

## Um Mapa da Galáxia em 408 MHz

R. R. DE SOUZA<sup>1,\*</sup>, C. TELLO<sup>2</sup>, T. VILLELA<sup>2</sup>,

[1] Faculdade de Tecnologia de São Paulo, FATEC-ITAQUERA, São Paulo, SP, Brasil.

[2] INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Divisão de Astronfísica,  
São José dos Campos, SP, Brasil.

Submetido em 17/02/2015; Aceito em 29/08/2015; Publicado em 24/12/2015

**Resumo.** Este artigo procura mostrar como foi obtido um mapa da emissão da Galáxia em 408 MHz. Os mapas da emissão da Galáxia nas frequências de rádio do espectro eletromagnético são de grande importância para o estudo da radiação cósmica de fundo em micro-ondas (RCFM). Para confeccionar o mapa deste trabalho, foram utilizados os dados obtidos com o radiotelescópio do projeto *Galactic Emission Mapping* (GEM), em Bishop - Califórnia - EUA. A introdução discorre sobre a descoberta da emissão em radiofrequência por fontes extraterrestres e, em seguida, a importância dos mapas no estudo da RCFM. O experimento GEM em si, seu funcionamento e o processo de aquisição e tratamento de dados são abordados de maneira sucinta, pois a ênfase é dada ao modo de superação do problema na leitura de posição do azimute desse radiotelescópio.

**Palavras-chave.** Mapa da Emissão da Galáxia, GEM, RCFM.

**Abstract.** This article attempts to show how a map of the emission of the Galaxy at 408 MHz was obtained. The maps of the Galactic emission in the electromagnetic spectrum radio frequencies have great importance for the study of cosmic microwave background (CMB) radiation. The data to construct the map was obtained with the radio telescope of the project Galactic Emission Mapping (GEM) used in Bishop - California - USA. The presentation is about the discovery of extraterrestrial radio frequency emission sources therefore the importance of maps in the study of CMB is displayed. It is briefly discussed the GEM experiment itself, its operation and the acquisition and processing of data. In particular, the article deals with a manner to overcome the problem in the reading of the azimuth position of this radio telescope.

### 1. Introdução

Qualquer experimento que pretenda medir a intensidade e anisotropias da RCFM capta a emissão da Galáxia como um sinal de fundo. Essa emissão não pode ser evitada por técnicas observacionais. O que deve ser feito é subtrair este sinal da Galáxia a partir do seu conhecimento prévio.

---

\*derodriguesrogerio@hotmail.com

Chamamos de emissão da Galáxia às radiações: sincrotron, térmica da poeira interestelar e bremsstrahlung térmico. A emissão da Galáxia na faixa de 408 MHz, que é a frequência do mapa tratado neste artigo, tem como emissão dominante a radiação sincrotron, como exemplifica a Figura 1. O conhecimento da emissão da Galáxia contribui para um melhor entendimento sobre a dinâmica e estrutura da Galáxia. Por outro lado, os mapas da anisotropia da RCFM requerem a extração de qualquer sinal da emissão da Galáxia. Esta informação é dada com a utilização dos mapas da Galáxia.

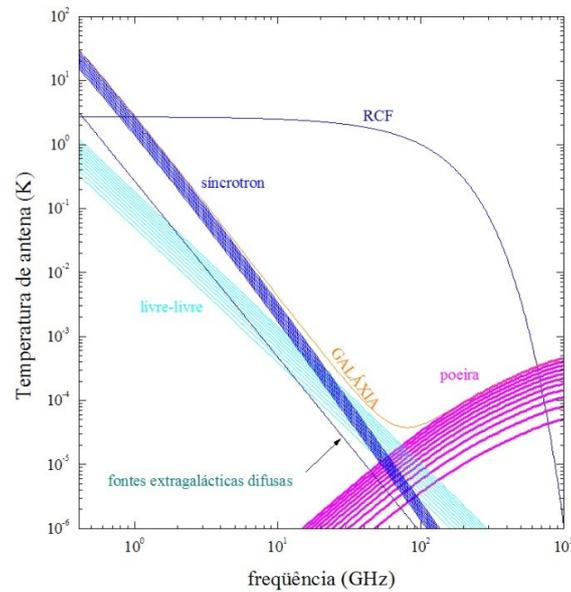


Figura 1: Espectro dos componentes da emissão Galáctica comparado com o espectro da Radiação Cósmitica de Fundo (RCF). A largura das bandas mostra a variação dos componentes da emissão Galáctica com a Latitude  $15^\circ \leq |b| \leq 70^\circ$ , de acordo com Bennett et al [1]. FONTE: [2], página16.

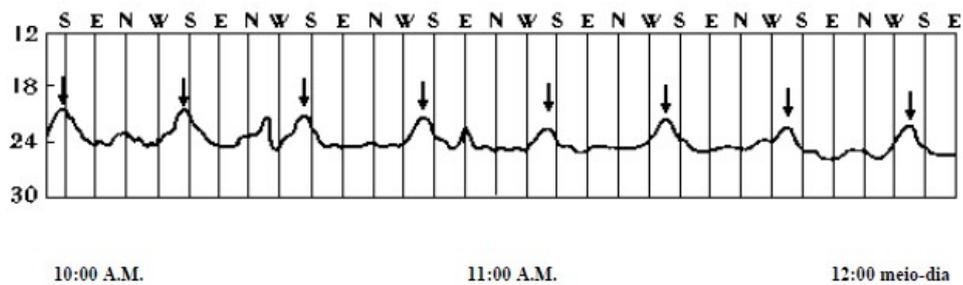


Figura 2: Registro obtido por Jansky em 24 de fevereiro de 1932. FONTE:[3], pág.7.

A busca por um melhor entendimento e conhecimento das radiações e das estruturas da Galáxia, na faixa de rádio e micro-ondas do espectro eletromagnético, teve início com

a descoberta de emissão rádio vinda do Centro Galáctico, por Karl Jansky. A Figura 2 exemplifica o registro obtido por Jansky [4].

Várias foram as tentativas de mapeamento parciais do céu, e bem como com a cobertura total do céu [5]. A tentativa mais bem sucedida para a obtenção de um mapa do céu inteiro foi feita por Haslam et al. [6], exemplificada na Figura 3. No entanto, esse mapa contém erros na determinação do nível zero e apresenta instabilidades do sistema radiométrico ocasionando incertezas de  $\pm 2,3 K$  no seu ponto zero e 3,6% na escala de temperatura. Estes erros foram gerados devido à utilização de técnicas observacionais diferentes e bem como de instrumentos diferentes para alcançar a cobertura total do céu.

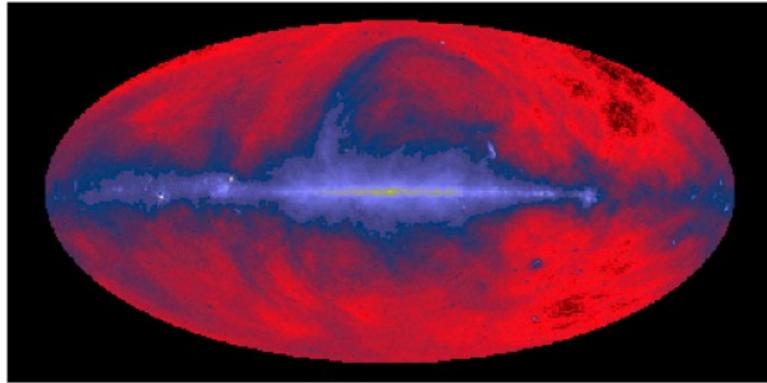


Figura 3: Mapa de Haslam et al. em 408 MHz. FONTE: [6].

### 1.1. Os mapas do céu inteiro e a RCFM

A RCFM está intimamente relacionada com a Cosmologia. Pelo modelo cosmológico conhecido como *Big Bang*, o universo teve um início bastante quente e denso. Nestas condições, prótons, nêutrons, elétrons, matéria escura, energia escura e a radiação térmica formavam um plasma e estavam confinados nesta região em equilíbrio térmico. Se realmente as condições eram essas, o espectro desta radiação térmica seria de um corpo negro “quase” perfeito.

De acordo com este modelo, à medida que o universo foi expandindo e esfriando, essa radiação conseguiu escapar da região de confinamento e podemos observá-la hoje em dia na faixa da radiação de micro-ondas do espectro eletromagnético. Essa radiação transporta informações de uma época em que os prótons, nêutrons e elétrons começaram a se combinar para formar os elementos mais leves. Esta formação corresponde a pequeníssimas variações na densidade de matéria, que em larga escala foi responsável pela formação das estruturas que observamos hoje: planetas, estrelas, galáxias, aglomerados e vazios. O registro dessas pequeníssimas variações está impresso no espectro de corpo negro da RCFM como pequeníssimas variações de temperatura ( $\Delta t \sim 30 \mu K$ ). A comprovação dessas pequeníssimas variações no espectro da RCFM foi feita a partir dos dados obtidos com o satélite Cosmic Background Explorer (COBE), lançado em 1989.

Esta comprovação conferiu o prêmio Nobel de Física do ano de 2006 aos idealizadores deste experimento: Mather [7] e Smoot [8]. A descoberta dessas variações no espectro só foi possível pela extração do sinal da Galáxia. Uma vez que, ao analisar o sinal da RCFM, o sinal da Galáxia é recebido juntamente, sendo impossível evitá-lo com o auxílio de técnicas observacionais. Portanto, o sinal da Galáxia é extraído por meio dos mapas do céu inteiro. Nesta ocasião, foi utilizado o único mapa de céu inteiro que é o mapa de Haslam et al. No entanto, este mapa contém erros que comprometem o conhecimento real da emissão da Galáxia. Portanto, mapas mais confiáveis são necessários para dirimir quaisquer dúvidas a respeito dessa descoberta e para o conhecimento mais profundo das estruturas e mecanismos de emissão da Galáxia. Com essas motivações, foi concebido o projeto GEM.

## 2. O experimento GEM

O projeto GEM é uma colaboração internacional entre os EUA, Brasil, Colômbia e Itália. O objetivo do projeto GEM é obter mapas do céu inteiro em baixas frequências: 408, 1465, 2300, 5000 e 10000 *MHz*. Para isto, utiliza um radiotelescópio portátil de 5,5 m de diâmetro, como mostra a Figura 4, que coleta os dados em várias regiões predefinidas do globo terrestre para obter uma cobertura completa do céu.



Figura 4: O radiotelescópio GEM com cerca e painéis de extensão, na sede do INPE, em Cachoeira Paulista-SP-Brasil (Lat.  $-22,68^\circ$ ; Long.  $45,00^\circ$ ). FONTE: [5], pág. 37.

O radiotelescópio opera inclinado em  $30^\circ$  com respeito ao zênite, e gira a uma velocidade constante de 1 RPM. O seu feixe projetado no céu, e conjuntamente com o movimento de rotação da Terra, distribui as varreduras do radiotelescópio, permitindo uma cobertura completa do céu numa faixa de  $60^\circ$  em ascensão reta. A técnica de varredura é exemplificada na Figura 5.

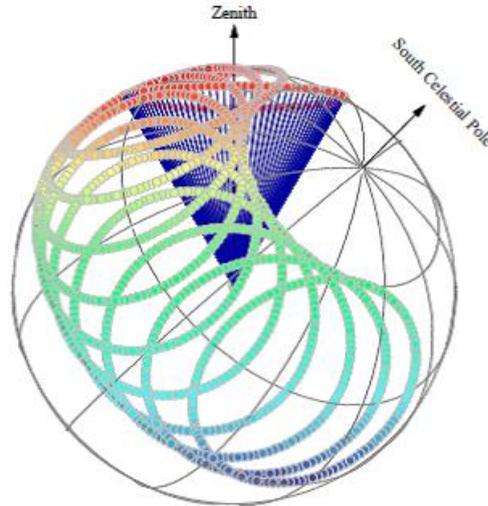


Figura 5: Técnica de varredura do céu utilizada pelo radiotelescópio GEM, mostrando a distribuição dos círculos em ascensão reta. FONTE: [9].

Os dados coletados pelo radiotelescópio eram armazenados num computador. A cada intervalo de um tempo específico, chamado tempo de integração, o sistema de aquisição de dados enviava para um computador informações sobre o funcionamento do radiotelescópio. As informações eram referentes: à fração do dia, ao número do frame, à elevação, ao sinal radiométrico, ao azimute, às temperaturas dos sensores, à voltagem dos pulsos de interferência em radiofrequência (IRF), à temperatura da fonte de ruído e à voltagem da fonte de ruído. Um exemplo de arquivo de saída com estas informações é dado na Tabela 1 abaixo.

IGOR													
WAVES	Frame	Elevation	Signal	Azimuth	Temp_1	Temp_2	Temp_3	Temp_4	?????	V_sat	T_ext_noise	V_ext_noise	
Day													
BEGIN													
6.600.891	385677	53807	41731	46809	42519	42538	42437	42494	36419	32740	54034	32768	
6.600.903	385678	53808	41776	46507	42519	42538	42436	42495	35107	32745	54032	32766	
6.600.903	385679	53807	41820	46204	42518	42539	42439	42493	37014	32791	54034	32767	
6.600.903	385680	53809	41873	45901	42519	42537	42437	42493	35109	32745	54032	32767	
6.600.914	385681	53807	41896	45600	42519	42538	42436	42494	36335	32805	54030	32768	
6.600.914	385682	53809	41945	45294	42519	42538	42436	42494	35278	32742	54034	32767	
6.600.914	385683	53807	41998	44995	42520	42532	42437	42492	37905	32803	54033	32767	
6.600.914	385684	53809	42078	44508	42519	42537	42436	42493	35507	32749	54033	32768	

Tabela 1: Exemplo de um arquivo de saída. Os dados informados nesta tabela estão em unidades digitais, com exceção das colunas do tempo e do frame. Posteriormente, estes dados são convertidos em unidades físicas.

### 3. O problema no codificador de azimute

Devido a um problema na leitura do codificador de azimute, foram gerados valores incorretos para esta quantidade. Estes valores incorretos podem ser visualizados com a elaboração de um gráfico azimute versus frame. Neste gráfico, os pontos corretos devem se distribuir ao longo de retas, cujos coeficientes angulares fornecem a velocidade média de rotação do radiotelescópio, como exemplificado na Figura 6.

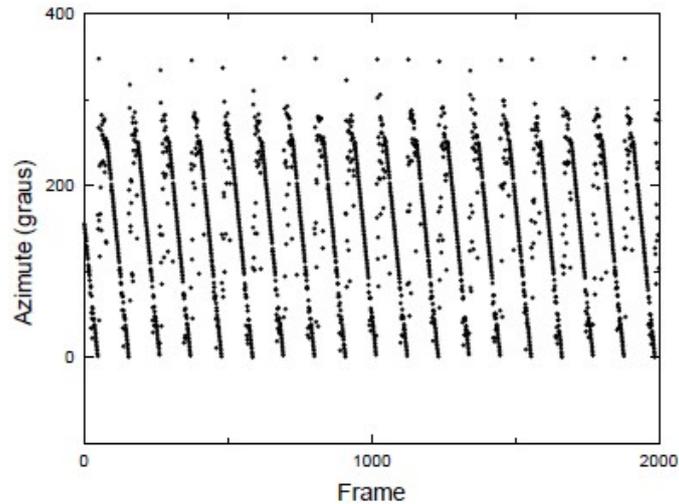


Figura 6: Trecho de um arquivo de dados mostrando o registro do azimute. Para um radiotelescópio girando a uma velocidade constante, todos os pontos deveriam se localizar ao longo das retas. FONTE: [5], página 71.

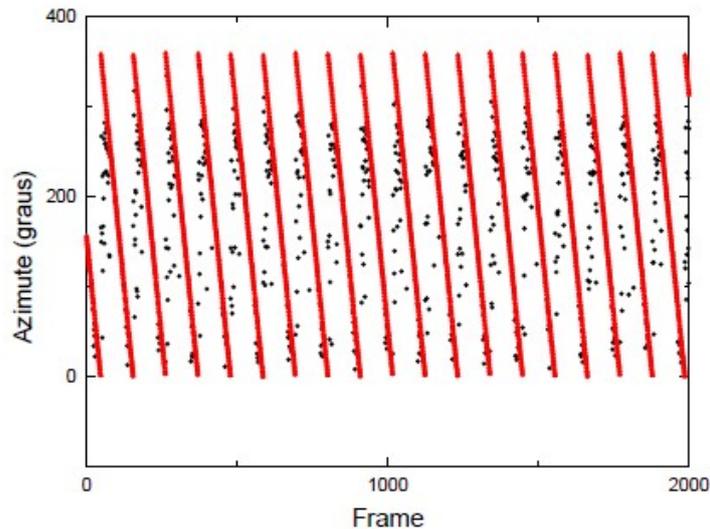


Figura 7: Trecho de um arquivo ao qual foi aplicada a correção dos azimutes. Os pontos em vermelho são fornecidos pelo modelo. FONTE: [5], página 71.

Para solucionar este problema, o movimento da antena foi modelado utilizando uma velocidade de rotação média e os valores incorretos foram substituídos pelos valores do modelo. A velocidade de rotação média foi obtida a partir de todos os ajustes lineares com, pelo menos, 20 pontos consecutivos em seguimentos de reta como nos da Figura 6. A substituição de um dado valor do azimute pelo valor do modelo era feita a partir do momento que a diferença entre o valor da leitura e o valor previsto superava uma dada tolerância. A limitação deste modelo é que o ponto zero do arquivo deve ser estimado corretamente. Na Figura 7 é mostrado como o modelo corrigiu as leituras dos azimutes incorretos.

## 4. O mapa obtido

Para a obtenção deste mapa em 408 MHz com os dados coletados pelo radiotelescópio GEM, foi necessário efetuar cortes nos arquivos que continham contaminações: de IRF, do Sol e da Lua, da atmosfera e do solo. Muitos outros detalhes do funcionamento dos componentes eletrônicos, e que podem interferir com ruídos na detecção, também foram estimados e considerados na obtenção do mapa.

O mapa obtido em 408 MHz deste trabalho resultou de 53,46 horas de observações com o radiotelescópio GEM para varreduras com inclinações em torno do zênite de 20°, 25°, 30°, 35° e 40°. Desse total de observações, 36,58% das medidas foram contaminadas por interferência em radiofrequência (IRF), enquanto que o Sol e a Lua contaminaram 16,25% das medidas. Excluídas as contaminações, o mapa acumulou 29,40 horas. As Figuras 8 e 9 mostram esse mapa, respectivamente, em coordenadas equatoriais e em coordenadas Galácticas. Na Figura 10, o mapa obtido é comparado com o mapa de Haslam et al. Esta comparação foi feita degradando o mapa de Haslam et al. para uma largura do feixe de 10,4° que é a resolução angular do nosso instrumento. O mapa obtido neste trabalho mostra-se compatível com relação às estruturas. A região do centro galáctico mostra-se bastante saturada. A obtenção deste mapa é um resultado preliminar, e que servirá para aprimorar as técnicas de análise de dados e aperfeiçoamento do experimento para as próximas coletas de dados.

## 5. Conclusões

O artigo procurou divulgar, em linhas gerais, uma importante e relativamente nova área da Astronomia, que é a Radioastronomia. O contexto com a Cosmologia foi enfatizado, mostrando a importância dos mapas da emissão Galáctica para o estudo da intensidade e das anisotropias da RCFM. Por outro lado, os mapas da emissão Galáctica podem contribuir para um melhor entendimento da dinâmica e estrutura da Galáxia.

Os dados utilizados para a confecção dos mapas foram coletados com o radiotelescópio GEM, na cidade de Bishop, na Califórnia-EUA. Com a intenção de situar o leitor no cotidiano das observações astronômicas, uma breve introdução sobre o funcionamento do aparato experimental foi dada.

O mapa final obtido acumulou 29,40 horas das 53,46 horas de observações e coleta efetiva dos dados. Estes números mostram a dificuldade de se fazer observações no solo, onde sinais de IRF e bem como as próprias emissões do solo podem comprometer

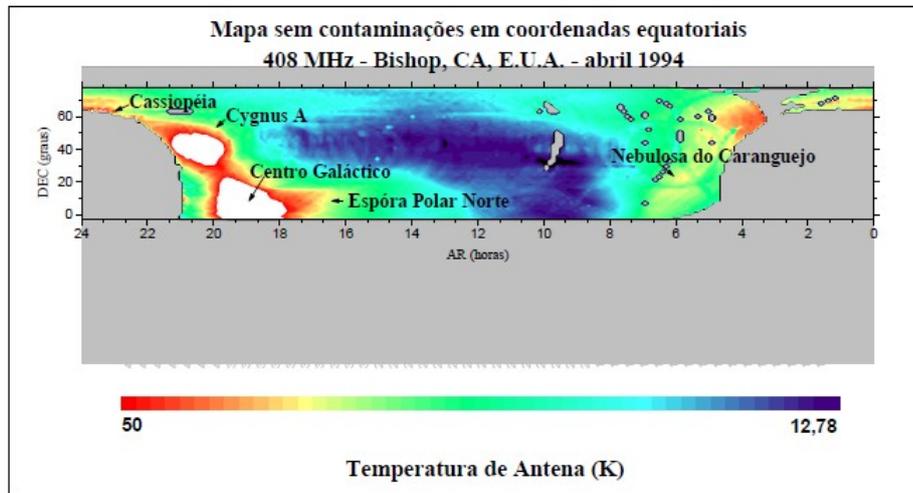


Figura 8: Mapa do projeto GEM em 408 MHz em coordenadas equatoriais.

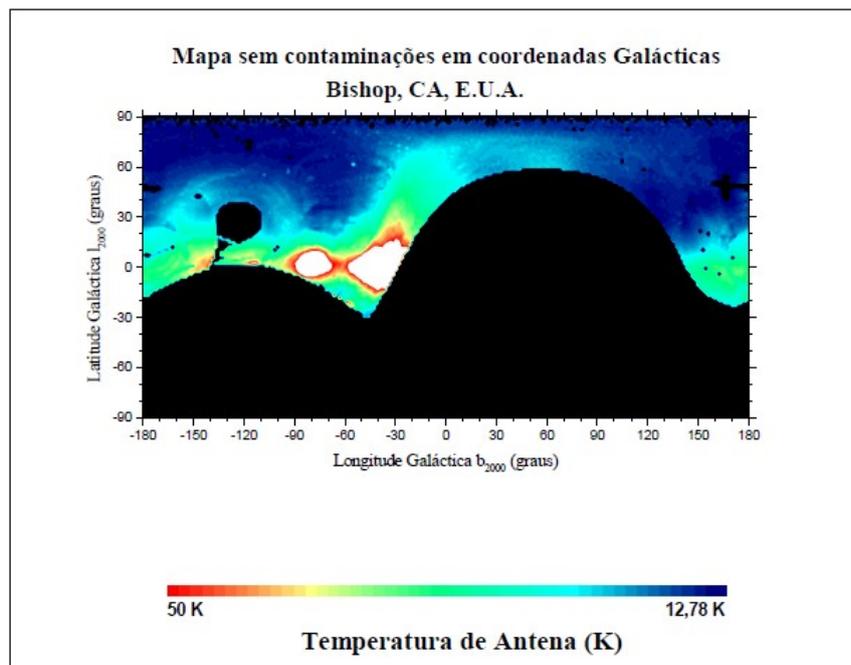


Figura 9: Mapa do projeto GEM em 408 MHz em coordenadas Galácticas.

todo o trabalho. Em especial, foi enfatizada a superação de um problema na leitura do azimute do radiotelescópio, que do contrário inviabilizaria a utilização desses dados coletados em Bishop para a confecção deste mapa. O mapa obtido, comparado com

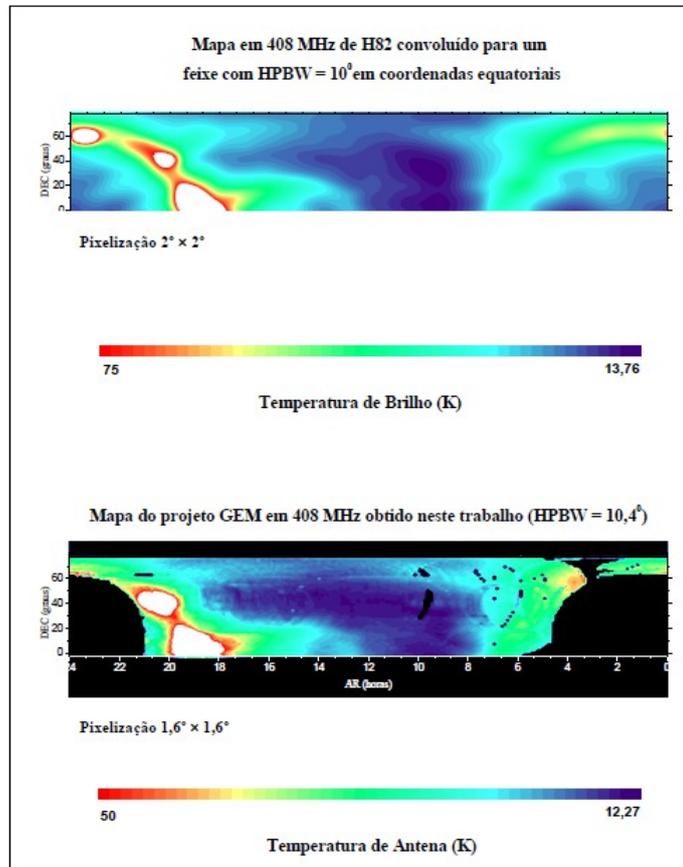


Figura 10: Mapa de Haslam et al. e do projeto GEM em 408 MHz.

o de Haslam et al., mostra compatibilidade quanto às estruturas. Nenhuma outra comparação foi possível realizar por se tratar de um mapa preliminar. No entanto, o mapa obtido poderá ser utilizado para aprimorar as técnicas de análise de dados. Para aprofundar o conhecimento sobre o assunto, recomendo fortemente ao leitor as referências bibliográficas.

### Agradecimentos

Ao árbitro da revista, pela leitura crítica e sugestões de mudanças que procurei refletir e providenciar da melhor maneira, dentro das minhas limitações, para tornar o texto inteligível.

## Referências

- [1] C. L. BENNETT, et al., “Preliminary Separation of Galactic and Cosmic Microwave Emission for the COBE Differential Microwave Radiometer,” *The Astrophysical Journal*, vol. 396, pp. L7–L12, 1992.
- [2] C. TELLO, *Um Experimento para Medir o Brilho Total do Céu em Comprimentos de Onda Centimétricos*. Tese de Doutorado em Ciência Espacial/Radioastronomia e Física Solar, INPE, São José dos Campos, Brasil, 1997.
- [3] J. D. KRAUS, *Radio Astronomy*, vol. 1. New York: McGraw-Hill, 1966.
- [4] K. G. JANSKY, “Electrical Disturbances Apparently of Extraterrestrial Origin,” *Proceedings of the Institute of Radio Engineers*, vol. 21, no. 10, pp. 1387–1398, 1933.
- [5] R. R. SOUZA, *Um Mapa da Emissão Galáctica em 408 MHz*. Dissertação de Mestrado, INPE, São José dos Campos, SP, 2000.
- [6] C. G. T. HASLAM, C. J. SALTER, H. STOFFEL, and W. E. Z. WILSON, “A 408 MHz All-Sky Continuum Survey. II-The Atlas of Contour Maps,” *Astronomy and Astrophysics Supplement Series*, vol. 47, pp. 1–143, 1982.
- [7] J. C. MATHER, “Nobel Lecture: From the Big Bang to the Nobel Prize and Beyond,” *Reviews of Modern Physics*, vol. 79, pp. 1331–1348, Nov 2007.
- [8] G. F. SMOOT, “Nobel Lecture: Cosmic Microwave Background Radiation Anisotropies - Their Discovery and Utilization,” *Reviews of Modern Physics*, vol. 79, pp. 1349–1379, Nov 2007.
- [9] C. TELLO, T. VILLELA, G. F. SMOOT, S. TORRES, and M. BERSANELLI, “A New Radio Continuum Survey of the Sky at 1465 MHz between Declinations  $-52^\circ$  and  $+68^\circ$ ,” in *New Cosmological Data and the Values of the Fundamental Parameters, IAU Symposium 201*, eds. A. N. Lasenby & A. Wilkinson, (Machester), Aug 2000.