com dados do telescópio BEAST. Esta quantificação pode ser feita calculando-se o espectro de potência dos mapas do BEAST, com as fontes identificadas presentes nos mapas. Estas fontes podem ser, posteriormente, retiradas dos mapas e calculado um novo espectro de potência, desta vez sem as fontes. Comparando-se os dois espectros a contaminação do sinal da fonte pode ser quantificada.

Um outro trabalho a ser feito é estudar uma maneira de subtrair o sinal destas fontes dos mapas da RCFM de forma a minimizar a perda do sinal cosmológico. Uma maneira simples de fazer a subtração do sinal das fontes nos mapas de RCFM é retirar todos os pixels pertencentes a uma circunferência centrada na fonte. Neste caso, o raio é determinado de acordo com o número de pixels ocupados pelo sinal da fonte. Contudo, desta forma pode-se retirar sinal cosmológico junto com o sinal da fonte (além daquele sinal cosmológico presente nos pixels da própria fonte). Daí a necessidade de se estudar uma maneira de fazer o corte minimizando esta perda.

Pierpaoli (2003) estimou a contribuição de fontes puntiformes em mapas simulados em 90 GHz, para o satélite WMAP. Após a remoção das fontes, foi estimada sua contribuição residual para os mapas, utilizando momentos estatísticos. Esta mesma técnica pode ser aplicada aos mapas do BEAST, propiciando um teste interessante com mapas e fontes reais e um desdobramento natural do trabalho desenvolvido nesta dissertação.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alpher, R. A.; Herman, R. C. Topological entropy. **Nature**, v. 162, p. 774, Jan. 1948.

Baade, W.; Minkowski, R. On the identification of radio sources. **The Astrophysical Journal**, v. 119, n. 1, p. 215–231, Jan. 1954.

aars, J. W. M.; Genzel, R.; Pauliny-Toth, I. I. K.; Witzel, A. The absolute spectrum of CAS A - an accurate flux density scale and a set of secondary calibrators. **Astronomy and Astrophysics**, v. 61, n. 1, p. 99–106, Oct. 1977.

Barnes, C.; Limon, Page, L.; Bennett, C.; Bradley, S.; Halpern, M.; Hinshaw, G.; Jarosik, N.; Jones, W.; Kogut, A.; Meyer, S.; Motrunich, O.; Tucker, G.; Wilkinson, D.; Wollack, E. The MAP satellite feed horns. **The Astrophysical Journal Supplement Series**, v. 143, n. 2, p. 567–576, Dec. 2002.

Becker, R. H.; White, R. L.; Helfand, D. J. The FIRST Survey: faint images of the radio sky at twenty centimeters. **The Astrophysical Journal**, v. 450, n. 1, p. 559, Sept. 1995.

Begelman, M. C.; Blandford, R. D.; Rees, M. J. Theory of extragalactic radio sources. **Reviews of Modern Physics**, v. 56, n. 2, p. 255–343, Apr. 1984.

Bennett, A. S. The revised 3C catalogue of radio sources. **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, v. 68, n. 1, p. 163–168, Jan. 1962.

Bennett, C. L.; Halpern, M.; Hinshaw, G.; Jarosik, N.; Kogut, A.; Limon, M.; Meyer, S. S. First-year Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP) observations: preliminary maps and basic results. **The Astrophysical Journal Supplement Series**, v. 148, n. 1, p. 1–27, Aug. 2003a.

Bennett, C. L.; Hill, R. S.; Hinshaw, G.; Nolta, M. R.; Odegard, N.; Page, L.; Jarosik, N.; Kogut, A.; Limon, M.; Meyer, S. S. First-year Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP) observations: foreground emission. **The Astrophysical Journal Supplement Series**, v. 148, n. 1, p. 97–117, Aug. 2003b.

Bersanelli, M.; Maino, D.; Menella, A. Anisotropies of the cosmic microwave background. **Rivista Il Nuovo Cimento**, v. 25, n. 9, p. 1–81, Sept. 2002.

Boller, T.; Tanaka, Y.; Fabian, A.; Brandt, W. N.; Gallo, L.; Anabuki, N.; Haba, Y.; Vaughan, S. XMM–Newton spectral properties of the narrow-line Seyfert 1 galaxy IRAS 13224–3809 **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, v. 343, n. 4, p. L89–L93, Aug. 2003.

Botti, L. C. .L.; Abraham, Z. Long-term radio observations of the nucleus of NGC 5128 (Centaurus A). **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, v. 264, n. 4, p. 807–812, Oct. 1993.

Bruyn, A. G.; Wilson, A. S. The radio properties of Seyfert galaxies. **Astronomy and Astrophysics**, v. 64, n. 3, p. 433–444, Mar. 1978.

Burke, B. F.; Graham-Smith, F. **An introduction to radio astronomy**. New York, N. Y.: Cambridge University Press, 1996.

Childers, J.; and Bersanelli, M.; Figueiredo, N.; Gaier, T.; Halevi, D.; Kangas, M.; Levy, A.; Lubin, P. M.; Malaspina, M.; Mandolesi, N.; Marvil, J.; Meinhold, P.; Mejía, J.; Natoli, P.; O’Neil, H.; Parendo, S.; Seiffert, M.; Stebor, N.; Villa, F.; Villela, T.; Willians, B.; Wuensche, C. A. The Background Emission Anisotropy Scanning Telescope (BEAST) Instrumente Description and Performances. **Astrophysical Journal Supplement Series**, 2004. Submetido.

Coble, K.; Dragovan, M.; Kovac, J.; Halverson, N. W.; Holzapfel, W. L.; Knox, L.; Dodelson, S.; Ganga, K.; Alvarez, D.; Peterson, J. B. Anisotropy in the cosmic microwave background at degree angular scales: Python V results. **The Astrophysical Journal Letters**, v. 519, n. 1, p. 5–8, June 1999.

Condon, J. J. Cosmological evolution of radio sources. **The Astrophysical Journal Letters**, v. 287, n. 1, p. 461–474, Dec. 1984.

Condon, J. J.; Cotton, W. D.; Greisen, E. W.; Yin, Q. F.; Perley, R. A.; Taylor, G. B.; Broderick, J. J. The NRAO VLA Sky Survey. **The Astrophysical Journal**, v. 115, n. 5, p. 1963–1716, May 1998.

Condon, J. J.; Dressel, L. L. Synchrotron spectra of non-uniform compact sources. **The Astrophysical Journal Letters**, v. 15, n. 5, p. 203, Dec. 1973.

Cotton, W. D.; Wittels, J. J.; Shapiro, I. I.; Marcaide, J. The Very Flat Radio Spectrum of 0735+1978: A Cosmic Conspiracy. **The Astrophysical Journal Letters**, v. 238, n. 2, p. 123–128, June 1980.

Da Rocha, C. **Detecção de fontes**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, jun. 2004. [Comunicação Pessoal].



de Bernardis, P.; de Gasperis, G.; Masi, S.; Vittorio, N. Detection of cosmic microwave background anisotropy at 1.8 deg: theoretical implications on inflationary model. **The Astrophysical Journal Letters**, v. 433, n. 1, p. 123–128, Sept. 1980.

Douglas, J. N.; Bash, F. N.; Arakel, F. A.; Geoffrey, W.; Wolfe, C. The Texas survey of radio sources covering  $-35.5$  degrees  $<$  declination  $<$  71.5 degrees at 365 MHz. **The Astronomical Journal**, v. 111, n. 1, p. 1945, May 1980.

Draine, B. T.; Lazarian, A. Diffuse galactic emission from spinning dust grains. **The Astronomical Journal**, v. 494, p. L19–L22, Fev. 1998.

European Southern Observatory. **ESO Science Activities**. © 2003. The HEALPix Homepage, 1999. Disponível em: <http://www.eso.org/science/healpix>. Acesso 07 de jun. 2004.

Fanaroff, B. L.; Riley, J. M. The morphology of extragalactic radio sources of high and low luminosity. **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, v. 167, n. 1, p. 31–35, May 1974.

Ficarra, A.; Grueff, G.; Tomassetti, G. A new bologna sky survey at 408 MHz. **Astronomy and Astrophysics Supplement Series**, v. 59, n. 1, p. 255–347, Feb. 1985.

Figueiredo, N.; Bersanelli, M.; Childers, J.; D’Arcangelo, O.; Halev, D.; Janssen, M.; Kedward, K.; Lemaster, N.; Lubin, P.; Mandolesi, N.; Marvil, J.; Meinhold, P.; Mejia, J.; Mennella, A.; Natoli, P.; O’Neil, H.; Pina, A.; Pryor, M.; Sandri, M.; Simonetto, A.; Sozzi, C.; Tello, C.; Villa, F.; Villela, T.; Williams, B.; Wuensche, C. A. The optical design of the background emission anisotropy scanning telescope. **Astrophysical Journal Supplement Series**, 2004. Submetido.

Fischer, M. L.; Alsop, D. C.; Cheng, E. S.; Clapp, A. C.; Cottingham, D. A.; Gundersen, J. O.; Koch, T. C.; Kreysa, E.; Meinhold, P. R.; Lange, A. E. A bolometric millimeter-wave system for observations of anisotropy in the cosmic microwave background radiation on medium angular scale. **The Astrophysical Journal**, v. 388, n. 1, p. 242–252, Apr. 1992.

Fixsen, D. J.; Cheng, E. S.; Gales, J. M.; Mather, J. C.; Shafer, R. A.; Wright, E. L. The cosmic microwave background spectrum from the full COBE FIRAS data set. **The Astrophysical Journal**, v. 473, n. 1, p. 473–576, Dec. 1996.

Fogarty, W. G.; Epstein, E. E.; Montgomery, J. W.; Dworetzky, M. M. Radio Sources: 3.3-mm Flux and Variability Measurement. **The Astrophysical Journal**, v. 76, p. 537–543, Ago. 1971.

Gamow, J. A. The evolution of the Universe. **Nature**, v. 162, p. 774, Jan. 1948.

Gibilisco, S. Galaxies and Quasars. In: —————. **Astronomy Demystified**. 1ed. Columbus, OH: Mc Graw Hill, 2003, Cap. 15, p. 312–314. Disponível em: <<http://www.mhhe.com/astronomy/student.html>>. Acesso em 13 Abr. 2004.

Górski, K. M.; Hivon, E.; Wandelt, D. B. Analysis issues fo large CMB data sets in: Proceedings of the MPA/ESO cosmology conference. **PrintPartners Ipskamp**, Garching, Germany, n. 200, p. 37–42, Aug. 2000.

Gregory, P. C.; Condon, J. J. The 87GB catalog of radio sources covering delta between 0 and + 75 deg at 4.85 GHz. **The Astrophysical Journal Supplement Series**, v. 75, n. 1, p. 1011–1291, Apr. 1991.

Gutiérrez, C. M.; Rebolo, R.; Watson, R. A.; Davies, R. D.; Jones, A. W.; Lasenby, A. N. The Tenerife cosmic microwave background maps: observations and first analysis. **The Astrophysical Journal**, v. 529, n. 1, p. 47–55, Jan. 2000.

Halverson, N. W.; Leitch, E. M.; Pryke, C.; Kovac, J.; Carlstrom, J. E.; Holzappel, W. L.; Dragovan, M.; Cartwright, J. K.; Mason, B. S.; Padin, S. Degree angular scale interferometer first results: A measurement of the cosmic microwave background angular power spectrum. **The Astrophysical Journal**, v. 568, n. 1, p. 38–45, Mar. 2002.

Hanany, S.; Ade, P.; Balbi, A.; Bock, J.; Borrill, J.; de Bernardis, P.; Ferreira, P. G.; Hristov, V. V.; Jaffe, A. H.; Lange, A. E.; Hu, J. H. P. MAXIMA-1: A measurement of the cosmic microwave background anisotropy on angular scales of  $10^{\prime-5}$ . **The Astrophysical Journal**, v. 545, n. 1, p. L5–L9, Dec. 2000.

Hanisch, R. J.; Farris, A.; Greisen, E. W.; Pence, W. D.; Schlesinger, B. M.; Teuben, P. J.; Thompson, R. W.; Warnock, Q. Definition of the flexible image transport system (FITS). **Astronomy and Astrophysics**, v. 376, n. 1, p. 359–380, Sept. 2001.

Holdaway, M. A.; Owen, F. N.; Rupen, M. P. **More VLA Calibrators at Q band**. New Mexico: National Radio Astronomy Observatory, 1994.

Hu, W.; Dodelson, S. Cosmic microwave background anisotropies. **Annual Reviews Astronomy and Astrophysics**, v. 40, n. 1, p. 171–216, Sept. 2002.

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Radiação Cósmica de Fundo**. © 2003. Grupo de Cosmologia Observacional. Disponível em: <<http://www.das.inpe.br/cosmo>>. Acesso em 19 maio 2004.

Israel, F. P. Centaurus A - NGC 5128. **The Astronomy and Astrophysics Review**, v. 8, n. 4, p. 237–278, Jan. 1998.

Jansky, K. Radio waves from outside the solar system. **Nature**, v. 132, p. 66, Sept. 1933.

Johnston, K. J.; Fey, A. L.; Zacharias, N.; Russell, J. L.; Ma, C.; de Vegt, C.; Reynolds, J. E. A Radio Reference Frame. **Astronomy Journal**, v. 110, p. 880–915, Aug. 1995.

Kaiser, N.; Silk, J. Cosmic microwave background anisotropy. **Nature**, v. 324, p. 529–537, Dec. 1986.

Kellermann, K. I.; Pauliny-Toth, I. I. K. Compact radio sources. **Annual Reviews Astronomy and Astrophysics**, v. 56, n. 2, p. 255–343, Apr. 1981.

Kraus, J. D. **Radio astronomy**. Powell, Ohio: Cygnus-Quasar Books, 1986.

Laurent-Muehleisen, S. A.; Kollgard, R. I.; Ryan, P. J.; Feigelson, E. D.; Brinkmann, W.; Siebert, J. Radio-loud active galaxies in the northern ROSAT all-sky survey. I. radio identifications. **Astronomy and Astrophysics Supplement Series**, v. 122, n. 2, p. 235–247, Apr. 1997.

Lawrence, A. Classification of active galaxies and the prospect of a unified phenomenology. **Astronomical Society of the Pacific**, v. 99, n.1, p. 309–334, May 1987.

Lawrence, C. R. The low frequency instrument on Planck. **New Astronomy Reviews**, v. 47, n.11, p. 1025–1032, Dec. 2003.

Lima Neto, G B. **Astronomia extragaláctica**. São Paulo: Universidade de São Paulo, São Paulo, jun. 2003. [Comunicação pessoal].

Marscher, A. P. Effects of nonuniform structure on the derived physical parameters of compact synchrotron sources. **The Astrophysical Journal**, v. 216, n. 1, p. 244–256, Aug. 1977.

Martin, H. M.; Partridge, B. A search for small-scale structure in the background radiation at 6 centimeters. **The Astrophysical Journal**, v. 324, n. 1, p. 794–800, Jan. 1988.

Mather, J. C.; Cheng, E. S., Eplee, R. E., Smoot, G. F., Wilkinson, D. T. A preliminary measurement of the cosmic microwave background spectrum by the Cosmic Background Explorer (COBE) satellite. **The Astrophysical Journal Letters**, v. 354, n. 2, p. L37–L40, May 1990.

Mauskopf, P. D.; Ade, P. A.; de Bernardis, P.; Bock, J. J.; Borrill, J.; Boscaleri, A.; Crill, B. P.; P., B.; De Gasperis, G.; Troia, G. D.; Farese, P. Measurement of a peak in the cosmic microwave background power spectrum from the north american test flight of Boomerang. **The Astrophysical Journal Letters**, v. 536, n. 2, p. 59–62, June 2000.

Meinhold, P. R.; Chiguanco, A. O.; Gundersen, J. O.; Schuster, A. J.; Seiffert, M. D.; Lubin, P. M.; Morris, D.; Villela, T. The advanced cosmic microwave explorer - a millimeter-wave telescope and stabilized plataform. **The Astrophysical Journal**, v. 406, n. 1, p. 12–25, Mar. 1993.

Mejía, J. **O Telescópio BEAST**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, ago. 2004. [Comunicação pessoal].

National Aeronautics and Space Administration. **Legacy Archive for Microwave Background Data Analysis**. © 1988. Wilkinson Microwave Anisotropy Probe. Disponível em: <<http://lambda.gsfc.nasa.gov>>. Acesso em 12 de Maio 2004.

Osterbrock, D. E. Spectrophotometry of Seyfert 1 galaxies. **The Astrophysical Journal**, v. 215, n. 1, p. 733–745, Aug. 1977.

Owen, F. N.; Spangler, S. R.; Cotton, W. D. Simultaneous radio spectra of sources with strong millimeter componentes. **The Astronomical Journal**, v. 85, n. 4, p. 351–362, Apr. 1980.

Page, L.; Cheng, E.; Ganga, K.; Meyer, S. The far infrared survey: cross-correlation with the first-year DMR maps and auto-correlation function. **Astrophysical Letters and Communications**, v. 32, n. 1, p. 239, Jan. 1995.

Page, M. J.; Mittaz, J. P. D.; Carrera, F. J. A survey of hard spectrum ROSAT sources - I. X-ray source catalogue. **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, v. 318, n. 4, p. 239, Nov. 2000.

Partridge, R. B. **3K: the cosmic microwave background radiation**. New York, N. Y.: Cambridge University Press, 1995.

Penzias, A. A.; Wilson, R. W. A Measurement of Excess Antenna Temperature at 4080 Mc/s. **The Astrophysical Journal**, v. 142, n. 1, p. 419–421, July 1995.

Peterson, B. M. **An introduction to active galactic nuclei**. Cambridge: University Press, 1997.

Pierpaoli, E. Point sources in the Wilkinson anisotropy probe sky maps. **The Astrophysical Journal**, v. 589, n. 1, p. 58–66, May 2003.

Schmidt, M. Space distribution and luminosity functions of quasi-stellar radio sources. **The Astrophysical Journal**, v. 151, n. 1, p. 393–410, Feb. 1968.

Smoot, G. F.; Gorenstein, M. V.; Muller, R. A. Detection of anisotropy in the cosmic blackbody radiation. **Physical Review Letters**, v. 39, n. 1, p. 898–901, Oct. 1977.

Smoot, G. F.; Bennett, C.; Weber, R.; Maruschak, J.; Ratliff, R.; Janssen, M.; Chitwood, J.; Hilliard, L.; Lecha, M.; Mills, R.; Wilkinson, D.; Wright, E. COBE differential microwave radiometers - Instrument design and implementation. **Astrophysical Journal**, v. 360, n. 1, p. 685–695, Sept. 1990.

Smoot, G. F.; Bennett, C. L.; Kogut, A.; Wright, E. L.; Aymon, J.; Boggess, N. W., Cheng, E. S. de Amici, G.; Gulkis, S.; Hauser, M. G.; Hinshaw, G.; Jackson, P. D.; Janssen, M.; Kaita, E.; Kelsall, T.; Keegstra, P.; Lineweaver, C.; Loewenstein, K.; Lubin, P.; Mather, J.; Meyer, S. S.; Moseley, S. H.; Murdock, T.; Rokke, L.; Silverberg, R. F.; Tenorio, L.; Weiss, R., Wilkinson, D. T. Structure in the COBE differential microwave radiometer first-year maps. **Astrophysical Journal Letters**, v. 396, n. 1, p. L1–L5, Sept. 1992.

Staren, J.; Meinhold, P.; Childers, J.; Lim, M.; Levy, A.; Lubin, P.; Seiffert, M.; Gaier, T.; Figueiredo, N.; Villela, T.; Wuensche, C. A.; Tegmark, M.; de Oliveira-Costa, A.. A spin-modulated telescope to make two-dimensional cosmic microwave background maps. **The Astrophysical Journal**, v. 539, n. 1, p. 52–56, Aug. 2000.

Stull, M. A. Flux densities of radio galaxies at 8000 MHz. **The Astronomical Journal**, v. 76, p. 1–4, Feb. 1971.

Sunyaev, R. A.; Zel'dovich, I. B. The velocity of clusters of galaxies relative to the microwave background - The possibility of its measurement. **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, v. 190, n. 1, p. 413–420, Feb. 1980.

Tegmark, M.; de Oliveira-Costa, A.; Staren, J. W.; Meinhold, P.; Lubin, P. M.; Childers, J. D.; Jeffrey, D.; Figueiredo, N.; Gaier, T.; Lim, M. A.; Seiffert, M. D.; Villela, T.; Wuensche, C. A. Cosmic microwave background maps from the HACME experiment. **The Astrophysical Journal**, v. 541, n. 2, p. 535–541, Oct. 2000.

Toffolatti, L.; Agüeso-Gómez, F.; de Zotti, G.; Mazzei, P.; Franceschini, A.; Danese, L.; Burigana, C. Extragalactic source counts and contributions to the anisotropies of the cosmic microwave background: predictions for the *Planck surveyor* mission. **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, v. 297, n. 1, p. 117–127, June 1998.

University of Alabama. **Department of Physics and Astronomy**. © 2002. Quasars and Active Galactic Nuclei. Disponível em: <<http://www.astr.ua.edu/keel/agn>>. Acesso em 01 de Jul. 2004.

Waldram, E. M.; Yates, J. A.; Riley, J. M.; Warner, P. J. The 7C survey of radio sources at 151 MHz. **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, v. 282, n. 3, p. 779–787, June 1998.

Weedman, D. W. **Quasar astronomy**. Cambridge: University Press, 1986.

Wills, D.; Lynds, R. Studies of new complete samples of quasi-stellar radio sources from the 4C and Parkes catalogs. **Astronomical Journal Supplement Series**, v. 36, n. 1, p. 317–358, Mar. 1978.

Wollack, E. J.; Jarosik, N. C.; Netterfield, C. B.; Page, L. A.; Wilkinson, D. A measurement of the anisotropy in the cosmic microwave background radiation at degree angular scale. **The Astrophysical Journal Letters**, v. 419, n. 1, p. 49, Dec. 1981.

Wuensche, C. A. **Contribuição atmosférica**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, jul. 2004. [Comunicação pessoal].

## A FLUXOS EM FUNÇÃO DA FREQUÊNCIA

Apresentamos abaixo os gráficos de fluxo em função da frequência para as fontes identificadas na literatura e que não foram mostradas no Capítulo 5

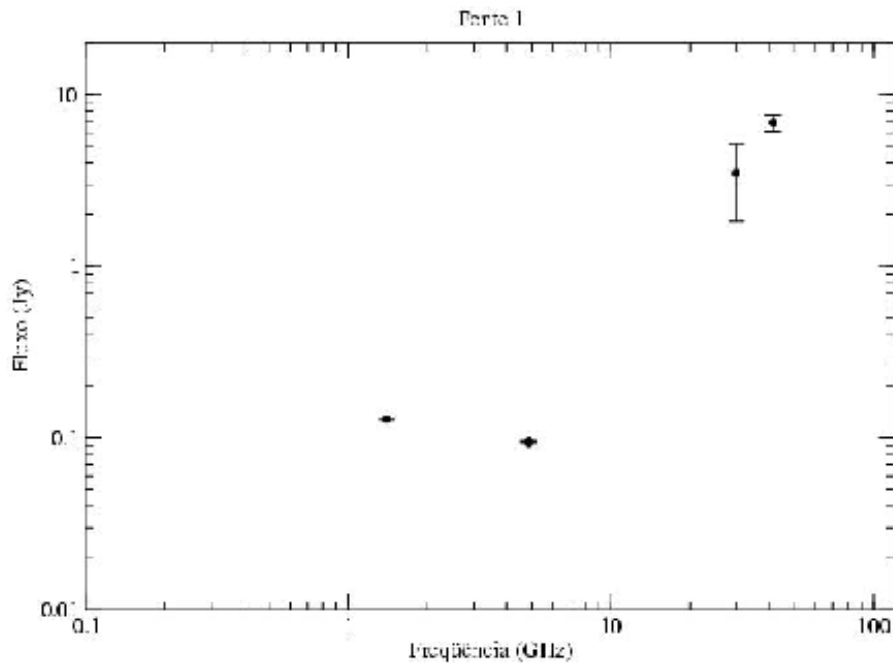


Figura A.1 - Gráfico da densidade de fluxo em função da frequência, com medidas do BEAST e da literatura, para a fonte 1 (J003408+3901).

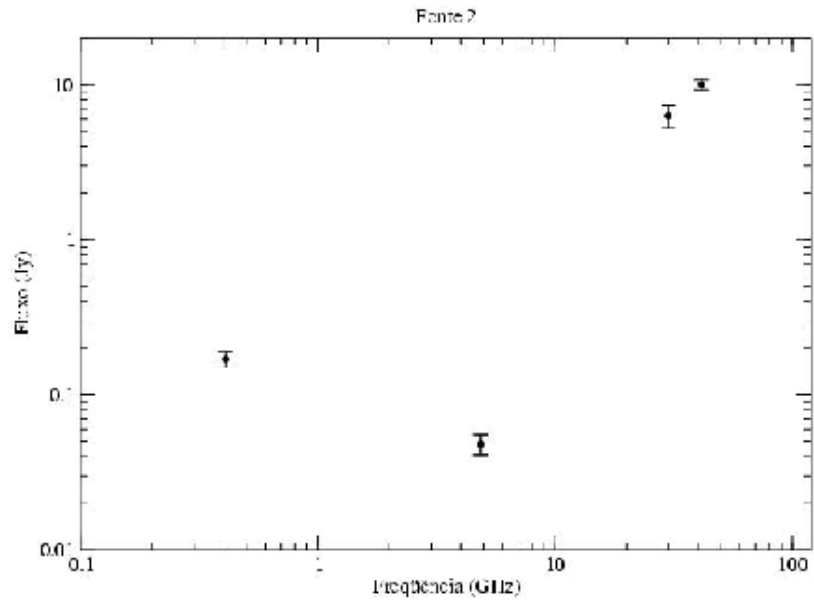


Figura A.2 - Gráfico da densidade de fluxo em função da frequência, com medidas do BEAST e da literatura, para a fonte 2 (J2315+3841).

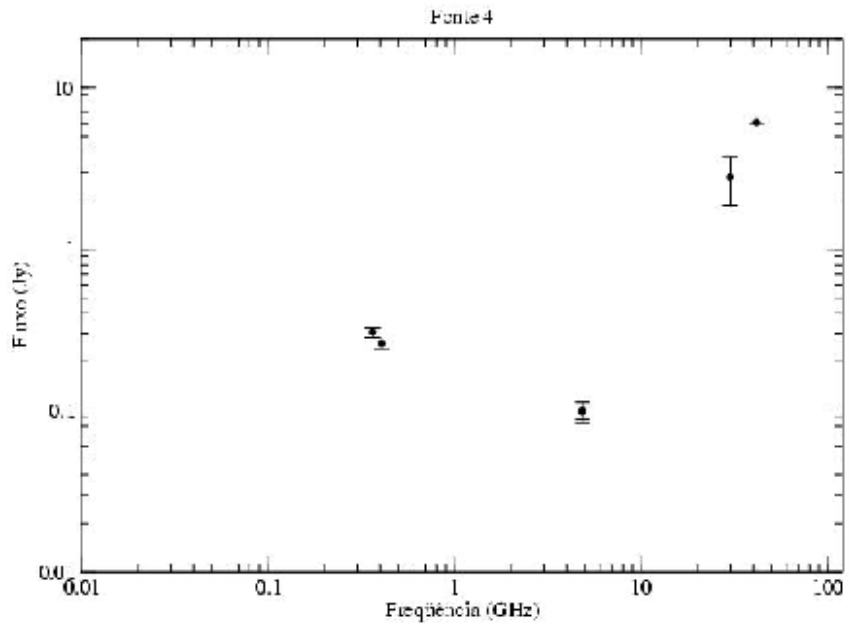


Figura A.3 - Gráfico da densidade de fluxo em função da frequência, com medidas do BEAST e da literatura, para a fonte 4 (B3 2354+383).



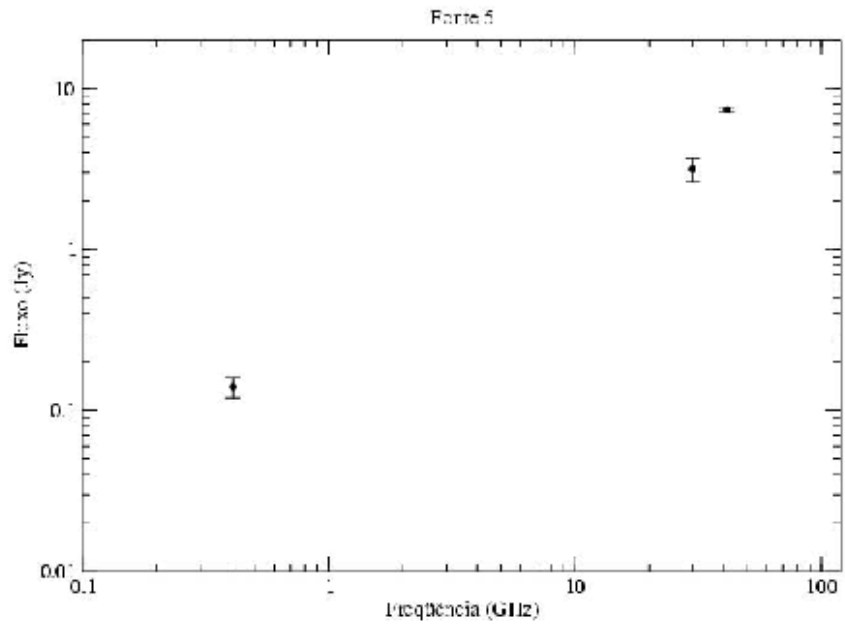


Figura A.4 - Gráfico da densidade de fluxo em função da frequência, com medidas do BEAST e da literatura, para a fonte 5 (B3 2331+385).

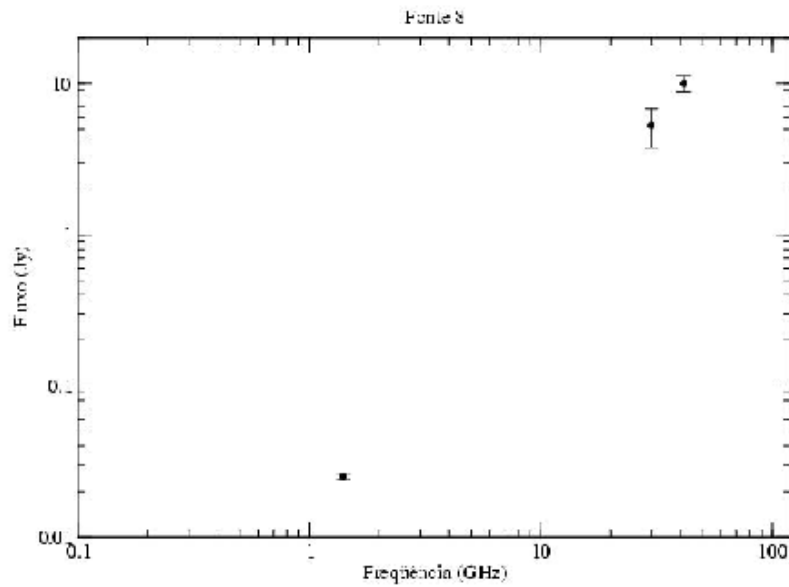


Figura A.5 - Gráfico da densidade de fluxo em função da frequência, com medidas do BEAST e da literatura, para a fonte 8 (B3 2314+377).

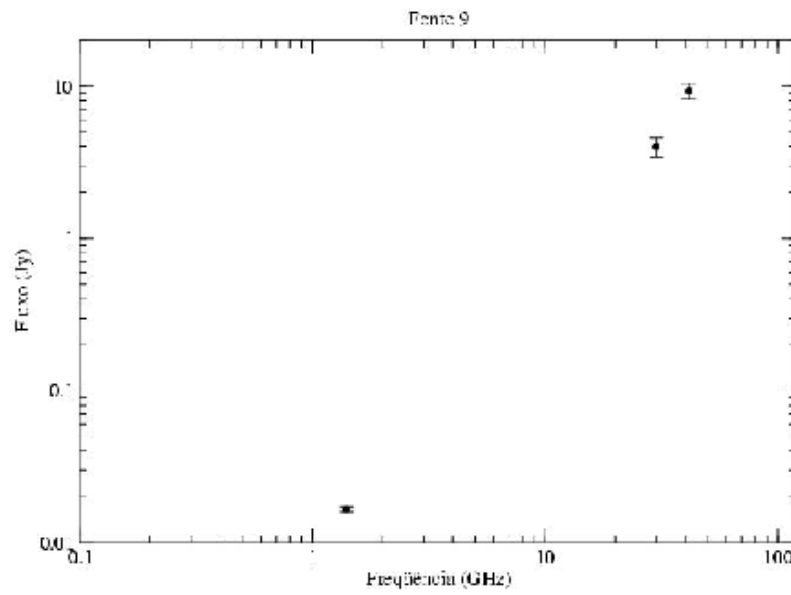


Figura A.6 - Gráfico da densidade de fluxo em função da frequência, com medidas do BEAST e da literatura, para a fonte 9 (B3 0017+374).

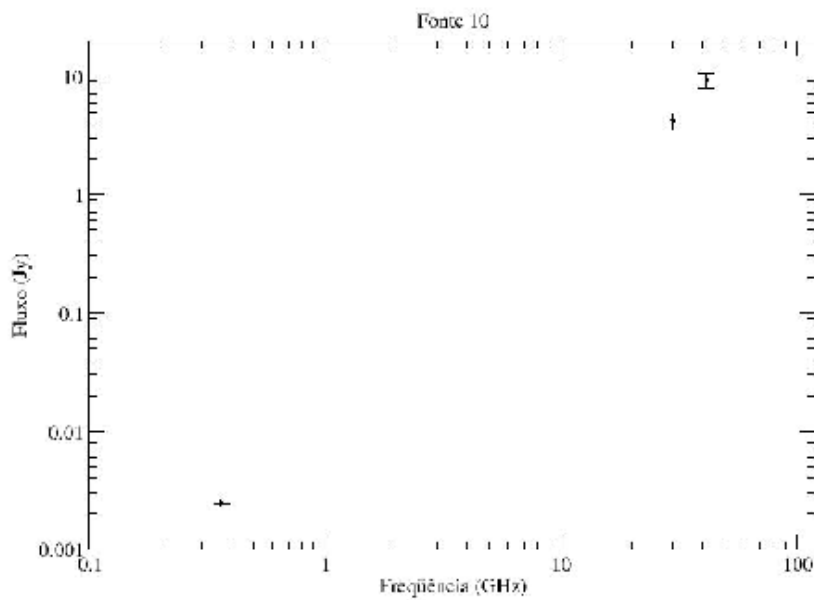


Figura A.7 - Gráfico da densidade de fluxo em função da frequência, com medidas do BEAST e da literatura, para a fonte 10 (TXS 2238+364).

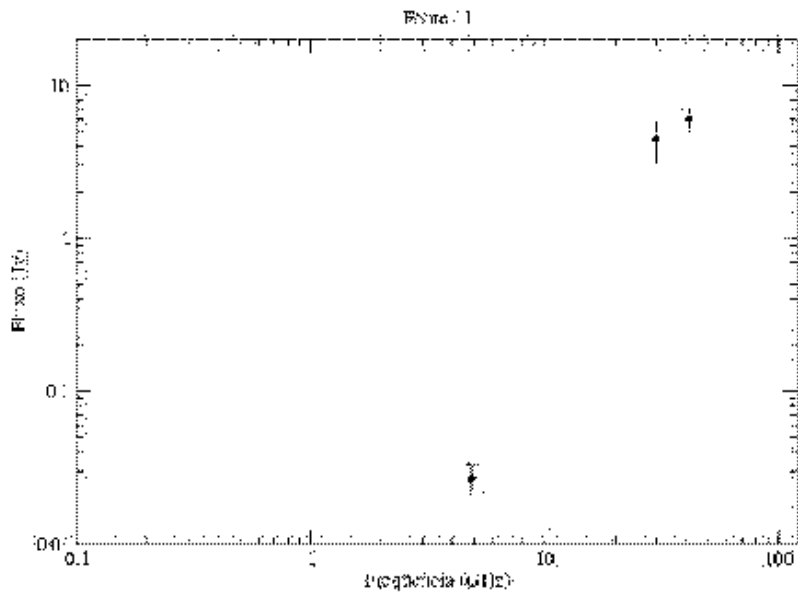


Figura A.8 - Gráfico da densidade de fluxo em função da frequência, com medidas do BEAST e da literatura, para a fonte 11 (87GB 160739,8+37081).

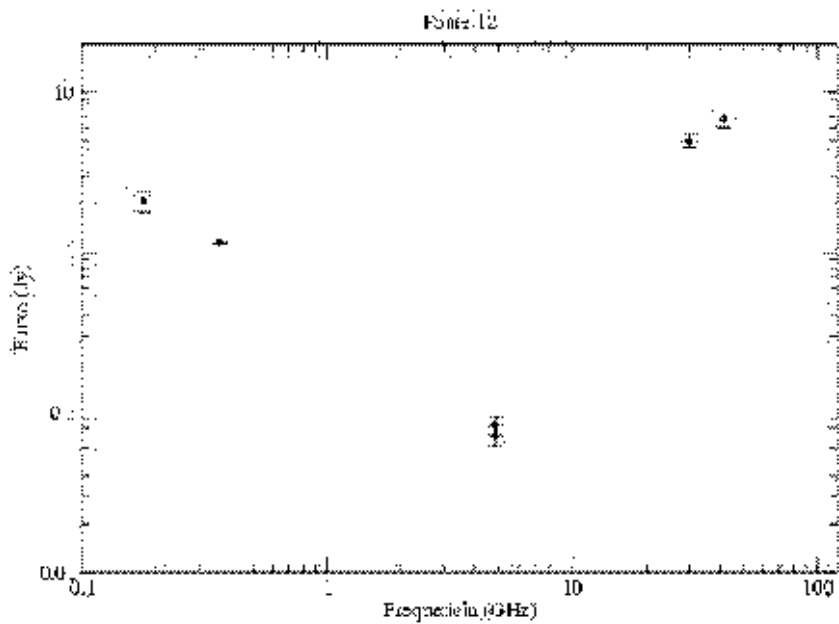


Figura A.9 - Gráfico da densidade de fluxo em função da frequência, com medidas do BEAST e da literatura, para a fonte 12 (4C + 3646).

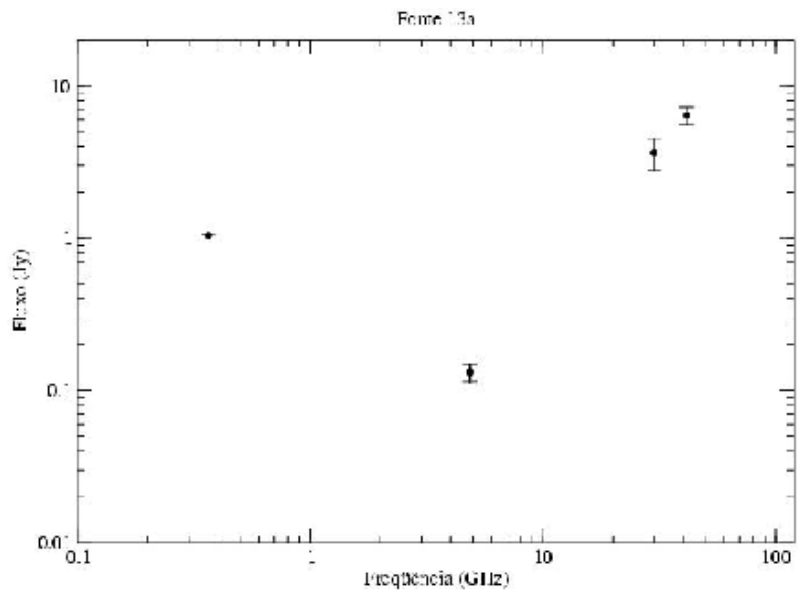


Figura A.10 - Gráfico da densidade de fluxo em função da frequência, com medidas do BEAST e da literatura, para a fonte 13a (J234027+3615).

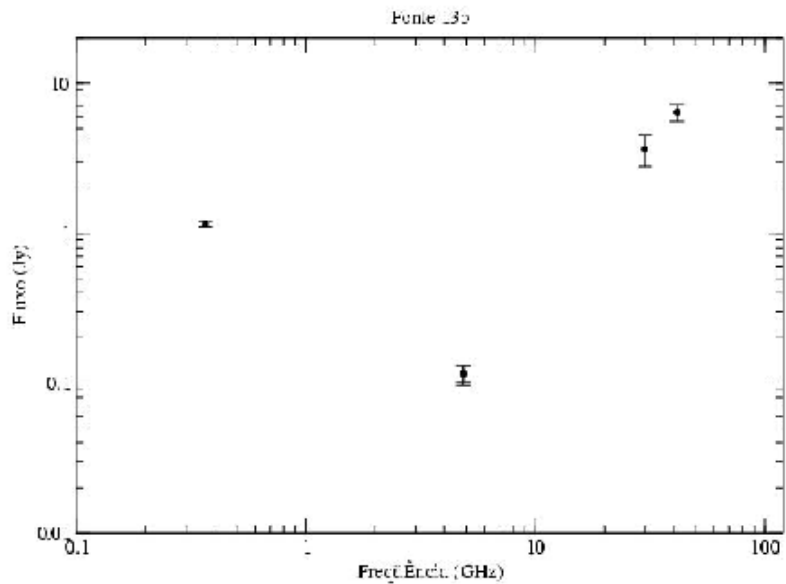


Figura A.11 - Gráfico da densidade de fluxo em função da frequência, com medidas do BEAST e da literatura, para a fonte 13b (J234116+3618).

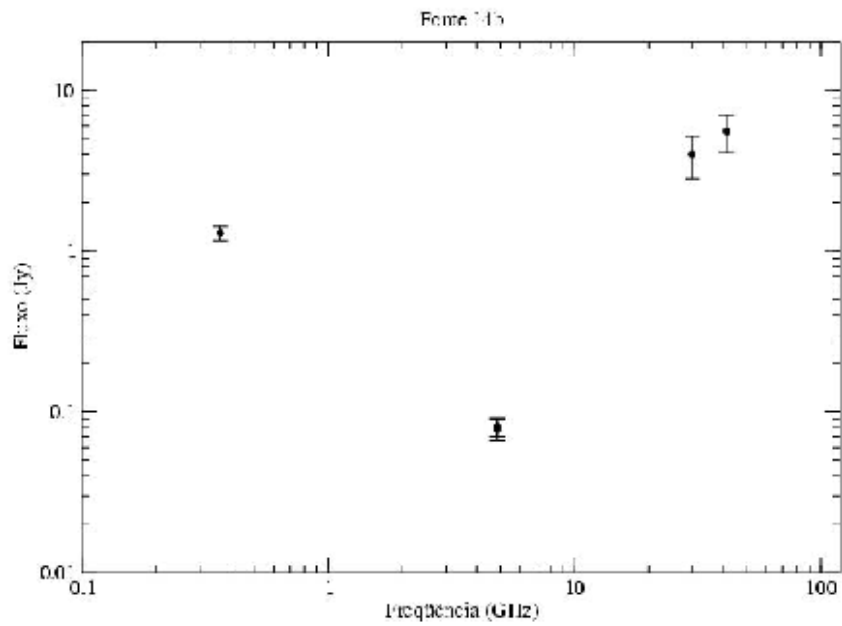


Figura A.12 - Gráfico da densidade de fluxo em função da frequência, com medidas do BEAST e da literatura, para a fonte 14b (J231903+3556).

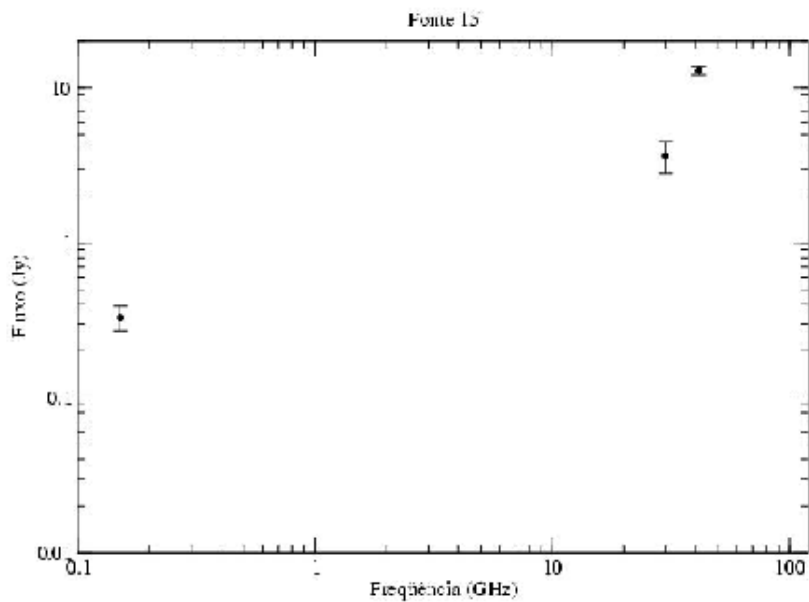


Figura A.13 - Gráfico da densidade de fluxo em função da frequência, com medidas do BEAST e da literatura, para a fonte 15 (7C 1452+3551).