

Universidade de São Paulo - USP  
Instituto de Física | Departamento de Física Geral  
Bacharelado em Física

**Projeto de Iniciação Científica**  
Análise da Pipeline de Processamento de dados -  
Radiotelescópio GEM

Aluno: Nicolli Soares Pansanato  
Professor orientador: Elcio Abdalla  
Professor co-orientador: Filipe Batoni Abdalla

Abril  
2023

# Conteúdo

<b>1</b>	<b>Resumo</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Introdução</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>Objetivos</b>	<b>5</b>
<b>4</b>	<b>Plano de trabalho</b>	<b>7</b>
<b>5</b>	<b>Materiais e Métodos de trabalho</b>	<b>8</b>
5.1	Pipeline de processamento e conjunto de dados - radiotelescópio GEM em 2300 MHz . . . . .	8
5.2	Análise e adaptação dos módulos . . . . .	9
	<b>Referências</b>	<b>10</b>

# 1 Resumo

O projeto encontra-se no contexto da construção e desenvolvimento do radiotelescópio BINGO, que visa compreender melhor a evolução e dinâmica do universo em período ainda obscuro.

O pré-processamento de dados observacionais está inserido no processo de instrumentação do telescópio, para auxiliar o desenvolvimento de tal, este projeto visa basear-se no processamento de dados do radiotelescópio GEM. Em vista disso, é necessário uma análise e adaptação do procedimento já aplicado ao projeto GEM pela aluna. Com o resultado desta pesquisa será possível a utilização destes conhecimentos no projeto BINGO.

## 2 Introdução

O radiotelescópio BINGO (Baryon Acoustic Oscillations in Neutral Gas Observations) ([Abdalla et al., 2022](#)), tem por principal objetivo impor restrições em parâmetros cosmológicos que tentam descrever a parte do setor escuro do Universo relacionado à Energia Escura. Para tal objetivo, o projeto BINGO objetiva ser o primeiro projeto a identificar as oscilações acústicas de bárions (BAO) ([Bassett; Hlozek, 2010](#))- informações primordiais da interação entre matéria e radiação preservadas na distribuição de matéria no Universo - na faixa de frequência de rádio.

O telescópio utilizará das emissões de hidrogênio neutro (HI) devido a interação entre os momentos magnéticos do próton e do elétron, com posterior emissão de radiação com comprimento de onda de aproximadamente 21 cm. Tal emissão, genericamente chamada de "emissão de 21-cm", possibilita observar a distribuição de HI no Universo, e, por conseguinte, a distribuição de matéria. Ou seja, a emissão de 21-cm é um tipo de dado que possibilita a identificação das BAO. O projeto objetiva observar o sul celeste entre  $-25^\circ$  e  $-10^\circ$  em declinação, na faixa de frequência de 980-1260 MHz. Essa faixa de frequência está associada a um período do Universo local, posterior ao período da reionização, período esse que diferentes observações até os dias atuais indicam haver um domínio da influência da Energia Escura na dinâmica do Universo ([Abdalla; Marins, 2020](#)).

O BINGO está sendo construído no sítio do Urubu, na cidade de Aguiar, Paraíba ([Wuensche et al., 2022](#)). Seu design óptico foi projetado para ser composto por dois espelhos de aproximadamente 40 m de diâmetro, que focalizarão a radiação proveniente do céu sobre uma distribuição de 28 cornetas coletoras dispostas sobre o plano focal ([Abdalla et al., 2022](#)). O design é do tipo crossed-Dragonian ([Dragone, 1978](#)) que tem por principal objetivo minimizar a polarização cruzada do sinal, e as cornetas construídas corrugadas para manter o feixe com o lóbulo principal o mais gaussiano possível e lóbulos laterais  $<20$  dB, em relação ao principal.

Como parte da instrumentação do radiotelescópio, a parte de pré-processamento de dados da pipeline do projeto irá ordenar os registros das observações de acordo com o tempo (Time Ordered Data - TOD), assim como realizar as calibrações necessárias, para posteriores produção de mapas e análises. Objetivando auxiliar e melhorar a produção desta, têm-se como base a pipeline de outro projeto de radiotelescópio, GEM (Galactic Emission Mapping) ([Tello et al., 2013a](#)), em 2300 MHz.

A motivação do projeto GEM para a produção de mapas da emissão galáctica nas frequências de 408 MHz, 465 MHz, 1465 MHz, 2300 MHz, 5 GHz e 10 GHz foi a deficiência na consistência das bases de dados de levantamentos contínuos de rádio, o que não permitia prever com segurança o espectro de emissão síncrotron galáctica.

O radiotelescópio GEM portátil é constituído por uma placa altazimutal rotatória de 5,5 m de diâmetro, com duas extensões protetoras de alumínio de 2,1 m de extensão para minimizar a contaminação pela radiação do solo, e uma rede de telas de arame inclinadas para ajustes de ângulo de acordo com o perfil altazimutal. Com isso, o GEM observa o céu em círculos em torno do zênite, e, devido a rotação da Terra, pode cobrir uma região entre  $6^\circ$  e  $52^\circ$ , em declinação (para o experimento em 2300 MHz). Os dados observados à 2300 MHz foram coletados em Cachoeira Paulista, São Paulo, em 1999.

O processamento de dados do GEM em 2300 MHz está dividido em (três) etapas, compostas por módulos em linguagem de programação Fortran 77. A entrada inicial de dados (input) - correspondendo aos sinais lidos - são captados como sinais analógicos e convertidos à digitais antes de serem armazenados - pelos codificadores do radiotelescópio. Estes sinais correspondem a leituras de elevação e azimute que definem a direção de apontamento, ao sinal oriundo do radiômetro, aos quatro sensores de temperatura do radiômetro, as fontes de ruído e a leitura do aquecedor.

Os módulos de processamento assim como os dados brutos observacionais e instruções foram e estão sendo fornecidos por uma parte da colaboração BINGO, que fez parte do projeto GEM. Os detalhes a respeito do projeto GEM em 2300 MHz, assim como uma figura esquemática do processo de produção da pipeline podem ser encontrados em (Tello et al., 2013b).

Com a análise e processamento destes módulos, este projeto tem por objetivo usar os dados tratados provenientes das observações do GEM, para compreender melhor e calibrar o funcionamento do pré-processamento do projeto BINGO, em conjunto com software HIDE<sup>1</sup> & SEEK<sup>2</sup>. O trabalho descrito servirá, como dito anteriormente, para auxiliar no aprimoramento e na construção da pipeline de pré-processamento do projeto BINGO. Concomitante a produção científica, a aluna poderá conciliar à formação da gra-

---

<sup>1</sup><https://github.com/cosmo-ethz/hide>

<sup>2</sup><https://github.com/cosmo-ethz/seek>

duação a aplicação dos conhecimentos em programação e análise de dados, bem como de observações astronômicas. A produção científica na fronteira do conhecimento possibilitará que a aluna desenvolva e potencialize habilidades já adquiridas e outras novas a serem adquiridas durante o processo

Palavras-chaves: BINGO, GEM, pipeline, pré-processamento.

### 3 Objetivos

Serão utilizados para este projeto, os dados observacionais do GEM em 2300 MHz que corresponde ao input mencionado no tópico anterior (sinal do radiômetro, fontes de ruído, direção de apontamento, sensores de temperatura do radiômetro, e leitura do aquecedor). Estes valores de entrada estão em unidades digitais e organizados em uma série de arquivos de extensão ".txt". O detalhamento destes dados podem ser encontrados em (Tello et al., 2013b)

Para processar este material, serão usados códigos de processamento escritos na linguagem de programação Fortran 77. Estes módulos utilizam de processos iterativos que inicialmente fazem a sincronização de escala de tempo e convertem as unidades digitais dos arquivos de entrada para unidades físicas, para posteriores etapas do tratamento do sinal oriundo do céu e demais valores. O funcionamento dos módulos consiste no fornecimento pelo usuário da lista de dados a serem processados, o local e ano da observação. Como resposta, o programa monta uma nova lista de arquivos correspondendo ao output, que deverá ser usado no próximo módulo.

Com isto, o objetivo do projeto é analisar esses módulos enviados à colaboração, entendendo o processo de tratamento de dados oriundos do projeto GEM, e fazer edições para adaptar os módulos para as versões mais atuais dos softwares Intel Fortran Compiler, Linux. Posteriormente utilizar os dados resultantes do tratamento no software HIDE & SEEK, e assim tentar adaptar os métodos utilizados no projeto analisado ao BINGO.

Este processo pode ser listado da seguinte maneira:

A) Etapa 1 - Análise e adaptação do módulo de sincronização temporal dos dados observacionais e conversão de unidades digitais em físicas;

B) Etapa 2 - Análise e adaptação dos módulos de calibração da velocidade de rotação do radiotelescópio e calibração do sinal do radiotelescópio em temperatura de antena;

C) Etapa 3 - Análise e adaptação dos módulos referentes à limpeza de interferências no sinal de temperatura de antena;

D) Produção do relatório final do projeto e utilizar o resultado das etapas

anteriores no software HIDE & SEEK.



## 4 Plano de trabalho

O cronograma de trabalho é baseado no processo de análise e adaptação de cada um dos códigos e, por fim, na tentativa de adaptação dos dados resultantes do processamento ao software HIDE & SEEK e a produção de um relatório final. Para tal, o projeto será dividido em 4 etapas principais contendo os módulos e a produção do relatório em conjunto com o processo de adaptação mencionado acima.

A descrição detalhada dos módulos que compõem as etapas estão presentes na seção seguinte "Materiais e Métodos de trabalho".

- A) (1 mês) Etapa 1;
- B) (2 meses) Etapa 2;
- C) (7 meses) Etapa 3;
- D) (2 mês) Etapa 4.

## 5 Materiais e Métodos de trabalho

### 5.1 Pipeline de processamento e conjunto de dados - radiotelescópio GEM em 2300 MHz

O material base fornecido por colaboradores associados ao GEM pode ser descrito em etapas e seus respectivos módulos de processamento da seguinte maneira:

#### A) Etapa 1

##### A.1) Módulo GEM-2300-0:

Este módulo inicial tem como dados de entrada as leituras do ângulo de elevação do radiotelescópio, o ângulo de azimute associado à rotação do prato, a temperatura dos quatro sensores do radiômetro, o sinal do radiômetro, do aquecedor, e as fontes de ruído. Esses dados de input estão em unidades digitais e são convertidos pelo módulo em unidades físicas.

As unidades físicas de output deste módulo são: ângulos de elevação e azimute em graus (este ângulo de elevação está associado à coordenadas horizontais), temperatura dos sensores do radiômetro em graus celsius, sinal do radiômetro em volts, voltagem do aquecedor, fonte de ruído em graus celsius e em volts.

Além disso, todos esses parâmetros são organizados em uma sequência de frames, sendo que cada frame ocorre a cada 0,56002 segundos. A contagem de tempo nos arquivos é calibrada a partir da informação de início de observação no nome de cada arquivo bruto, essa contagem de tempo continua servindo de base para os próximos módulos.

#### B) Etapa 2

##### B.1) Módulo GEM-2300-1:

O segundo módulo tem como objetivo calibrar as estatísticas de rotação do radiotelescópio. Os dados de input provêm da etapa anterior.

O output é constituído por: correções dos valores de azimute, assim como a sincronização dos valores para cada rotação do prato (apontamento horizontal de cada frame em função de um azimute arbitrário - em função da rotação), velocidade média por frame, período de rotação em segundos. Assim como as incertezas deste valores.

##### B.2) Módulo GEM-2300-2:

Este terceiro módulo usa como input os dados dos módulos anteriores para calibrar o sinal do radiômetro em graus kelvin, as coordenadas horizon-

tais do radiotelescópio (azimute e altitude), além do azimute de rotação, e a fonte de ruído é escrita novamente nestes arquivos de saída (dentro o output da fonte de ruído temos a temperatura de ruído ainda em graus celsius, e o sinal da transmissão em volts).

### C) Etapa 3

O detalhamento de inputs, outputs e os nomes dos módulos desta seção ainda serão providos pelos colaboradores associados ao projeto GEM, no entanto possuímos as informações de procedimentos realizados pelos códigos, que estão disponíveis em (Tello et al., 2013b).

#### C.1) Módulo 1:

Obtém o mapa da variação da temperatura de antena;

#### C.2) Módulo 2:

Comparação das observações com o mapa da variância de temperatura de antena para gerar um novo TOD que exclui dados que ultrapassam três vezes a variância em um pixel correspondente. Além de definir a resolução por pixel do mapa gerado;

#### C.3) Módulo 3:

Define perfis de contaminação do solo para cada intervalo de tempo observado, desde que distanciadas em  $30^\circ$  do plano galáctico para separar características reais de contaminates.

#### C.4) Módulo 4:

Elimina a contaminação na frequência de rádio proveniente do solo.

D) Usar os resultados de todas as etapas anteriores para uma adaptação destes dados ao HIDE & SEEK, e elaborar o relatório final referente ao projeto.

## 5.2 Análise e adaptação dos módulos

Os métodos de trabalho consistem em utilizar o compilador Inter Fortran Compiler em um servidor linux empregando conhecimentos de Fortran 77, e relacionar as informações contidas em (Tello et al., 2013b) às expressões e processos dentro dos módulos em conjunto com a interação constante entre a aluna e os responsáveis pelo projeto GEM.

## Referências

Abdalla, E. et al. The BINGO project. I. Baryon acoustic oscillations from integrated neutral gas observations. , v. 664, p. A14, ago. 2022. [2](#)

Abdalla, E.; Marins, A. The dark sector cosmology. *International Journal of Modern Physics D*, v. 29, n. 14, p. 2030014, jan. 2020. [2](#)

Abdalla, F. B. et al. The BINGO Project. III. Optical design and optimization of the focal plane. , v. 664, p. A16, ago. 2022. [2](#)

Bassett, B.; Hlozek, R. Baryon acoustic oscillations. *Dark energy: observational and theoretical approaches*, Cambridge University Press Cambridge, v. 246, 2010. [2](#)

Dragone, C. Offset multireflector antennas with perfect pattern symmetry and polarization discrimination. *AT T Technical Journal*, v. 57, p. 2663–2684, set. 1978. [2](#)

Tello, C. et al. The 2.3 GHz continuum survey of the GEM project. , v. 556, p. A1, ago. 2013. [2](#)

Tello, C. et al. The 2.3 GHz continuum survey of the GEM project. , v. 556, p. A1, ago. 2013. [3](#), [5](#), [9](#)

Wuensche, C. A. et al. The BINGO project. II. Instrument description. , v. 664, p. A15, ago. 2022. [2](#)