



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM FÍSICA
UNIDADE ACADÊMICA DE FÍSICA

Deivyson Anderson Silva Candido

**Estudo de Pulsares através de catálogos:
Preparando Observações com o Radiotelescópio
Uirapuru**

Campina Grande, Paraíba, Brasil

18 de julho de 2023

Deivyson Anderson Silva Candido

Estudo de Pulsares através de catálogos: Preparando Observações com o Radiotelescópio Uirapuru

Dissertação realizada sob orientação do Prof. Dr. Amílcar Rabelo de Queiroz, apresentada à Unidade Acadêmica de Física em complementação aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Física.

Orientador: Professor Dr. Amílcar Rabelo de Queiroz

Campina Grande, Paraíba, Brasil

18 de julho de 2023

C217e Candido, Deivyson Anderson Silva.
Estudo de pulsares através de catálogos: preparando observações com o radiotelescópio Uirapuru / Deivyson Anderson Silva Candido. – Campina Grande, 2023.
71 f. : il. color.

Dissertação (Mestrado em Física) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia, 2023.
"Orientação: Prof. Dr. Amílcar Rabelo de Queiroz".
Referências.

1. Cosmologia. 2. Pulsares. 3. Catálogos. 4. BINGO. I. Queiroz, Amílcar Rabelo de. II. Título.

CDU 524.83(043)



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
POS-GRADUACAO EM FISICA
Rua Aprigio Veloso, 882, - Bairro Universitario, Campina Grande/PB, CEP 58429-900

FOLHA DE ASSINATURA PARA TESES E DISSERTAÇÕES

DEIVYSON ANDERSON SILVA CANDIDO

"Estudo de Pulsares através de catálogos: Preparando Observações com o Radiotelescópio Uirapuru"

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Física como pré-requisito para obtenção do título de Mestre em Física.

Aprovada em: 22/03/2023

Amílcar Rabelo de Queiroz
Presidente da Comissão e Orientador

João Rafael dos Santos
Examinador Interno

Alex de Albuquerque Silva
Examinador Externo

Marcelo Vargas dos Santos
Examinador Externo



Documento assinado eletronicamente por **JOAO RAFAEL LUCIO DOS SANTOS, PROFESSOR(A) DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 27/03/2023, às 11:16, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **Marcelo Vargas dos Santos, Usuário Externo**, em 28/03/2023, às 18:08, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).

“A inteligência é um dom que deve ser usado para o bem da humanidade, não um privilégio” (Dr. Octopus).

Agradecimentos

- Agradeço a Deus por sempre iluminar a minha mente.
- A minha esposa Gyovanna, por sempre me apoiar em todos os momentos da minha vida.
- A minha mãe e irmãos por todo apoio.
- Ao meu orientador Amilcar, por toda disponibilidade e paciência.
- Aos meus colegas de pós-graduação, Pedro, Alcimar e Renally, por toda troca de conhecimento.
- A todos do projeto BINGO, seja professores e alunos do projeto.

“Porque o Senhor dá a sabedoria; da sua boca vem o conhecimento e o entendimento”.
(Provérbios 2:6)

Resumo

O Pulsar tem início a partir do colapso gravitacional de uma estrela após esgotar todo o seu combustível nuclear em seu núcleo. Durante esse processo, a estrela se comprime até que seus elétrons e prótons se fundam, liberando uma grande quantidade de energia em forma de neutrinos. Todo esse processo leva à formação de uma estrela de nêutrons, que é um objeto muito denso e compacto e tem uma massa de 1,4 massas solares e um diâmetro de cerca de 20 quilômetros. A estrela gira rapidamente e, se tiver um campo magnético muito forte, pode gerar pulsos regulares de radiação eletromagnética. Em suma, os pulsares são objetos altamente energéticos com campos magnéticos fortes que giram rapidamente, emitindo feixes de radiação em uma variedade de comprimentos de onda, incluindo ondas de rádio, raios X, gama e luz visível. Existem várias formas de estudar esses fenômenos, e uma maneira interessante é fazê-lo por meio de catálogos. Mas por que usar catálogos? Há uma grande vantagem em usá-los, pois é possível organizar informações precisas, como coordenadas, parâmetros observacionais e outras propriedades. Ao usar catálogos, é possível identificar e caracterizar pulsares em uma determinada região do céu com maior facilidade, devido à disponibilidade de informações precisas sobre sua localização, período, dispersão, etc. Há vários tipos de catálogos de pulsares disponíveis, cada um com metodologias e abordagens diferentes. O mais conhecido é o "ATNF (AUSTRALIA TELESCOPE NATIONAL FACILITY) Pulsar Catalogue" (cujo uso foi fonte de dados deste trabalho), que contém informações precisas sobre mais de 2.500 pulsares detectados por radiotelescópios ao redor do mundo. Os catálogos são constantemente atualizados com novas informações à medida que novos pulsares são descobertos e as informações existentes são refinadas. No decorrer desta dissertação, abordaremos alguns aspectos e conceitos relacionados à Astronomia e radioastronomia. Também incluímos uma subseção sobre a estrutura e funcionamento dos radiotelescópios, informações gerais sobre o projeto do radiotelescópio BINGO e discutiremos alguns conceitos sobre coordenadas. Separamos dois capítulos para discutir os pulsares, aprofundando em conceitos sobre a detecção, população, dispersão e luminosidade. Por fim, apresentamos um capítulo sobre todo o processo de coleta e tratamento dos dados até a obtenção dos gráficos com base nos dados do catálogo.

Palavras-chave: Pulsares. catálogos. BINGO.

Abstract

The Pulsar begins with the gravitational collapse of a star after it has depleted all of its nuclear fuel in its core. During this process, the star compresses until its electrons and protons merge, releasing a large amount of energy in the form of neutrinos. This entire process leads to the formation of a neutron star, which is a very dense and compact object with a mass of 1.4 solar masses and a diameter of about 20 kilometers. The star rotates rapidly and, if it has a very strong magnetic field, it can generate regular pulses of electromagnetic radiation. In short, pulsars are highly energetic objects with strong magnetic fields that rotate rapidly, emitting beams of radiation in a variety of wavelengths, including radio waves, X-rays, gamma rays, and visible light. There are several ways to study these phenomena, and an interesting way is to do it through catalogs. But why use catalogs? There is a great advantage in using them, as it is possible to organize accurate information, such as coordinates, observational parameters, and other properties. By using catalogs, it is possible to identify and characterize pulsars in a particular region of the sky more easily, due to the availability of accurate information about their location, period, dispersion, etc. There are several types of pulsar catalogs available, each with different methodologies and approaches. The most well-known is the "ATNF (AUSTRALIA TELESCOPE NATIONAL FACILITY) Pulsar Catalogue" (which was the source of data for this work), which contains accurate information on more than 2,500 pulsars detected by radio telescopes around the world. The catalogs are constantly updated with new information as new pulsars are discovered and existing information is refined. Throughout this dissertation, we will address some aspects and concepts related to Astronomy and radio astronomy. We also include a subsection on the structure and operation of radio telescopes, general information about the BINGO radio telescope project, and discuss some concepts about coordinates. We have separated two chapters to discuss pulsars, delving into concepts of detection, population, dispersion, and luminosity. Finally, we present a chapter on the entire process of data collection and treatment until obtaining the graphs based on catalog data.

Keywords: Pulsars. catalogs. BINGO.

Lista de ilustrações

Figura 1 – Esquema de funcionamento de um radiotelescópio.	28
Figura 2 – Ilustração do Sistema horizontal de Coordenadas	31
Figura 3 – Ilustração do Sistema Equatorial de Coordenadas	32
Figura 4 – Ilustração do Sistema de coordenadas Galácticas	33
Figura 5 – De acordo com a figura temos as observações de descoberta do primeiro Pulsar, o sinal era semelhante à interferência de rádio.	36
Figura 6 – Ilustração de um Pulsar. As linhas em azul representa as linhas do campo magnético, no centro a estrela de nêutron e em amarelo os feixes de radiação formando o cone de luz	37
Figura 7 – A média de pulsos periódicos e com uma certa intensidade ao longo de demasiados ciclos de rotação resulta em um pulso estável, devido a constância do tempo da maioria dos Pulsares, o TOA dos pulsos pode ser previsto com uma grande precisão (Figura Kramer).	39
Figura 8 – Esquema de como é feito a detecção dos Pulsares.	40
Figura 9 – Distribuição dos Pulsares em coordenadas galácticas, mostrando a concentração ao longo do plano da via láctea.	43
Figura 10 – Distribuição dos Pulsares em em torno do Sol.	43
Figura 11 – Ilustração da caracterização do site para coletar os dados astronômicos	52
Figura 12 – Ilustração da configuração dos dados que serão analisados sobre os Pulsares, conforme o filtro realizado para a análise	53
Figura 13 – De acordo com a ilustração, podemos ver as caracterizações de saída dos dados.	55
Figura 14 – Na ilustração vemos as bibliotecas importadas, como numpy, pandas, matplotlib e algumas outras como OS e gloob que servem para redefinir o diretório e listar os mesmos, facilitando a localização do arquivo e organização.	56
Figura 15 – Lendo os dados como uma tabela e excluindo uma coluna que surgiu com valores nulos ao executar.	56
Figura 16 – Exemplificando a forma usada para fazer a conversão dos dados para float.	57
Figura 17 – Plot dos dados referente a posição dos pulsares, levando em consideração sua densidade de fluxo.	58
Figura 18 – De acordo com o plot, é possível vizualizar como seria a distribuição da localização dos pulsares no céu.	59
Figura 19 – De acordo com o plot, é possível vizualizar as configurações dos dados na projecção em coordenadas galácticas.	60

Figura 20 – De acordo com o plot, é possível visualizar as configurações dos dados na projeção, considerando a densidade média de fluxo superior a $10(mJy)$.	61
Figura 21 – De acordo com o plot, é possível visualizar as configurações dos dados na projeção, considerando a densidade média de fluxo inferior a $10(mJy)$.	61
Figura 22 – De acordo com o plot, é possível visualizar as configurações dos dados na projeção em coordenadas galácticas, considerando a densidade média de fluxo inferior a $10(mJy)$	62
Figura 23 – De acordo com o plot, é possível visualizar as configurações dos dados na projeção em coordenadas galácticas, considerando a densidade média de fluxo superior a $10(mJy)$	63
Figura 24 – Definindo a posição na Terra do Uirapuru e definindo um ponto no céu em relação a sua posição.	64
Figura 25 – De acordo com o plot, podemos visualizar o campo de visão que o Uirapuru terá em torno de 24 horas.	64
Figura 26 – Fluxograma das etapas realizadas para o uso dos dados.	69

Lista de abreviaturas e siglas

UFCG	Universidade Federal de Campina Grande
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
USP	Universidade de São Paulo
ATNF	Australia Telescope National Facility
UNIFEI	Universidade Federal de Itajuba
ETH	Eidgenössische Technische Hochschule
UAF	Unidade Acadêmica de Física
PPGF	Programa de Pós-Graduação em Física
CCT	Centro de Ciências e Tecnologia
BINGO	Baryon Acoustic Oscillation In Neutral Gas Observations
PYTHON	Linguagem de programação
RFI	Radio Frequency Interference
LNA	Low Noise Amplifier
RF	Radio Frequency
FI	Frequência intermediária
OL	Oscilador local
FRB	Fast Radio Bursts
BAOs	Oscilações Acústicas de Bárion
UTC	Tempo Universal Coordenado
TAI	Tempo Atômico Universal
TT	Tempo Terrestre
IAU	União Astronômica Internacional
ICRS	International Celestial Reference System

TOA	Time of Arrival
Parsec	Medida para representar distâncias
Js	Jansky, unidade usada em Astronomia para medir densidade de fluxo.
Hz	Hertz, unidade de medida para frequência
W	Watts, unidade de potência
m	Metro, unidade de medida para comprimento

Lista de símbolos

λ	Lambda
\propto	Proporcional
Δ	Delta
ν	Ni
π	Pi
\leq	Menor igual
$>$	Maior que
\int	Integral
α	Alfa

Sumário

1	INTRODUÇÃO	23
2	ASTRONOMIA	25
2.0.1	Radioastronomia	26
2.0.2	Radiotelescópio	28
3	COORDENADAS	29
3.1	Sistema de Coordenadas Horizontal	30
3.2	Sistema de Coordenadas Equatorial	31
3.3	Sistema de Coordenadas Galácticas	33
4	PULSARES	35
4.1	Detecção dos Pulsares	38
4.2	População de Pulsares	40
5	DISTRIBUIÇÃO DOS PULSARES	43
5.1	Dispersão	46
5.2	Luminosidade	48
6	PULSARES COM O UIRAPURU	51
6.1	Definindo a posição do Uirapuru	63
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	65
	APÊNDICES	67
	APÊNDICE A – FLUXOGRAMA	69
	REFERÊNCIAS	71

1 Introdução

O Universo e o que ele engloba sempre foram um dos principais causadores da curiosidade humana. Desde as eras mais remotas, as primeiras civilizações se empenharam em conhecer aspectos do universo para atender às suas necessidades primordiais. Embora os primeiros passos rumo ao conhecimento do Universo tenham sido por necessidade, as buscas por compreender a vastidão acima de nós passaram, e ainda passam, por refinamentos constantes conforme as necessidades variam com o passar das gerações.

Inicialmente, era necessário entender como o universo interferia diretamente no âmbito agrícola. A partir disso, foi possível ao homem saber qual o melhor período para o plantio, de modo a obter uma farta colheita. Também foi através do conhecimento do universo que foi possível identificar métodos para contar os dias e estações do ano. Posteriormente, foi preciso adquirir conhecimentos para driblar problemas existentes na era das grandes navegações. Tudo partiu de análises e observações do senso comum até que se estendeu para um âmbito científico em que estudiosos procuram, incessantemente, por respostas precisas para a origem de tudo.

Com o aumento da busca pelo conhecimento referente ao céu (Universo, corpos celestes, etc.), surgiu o campo de estudos denominado Astronomia que é responsável pela pesquisa e estudo dos corpos celestes e leis que regem o Universo. Através da Astronomia é possível determinar parâmetros e prever o comportamento dos corpos celestes por meio de dados coletados por instrumentos de altíssima qualidade.

Uma ramificação da Astronomia é a Radioastronomia, responsável por analisar fenômenos a partir da detecção de ondas de rádio, ou seja, através desse campo de estudos é possível extrair dados que fornecerão informações sobre Universo. Esse procedimento pode ser feito com a utilização de um ou vários aparatos. É sabido que, para observação do Universo se utiliza um telescópio, enquanto na Radioastronomia é utilizado um radiotelescópio.

O radiotelescópio é um instrumento de detecção de ondas emitidas dentro da faixa de frequência das ondas de rádio, oriundas de fenômenos que serão mais a frente explicados. Um fenômeno físico que pode ser detectado utilizando um radiotelescópio são os pulsares. Os pulsares, nada mais são do que, estrelas de nêutrons provindas do estágio final do ciclo de vida de estrelas altamente massivas. Os pulsares estão constantemente rotacionando e possuem um campo magnético tão forte que é capaz de superar o campo magnético do Sol em larga escala.

A energia rotacional dos pulsares é convertida em sinais eletromagnéticos. Os pulsares emitem radiação eletromagnética de diversas frequências, mas neste estudo, nos

deteremos a analisar a radiação correspondente às frequências de ondas de rádio. Para o desenvolvimento desse estudo, abordaremos a utilização do radiotelescópio Uirapuru do projeto BINGO.

O projeto Baryon Acoustic Oscillation In Neutral Gas Observations (BINGO) consiste em uma colaboração entre várias instituições internacionais cujo interesse comum é estudar e detectar Oscilações Acústicas de Barion dentro da faixa de frequência de 980 MHz a 1260 MHz. Com o auxílio do BINGO, será possível estudar também fenômenos como pulsares, captando as ondas de rádio emitidas por eles.

A colaboração BINGO implantou um radiotelescópio em uma certa região do Brasil que deveria atender a alguns critérios, dentre eles, está situado em um local isolado a ponto de não haver interferência de ruídos externos que pudessem contaminar os dados coletados. No decorrer deste trabalho é apresentado todo processo para determinação do local apropriado para instalação do radiotelescópio no país, onde está atualmente situado e ainda, é explicada e ilustrada a estrutura desse equipamento.

O presente trabalho tem como objetivo realizar análises a respeito da posição dos pulsares por meio de catálogos. Com isso, estão sendo feitos alguns testes usando um site de catálogos para realização de análises dos dados coletados por meio de alguns gráficos usando o Python. Após o tratamento dos dados e as análises, será possível conhecer a posição dos pulsares no céu e entender parâmetros importantes e suas principais características.

Esse trabalho tem ligação direta com o projeto BINGO e está dividido em capítulos, seções e subseções em que no primeiro capítulo, é discutido a história da Astronomia e sua importância. No capítulo 2, discutimos um pouco sobre Astronomia, Radioastronomia e sobre radiotelescópios, como também os objetos do campo de estudo da mesma. Em uma seção dissertamos sobre algumas informações do projeto BINGO, como objetivos de pesquisas e suas caracterizações. Em um outro capítulo fizemos uma pequena revisão sobre coordenadas, onde dividimos em algumas seções. No quarto capítulo, é discutido todo o processo de escolha dos dados por meio de catálogos no site selecionado, como também a descrição de todas as etapas posteriores, desde o tratamento dos dados, etapas de análises dos dados até os gráficos obtidos. Por fim, no quinto capítulo apresentamos a conclusão do trabalho.

2 Astronomia

A astronomia é uma ciência que estuda os corpos celestes (como planetas, cometas, estrelas, galáxias) e os fenômenos que nesse ocorrem. De acordo com [1] “a Astronomia é na sua essência, a ciência da observação dos astros. Seu objetivo é situá-los, no espaço e no tempo, explicar os seus movimentos e as suas origens, descobrir a sua natureza e as suas características”.

A vontade de desvendar os mistérios do Universo que nos envolve progrediu ao longo dos tempos, instigando a mente de gerações ávidas por estudar os fenômenos do céu, causando grande fascínio, seja pelas estrelas brilhantes do céu noturno, pelas fases da Lua, ou até pelo Sol [2]. Tais fenômenos ajudaram a despertar interesse das nossas primeiras civilizações que começaram a observar o céu para seu benefício próprio, como por exemplo o desenvolvimento do calendário para acompanhar os dias do ano e as estações do ano.

As primeiras civilizações faziam uso da Astronomia e aplicavam-na em seu cotidiano. Na agricultura, por exemplo, era necessário conhecer as estações do ano para saber o momento correto de plantar. Com o passar das eras, a contagem do tempo se tornou cada vez mais assertiva [3]. Com o rápido desenvolvimento da navegação marítima - quando eram realizadas expedições para destinos cada vez mais longe de seus portos -, a determinação da posição era um grande problema que a Astronomia solucionou.

A resolução dos problemas relacionados à navegação foi uma das tarefas desempenhadas pela Astronomia, em meados dos séculos XVII e XVIII, quando houve a publicação das primeiras tabelas precisas sobre os movimentos dos planetas e sobre outros tipos de fenômenos celestes. A base para esse desenvolvimento foi a descoberta das leis que regem os movimentos dos planetas por Copérnico, Tycho Brahe, Galileu e Newton. Os conhecimentos sobre a Astronomia foram de grande importância para o desenvolvimento do crescimento das grandes navegações.

As pesquisas relacionadas à Astronomia mudaram completamente a visão do homem e da sociedade em geral em relação ao mundo em que vivemos. Através da compreensão da grandeza da natureza e seus fenômenos, essa ciência nos mostrou a real escala da natureza que nos rodeia. A Astronomia moderna tem como motivação primária a curiosidade do homem, alimentado pela vontade de aprender algo novo e produzir conhecimento, do desejo de sempre querer mais e ir além para tentar compreender os mistérios da natureza e do Universo à nossa volta [4].

O campo de estudo da Astronomia desempenha um papel muito importante que é a formação de uma visão científica do mundo, baseado em um modelo de observações do Universo, preenchidas por teorias exaustivamente testadas. As observações são sempre o

estágio final de um modelo. Caso o modelo não seja compatível com as observações, o mesmo deve ser modificado e tal processo não deve ser limitado por quaisquer tipos de crenças filosóficas ou até mesmo políticas e religiosas.

A Astronomia moderna explora todo o Universo e suas diferentes formas de energia e matéria. Ela também pode ser dividida em diferentes ramos e de várias maneiras. A divisão pode ser feita de acordo com os métodos ou objetos de pesquisa. A Lua ainda é objeto de estudo de comparação mais importante, sendo estudada por métodos astronômicos, embora naves espaciais e astronautas já tenham visitado a superfície e trazido pequenas amostras de volta para a Terra.

Nos dias atuais, a forma que estudamos Astronomia mudou bastante. Sendo considerada a ciência mais antiga, se distanciou mais do senso comum e também das religiões (por ter um objeto de estudo), evoluiu com a incorporação de novos conhecimentos obtidos da interação com outras ciências, como a Física, Química, Biologia, etc. Em suma, a Astronomia teve um grande progresso significativo. Graças ao avanço da tecnologia foi possível aprimorar equipamentos e métodos que auxiliam no estudo de corpos celestes, fenômenos e estrelas. Algumas milhares de estrelas podem ser vistas a olho nu, porém, é possível identificar a vastidão delas fazendo uso de um telescópio.

Podemos classificar as estrelas de acordo com suas características observadas. Esses astros, em sua grande maioria, são como o nosso Sol, o qual chamamos de estrela da sequência principal que seria uma estrela que está em sua fase de vida mais estável e longa, durante a qual ela converte hidrogênio em hélio em seu núcleo através de fusão nuclear, sendo que essa fase é caracterizada por uma relação bem equilibrada entre a pressão de radiação e a gravidade, o que permite que a estrela mantenha sua forma e temperatura estáveis. Algumas dessas estrelas são maiores do que o nosso Sol, como gigantes ou supergigantes enquanto outras são muito menores e chamadas de anãs brancas. Esses tipos de estrelas citados representam os diferentes estágios da evolução de uma estrela. Dentre os mais novos objetos estudados pelos astrônomos estão as estrelas compactas: de nêutrons e buracos negros.

É notável toda a evolução científica que tivemos em relação a todos esses séculos. Desde o primeiro momento em que o primeiro homem olhou para o céu e questionou seu lugar no Universo, todos esses estudos e descobertas nos ajudam a compreender melhor o Universo em que vivemos.

2.0.1 Radioastronomia

A radioastronomia teve seu início por volta de 1931, com a descoberta de rádio emissão cósmica por meio do engenheiro da Bell Telefones Karl Guthe Jansky (1905-1950). Jansky realizava naquele momento, estudos sobre interferências atmosféricas que eram

causadas por comunicações telefônicas de distâncias consideravelmente longas. Estava sendo usado para o estudo, uma antena de 30 metros de comprimentos, por 4 metros de altura localizado em um campo aberto, ao fazer a captação do ruído, verificou que parte do ruído provinha de tempestades e a outra era desconhecida, tendo a intensidade variando dentro de um período semelhante ao dia solar. Aproximadamente um dia solar é algo por volta de 23 horas e 56 minutos cujo período em que as estrelas voltam as suas referências locais, como o horizonte leste [5].

O radioamador e grande pioneiro da radioastronomia foi o Grote Reber (1911-2002), estudante de engenharia de rádio e também trabalhava para alguns fabricantes de rádio, quando soube dos estudos sobre rádio emissões do plano galáctico se dedicou ao estudo sobre ondas de rádio cósmico e também sobre o processo de emissão. Reber construiu alguns receptores que operava em frequência dentre 3300 megahertz à 900 megahertz, mas não conseguiu detectar emissões, ao construir um receptor que operava na frequência de 160 megahertz conseguiu detectar emissões de rádio da via láctea por volta de 1938 e com isso acabou confirmando a teoria de Jansky sobre ondas de rádio cósmicas provenientes do espaço.

Foram realizadas medias por Reber acerca da temperatura de brilho do céu na frequência de 160 MHz, mostrando as áreas mais luminosas proporcional à via láctea a área mais luminosa está localizada no centro da galáxia. Por volta da segunda guerra mundial Ort e Van de Hulst analisaram os trabalhos de Jansky e Reber e por volta do ano de 1944 elaboraram uma teoria sobre a possibilidade de observar emissões de rádio em uma frequência menor.

A frequência referida é a 1420 MHz, que é feita por Hidrogênio Neutro que com isso expele um fóton com um comprimento de 21 cm de onda λ , foi por volta de 1951 que ocorreu a detecção do Hidrogênio Neutro, E. M. Purcell e H. I. Ewen no momento que direcionou a antena para o centro da Via Láctea e foi possível detectar com uma boa intensidade, com a previsão e posterior comprovação de emissão no comprimento de 21 cm do Hidrogênio Neutro, já mencionado, foi possível construir o primeiro mapeamento da estrutura espiral da nossa Galáxia, foi realizado por um grupo de observadores na Austrália (W. N. Christiansen e J. V. Hindman) por volta de 1951.

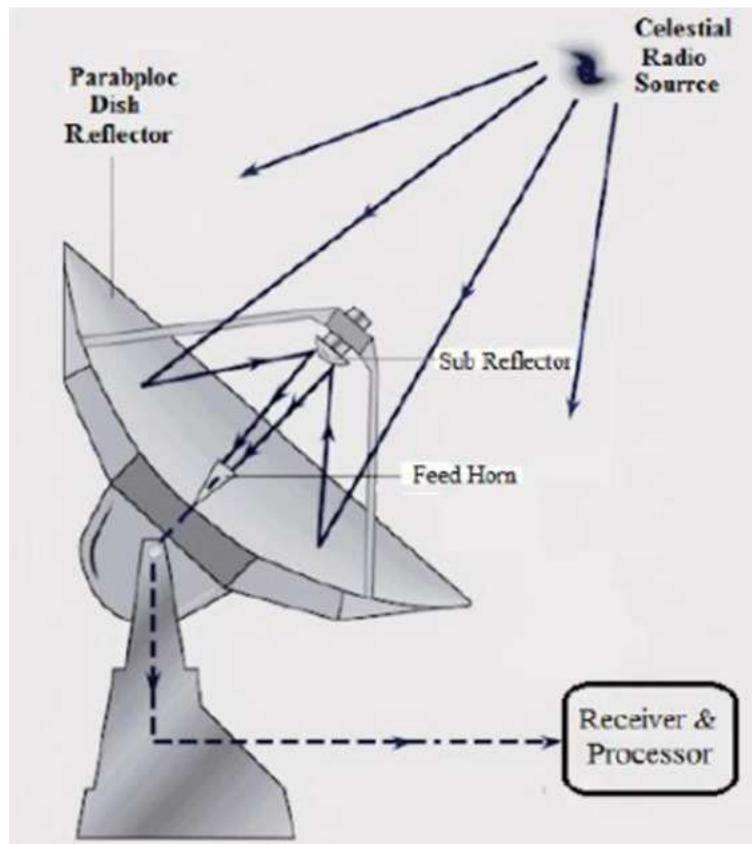
Durante muito tempo o homem tentou explicar o que ocorria no universo – seja o movimento dos planetas ou o brilho de uma estrela -, usando como instrumento de observação apenas sua visão [6]. A Radioastronomia é uma ciência derivada da Astronomia. Enquanto observações astronômicas são feitas usando um telescópio ótico para vermos o universo e estudarmos os seus fenômenos, na Radioastronomia podemos ouvir o universo, fazendo uso de um radiotelescópio para detectar as ondas de rádio emitidas pelos astros. “Grande parte dos objetos astronômicos irradiam na frequência do visível, como também rádio frequência e raios-x.” [7].

Foi por meio da Radioastronomia que descobrimos os objetos mais energéticos e distantes de nós: os Quasares. Já os Pulsares e as colisões de Galáxias são poderosas fontes de emissão de raios-x e de ondas de rádio por meio das quais conseguimos observar a vida das estrelas em diferentes estágios de sua evolução. Por muito tempo o homem se limitou apenas a ver o universo, mas agora podemos ouvi-lo [8].

2.0.2 Radiotelescópio

O Radiotelescópio é uma ferramenta usada para observar e analisar o céu, por meio dele é possível captar frequências de rádio oriundas do espaço. A partir do uso desse instrumento somos capazes de ouvir o Universo. Basicamente, se trata de um equipamento composto de uma superfície coletora, também chamada de antena ou prato, cuja superfície é um refletor curvo que pode ser parabólico ou helicoidal (a maioria dos radiotelescópios usa a do tipo parabólico), um radiômetro e também um sistema de aquisição de dados.

Figura 1 – Esquema de funcionamento de um radiotelescópio.



Fonte: (MIRGHANI, 2017)

A imagem (1), registra o momento da instalação do radiotelescópio BINGO, neste dia tivemos a presença de alguns colaboradores e alunos do projeto participando deste momento muito importante para toda a comunidade acadêmica.

3 Coordenadas

O homem sempre observou o céu noturno e buscou entender o porquê uma estrela brilha ou o porquê há dias e noites. A humanidade sempre almejou conhecimento, procurando sempre uma explicação, um porquê para tais fenômenos.

A Astronomia, a Matemática e a Física serviram como ferramentas auxiliares nas descobertas para procurar padrões na natureza, ajudando o homem a descobrir e conhecer melhor o mundo e o espaço que o rodeia [9].

Para definir a posição de um astro no céu, precisamos determinar um sistema de coordenadas. Esse sistema possui duas coordenadas que irão nos ajudar a localizar um ponto na superfície da Terra. Podemos associar isso ao sistema de coordenadas cartesianas, onde temos um eixo X e um eixo Y. Para localizar um ponto qualquer no plano, precisamos de duas coordenadas: uma coordenada X e outra Y. Caso tenhamos apenas uma coordenada, independentemente do eixo em que ele esteja situado, não conseguiremos localizar aquele ponto em relação ao plano XoY, mas apenas no eixo em que o ponto está situado. Então é preciso ter duas coordenadas para fazer uma interseção da coordenada X e Y e assim, localizar o ponto no plano.

Há vários tipos de sistema de coordenadas e as mais usadas na Astronomia e na navegação aeroespacial são as celestes. A partir delas, é possível definir a posição de um astro na esfera celeste. Para entendermos as coordenadas celestes, é de extrema importância compreendermos como é feito o posicionamento de objetos geograficamente e quais os padrões de tempos usados. Para cada corpo na superfície temos as coordenadas esféricas: latitude, longitude e altitude, definidas a partir de um modelo terrestre de um elipsoide como referência.

A coordenada Latitude é medida a partir do equador da Terra; o equador que divide a Terra em dois Hemisférios, o Norte e o Sul e, a partir dele em direção aos polos, medimos a Latitude medida em graus ou ainda podemos usar em unidades de horas. No Equador, a Latitude é de 0° graus e quanto mais próximo do polo mais se aproxima de 90° graus que é o valor da Latitude nesse ponto (polo).

Antes de comentar o que seria a coordenada Longitude, precisamos esclarecer o conceito de meridiano, pois precisaremos desse conhecimento para compreender sobre a coordenada. O meridiano de Greenwich é uma linha imaginária que cruza o nosso planeta de Norte a Sul, seguindo o sentido do seu eixo. Ele divide a superfície entre hemisférios Oeste e Leste e representa o marco zero para que seja feita a contagem universal de Longitudes e também das horas.

A longitude é o ângulo entre os planos do meridiano de Greenwich e do meridiano que passa pelo ponto considerado, sendo positivo a Leste e negativo a Oeste. Essa coordenada também é medida em graus, podendo variar entre 0° e 180° para Leste, ou ainda $0h$ e $12h$.

3.1 Sistema de Coordenadas Horizontal

Esse é o tipo de sistema mais natural quando se trata de um observador individual, considerando elementos que sejam visíveis para o observador. Levando em consideração que existe uma abóboda celeste sobre o observador, seu ponto mais elevado é chamado zênite e a sua antípoda, o nadir.

A altitude (Alt ou h) é definida como o ângulo medido a partir do horizonte ao longo de um grande círculo, na direção do zênite. Distância zenital (z) é o ângulo complementar a altitude. O azimute (A) é o ângulo medido ao longo do horizonte, a partir do Norte geográfico em direção ao leste.

Já a altura, é um ângulo que é medido sobre o meridiano. De acordo com a figura (4) e as definições, ficará claro que a altura e a distância zenital são ângulos complementares, ou seja:

$$h + z = 90^\circ. \quad (3.1)$$

Com isso, o azimute e altura geralmente são definidos de forma que seus valores possam variar da seguinte maneira:

$$0^\circ \leq A \leq 360^\circ; \quad (3.2)$$

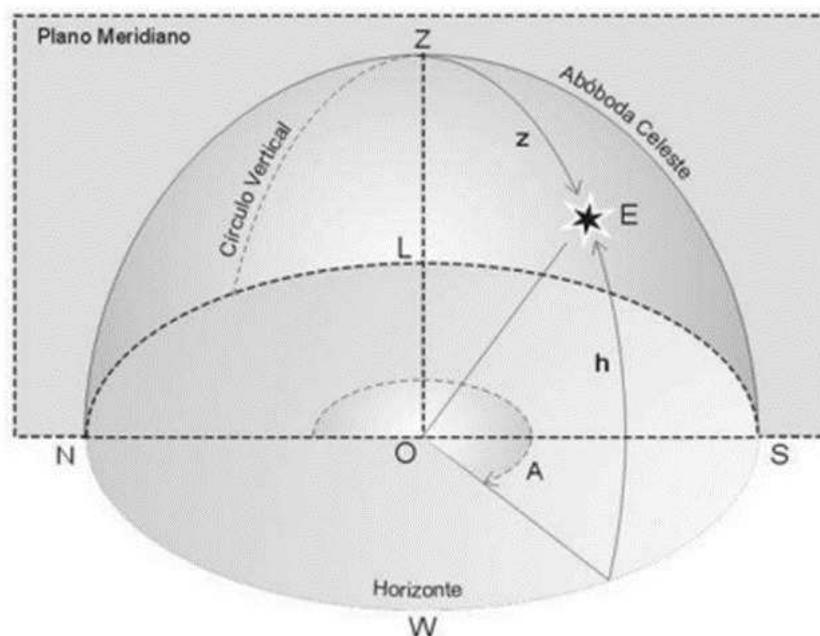
$$-90^\circ \leq h \leq 90^\circ; \quad (3.3)$$

$$0^\circ \leq z \leq 180^\circ. \quad (3.4)$$

Os valores negativos de altura são em relação aos pontos abaixo do horizonte, sendo $z > 90^\circ$ nesta situação.

O sistema de coordenadas horizontal é extremamente útil para descrever a posição dos objetos celestes em relação ao observador na Terra, pois é baseado no horizonte local. Isso permite ao observador determinar facilmente a direção e a altura de qualquer objeto celeste visível.

Figura 2 – Ilustração do Sistema horizontal de Coordenadas



Fonte:(SANTIAGO, SALVIANO, 2005)

A figura (2) representa o sistema de coordenadas horizontais, ilustrado na metade da esfera celeste visível para o observador. O local do observador está representado pelo ponto O e a posição do astro na esfera celeste pelo ponto E, conforme a ilustração.

3.2 Sistema de Coordenadas Equatorial

Para a astronomia, o aspecto fundamental é obter de maneira mais precisa possível informações acerca dos objetos celestes, o que é uma tarefa complexa. Levando em consideração que observamos o universo a partir de um referencial não inercial com movimentos próprios extremamente complicados (rotação, translação, precessão e nutação da Terra) que interferem na forma como observamos os objetos ao nosso redor. Considerando medidas mais precisas, devemos considerar o movimento do centro de massa do sistema Terra-Lua.

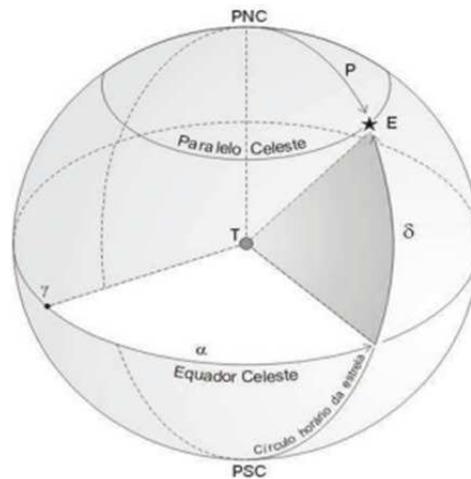
Muitos métodos foram desenvolvidos para lidar com este problema. Dois sistemas de coordenadas podem ser relacionados para a identificação dos objetos; o mais natural é o sistema de coordenadas que descreve o céu sobre o observador, um sistema de dois ângulos permite posicionar os astros na abóbada celeste.

Partindo do pressuposto que é necessário construir um sistema de coordenadas que não tenha dependência em um observador na Terra, o primeiro passo seria usar um sistema de coordenadas chamado equatorial, baseado nos ângulos ou ainda em unidades de horas de declinação (δ) e ascensão reta (α). Então a ascensão reta pode variar entre 0° e 360° ou $0h$ até $24h$.

A declinação equivale à latitude medida a partir do equador celeste que neste caso, seria a projeção do equador da Terra na esfera celeste conforme Diniz (2013), e com isso a ascensão reta seria a longitude medida a partir de um meridiano de referência chamado ponto de aries ou ponto vernal a posição do Sol no equinócio de primavera no hemisfério Norte (equinócio de outono no hemisfério Sul).

Na ilustração (3) temos o sistema de coordenadas equatoriais. O ponto T representa o observador e o ponto E a posição de uma estrela na esfera celeste.

Figura 3 – Ilustração do Sistema Equatorial de Coordenadas



Fonte:(SANTIAGO, SALVIANO, 2005)

Esta concepção não seria suficiente, pois o equinócio muda de posição à medida em que o eixo da Terra precessa, este movimento tem como causa torques gravitacionais devido ao Sol e a Lua [10]. Este sistema deve ter ligado a ele uma época, onde vai definir uma posição do equinócio a partir do qual as medidas podem ser tomadas. A diversidade de movimentos próprios da Terra ou do sistema solar são levados em consideração as definições de médias em determinados intervalos de tempo.

Tais medidas dependem de intervalos de tempo na época e também é necessário definir uma unidade de tempo com a qual seja possível concordar ao longo do tempo. Para isso é usado o tempo juliano, composto de 365.25 dias de 24h de 3600s. Para a medida de horários é preciso definir uma escala de tempo universal coordenado (UTC), o tempo atômico internacional (TAI) ou tempo terrestre (TT).

Para a astronomia de precisão, o próprio conceito de equinócio não é bem definido, pois tem referência a movimentos médios de grande amplitude (quando se está procurando precisões angulares altas, da ordem de miliarcosegundos). Nos dias atuais a União Astronômica Internacional (IAU) mantém um Sistema Internacional de Referência Celeste (ICRS) que é um sistema de referência celeste, com centro no baricentro do sistema solar, usado com medidas a partir de um conjunto de objetos distantes que aproximam um referencial inercial de referência, cujo medidos com precisão a partir de interferometria de

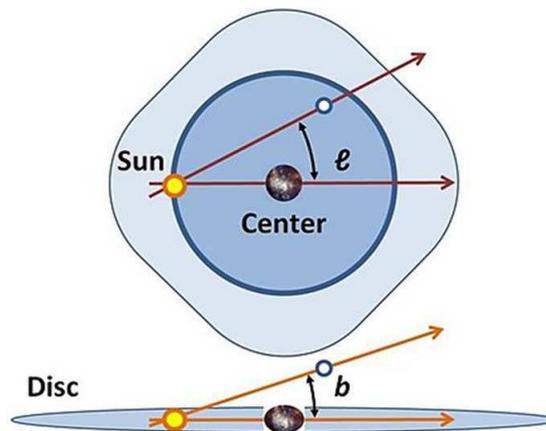
longa linha de base e com conjunto de contrapartes óticas medidos pelo satélite GAIA onde o mesmo faz parte do catálogo Hipparcos.

3.3 Sistema de Coordenadas Galácticas

Para o estudo de objetos distantes, temos um sistema de coordenadas bastante útil, o sistema de coordenadas galáctico. O sistema galáctico de coordenadas definido por dois ângulos l (longitude galáctica) e b (latitude galáctica). Sendo assim o ângulo l é medido no plano galáctico assumindo valores dentre 0° e 360° , e $l = 0^\circ$ aponta diretamente para o centro galáctico. Já o ângulo b é medido em relação ao plano galáctico, estando definido entre -90° e 90° .

Com isso, quando temos valores positivos de b , significam pontos acima do plano galáctico e valores negativos representam pontos abaixo do plano galáctico.

Figura 4 – Ilustração do Sistema de coordenadas Galácticas



Fonte: (<https://stringfixer.com/pt/Galactic-coordinate-system>)

De acordo com a ilustração (4), as coordenadas galácticas usam o Sol como origem. De acordo com [11], isso ocorre porque o Sol está localizado a uma distância relativamente próxima do plano galáctico e também é um ponto fixo no espaço que pode ser localizado com facilidade. A longitude galáctica l é medida com a direção primária do Sol ao centro da galáxia no plano galáctico, enquanto a latitude galáctica b mede o ângulo do objeto acima do plano galáctico. Este sistema de coordenadas galácticas é mais indicado para estudos de objetos que estão localizados na Via Láctea. Para objetos fora da Via Láctea, o melhor sistema de coordenadas seria o Equatorial, pois não depende da posição do observador na Terra e pode ser usado para descrever a posição dos objetos celestes mais distantes.

Os astrônomos encontram grande utilidade no sistema de coordenadas galácticas para analisar como as estrelas e objetos celestes estão distribuídos dentro da Via Láctea. Através das coordenadas galácticas, é possível determinar a altura de uma estrela em

relação ao plano galáctico utilizando a latitude galáctica, além de mapear a distribuição das estrelas em diferentes regiões da Via Láctea usando a longitude galáctica.

4 Pulsares

As estrelas têm um processo de vida e também de morte, aos quais podemos chamar de estágios. Quando uma estrela chega no seu estágio final, ela se transforma em um objeto intrigante no universo que são as estrelas de nêutrons. Isso acontece quando a estrela tem uma massa muito elevada, algo entre 8 a 25 massas solares [5].

A concepção do que seria uma estrela de nêutrons surgiu na década de 1930 com a finalidade de resolver questões como o último estágio de uma estrela .

A Radioastronomia cresceu bastante durante os 30 anos que seguiram à Segunda Guerra Mundial, foi marcado pelo início de uma série de novas técnicas de observação, com isso abrindo novos meios de pesquisas ainda não explorados. Tendo em vista que cada avanço foi aplicado a algum problema em específico ou necessidade.

Podemos nos questionar por que os pulsares não foram descobertos antes. Na verdade, antes mesmo de serem conhecidos e interpretados como sabemos hoje em dia, os pulsos foram descobertos, mas não foram reconhecidos.

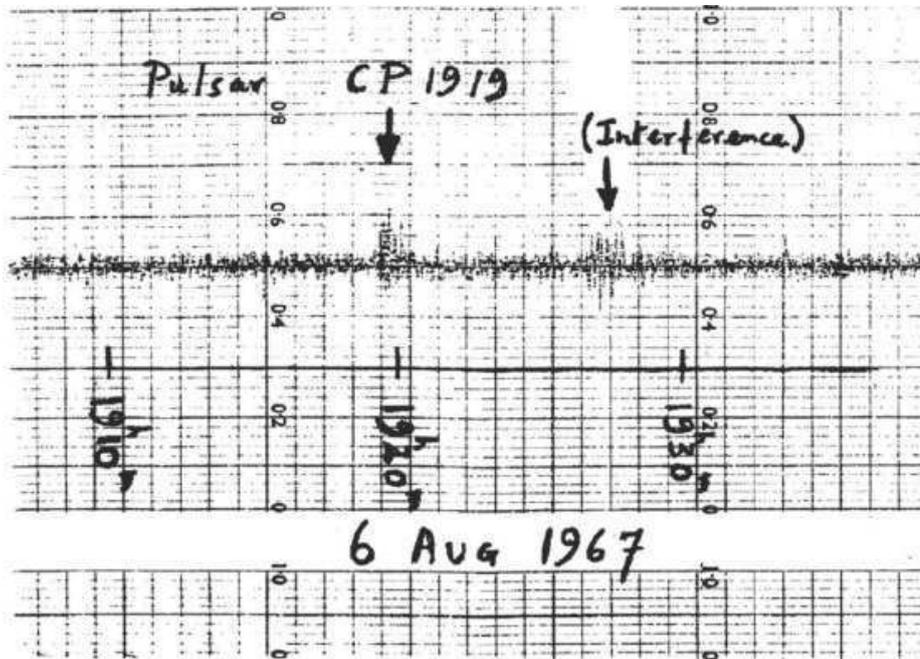
Essa dificuldade no reconhecimento foi porque os radioastrônomos não estavam esperando encontrar flutuações rápidas nos sinais de qualquer fonte celeste. Um sinal desse tipo poderia ser considerado como algum tipo de interferência devido ao uso de máquinas elétricas ou algo do tipo.

Entre o ano de 1951 o astrônomo Antony Hewish observou uma mudança rápida em relação as ondas de rádio. Hewish estava trabalhando com Jocelyn Bell, uma estudante de pesquisa, ambos construíram uma grande antena receptora, para um comprimento de onda deliberadamente grande, algo em torno de 3,7 m.

Neste determinado comprimento de onda os efeitos da cintilação são bem consideráveis, vale salientar que ocorre apenas para fontes de rádio com um diâmetro angular pequeno, a cintilação conseqüentemente é uma característica típica dos Quasares, que é formado por um buraco negro supermassivo, tendo sua massa variando de milhões até bilhões de massas solares, envolto por um disco de acreção.

Ao iniciar as medidas com o receptor construído, dentro do primeiro mês do início das gravações, a descoberta foi feita durante o mês julho de 1967 por Jocelyn Bell que observou grandes flutuações de sinal em vários dias consecutivos, as propriedades do sinal pareciam diferentes da cintilação e era algo mais aproximado com as terrestres.

Figura 5 – De acordo com a figura temos as observações de descoberta do primeiro Pulsar, o sinal era semelhante à interferência de rádio.



Fonte:(LYNE, A.; GRAHAM-SMITH, F. Pulsar astronomy. [S.l.]: Cambridge University Press, 2012.)

Durante a análise do sinal, Hewish inicialmente descartou o sinal flutuante com um tipo de interferência que poderia ser muito bem captada por algum tipo de automóvel que passasse, mas tarde verificou-se que as flutuações estavam ocorrendo a cada dia, 4 minutos mais cedo a cada dia, como esperado para um sinal de origem celeste observado com um telescópio de trânsito [12].

Hewish chegou à conclusão de que poderia ser algo novo, um novo tipo de fonte celestial. Indo mais a fundo, foi usado um gravador de tempo de resposta mais preciso, concluiu-se que os pulsos eram extraordinariamente regulares, tendo um período de repetição de cerca de 1,337 segundos.

Devido a ser algo que nunca tinha sido observado antes, surgiram alguns questionamentos se poderia ser alguma interferência de algum objeto feito pelo homem, uma nave espacial e até mesmo se poderia ser algum sinal de alguma civilização extraterrestre. Foi possível identificar que o sinal pulsante deveria estar fora do sistema solar. Tal suposição seria devido a observações do efeito Doppler do movimento da Terra na periodicidade do pulso e que possivelmente a distâncias estelares. De acordo com a rapidez do pulso, foi possível especificar que a fonte do pulso poderia ser uma fonte pequena, provavelmente alguma forma de estrela condensada, por conjectura uma anã branca ou uma estrela de nêutrons. Algo interessante de se pensar é que, nesse período, a existência das estrelas de nêutrons era totalmente hipotética.

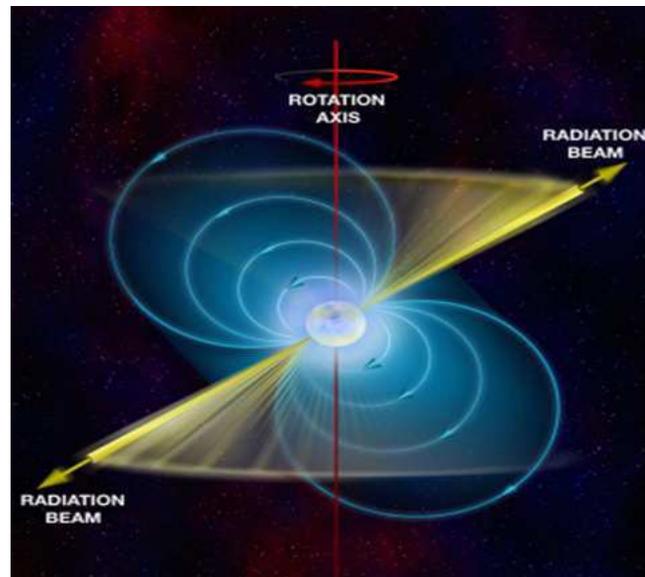
Os Pulsares são estrelas de nêutrons formadas durante a síncope de estrelas massivas,

originando-se da explosão de supernovas [13] que possuem um campo magnético muito forte e emitem pulsos curtos e periódicos de radiação, e que ainda transformam sua energia rotacional em energia eletromagnética. Além de serem corpos extremos e podendo orbitar outros objetos, se deslocam em alta velocidade, tendo um raio muito grande, ocasionando na compressão de seus elétrons fazendo-os se unirem aos prótons e com isso formando nêutrons [2].

Como já mencionado, os pulsares são estrelas de nêutrons que se mantêm em rotação, cujos corpos são muito densos, tendo como uma de suas principais características um campo magnético muito forte, muito maior até do que o campo magnético do Sol, que tem uma média de 1G nos polos e podendo atingir 1000G em certos pontos da sua superfície. Esses altos valores do campo magnético advêm da conservação do fluxo magnético de sua estrela genitora ou também da ação do dínamo.

Os pulsares emitem radiação em várias faixas de frequências, mas o que tem sido exaustivamente estudado são as frequências de rádio. A ilustração a seguir apresenta a estrutura de um pulsar.

Figura 6 – Ilustração de um Pulsar. As linhas em azul representa as linhas do campo magnético, no centro a estrela de nêutron e em amarelo os feixes de radiação formando o cone de luz



Fonte: (<https://public.nrao.edu/gallery/partsof-a-pulsar/>)

De acordo com a figura (6), temos a ilustração da geometria típica de um pulsar, esquematizando as linhas do campo magnético e seu eixo de rotação, salientando que os pulsos são devidos ao desalinhamento dos eixos de rotação e magnético. Por serem detectados pulsos periódicos desse tipo de estrela, os pulsares tornam-se bons relógios atômicos [14]. São necessários radiotelescópios bem sensíveis para captar toda a radiação e técnicas de integração dos sinais e dos pulsos de curta duração para conseguir observar os pulsares.

Cada pulso emitido pelos pulsares é constituído por ondas de rádio de diferentes frequências. Tais frequências se deslocam em altas velocidades pelo espaço, e com isso as frequências mais altas chegam bem antes das frequências mais baixas. Esse fenômeno é conhecido como dispersão de pulso, devido à existência de elétrons livres no meio interestelar.

A descoberta dos pulsares possibilitou aos astrônomos o aprofundamento do estudo de um objeto nunca observado antes: as estrelas de nêutrons. Esse tipo de objeto favorece a observação do comportamento da matéria em uma densidade nuclear.

4.1 Detecção dos Pulsares

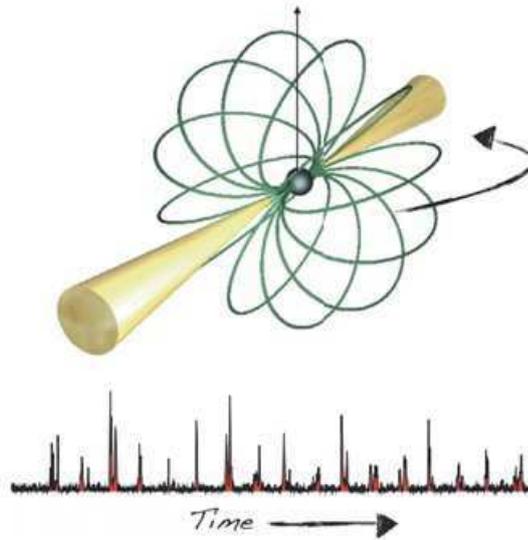
Como já discutido anteriormente, os Pulsares são estrelas de Nêutrons com intensos campos magnéticos e que emitem pulsos periódicos e radiação em várias faixas de frequências. A estrela de Nêutrons é como uma “bola” de Nêutrons densa, resultado da ação de uma estrela que colapsou por meio da gravidade durante a explosão de supernova, tendo como uma de suas principais características a rotação. Isso ocorre devido à conservação do momento angular. Quando a estrela entra em colapso, tem-se a diminuição do seu momento de inércia, resultando no aumento da sua velocidade angular.

Antes de prosseguirmos, precisamos falar sobre TOA (“Time-of-Arrival”), que seria o tempo de chegada dos pulsos de rádio [15]. Esse tempo serve como uma forma de referência para outros pulsos. Em outras palavras, seria como um instante zero a partir do qual conseguimos medir os instantes de outros pulsos. Caso haja atraso ou adianto do pulso, vale reforçar que os pulsos são periódicos e têm uma grande precisão, mas, raramente, pode haver uma pequena falha na periodicidade do pulso.

A determinação do tempo de chegada dos pulsos emitidos com grande precisão é muito importante para o estudo e pesquisas em relação aos Pulsares. De acordo [16], a precisão na determinação do tempo de chegada dos pulsos dos pulsares é essencial para compreender sua física, incluindo sua estrutura interna, dinâmica de rotação e outros fenômenos associados. Essa medição é igualmente importante para a pesquisa em áreas como a relatividade geral e a cosmologia. Na relatividade geral, a detecção de ondas gravitacionais dos pulsares requer a precisão do tempo de chegada dos pulsos. Na cosmologia, o tempo de chegada dos pulsos pode ser usado para estimar a distância e a velocidade dos pulsares e obter informações sobre o meio interestelar pelo qual a radiação eletromagnética dos pulsares viaja.

A imagem (7) representa a caracterização de uma estrela de nêutrons como uma fonte pulsante de radiação.

Figura 7 – A média de pulsos periódicos e com uma certa intensidade ao longo de demorados ciclos de rotação resulta em um pulso estável, devido a constância do tempo da maioria dos Pulsares, o TOA dos pulsos pode ser previsto com uma grande precisão (Figura Kramer).



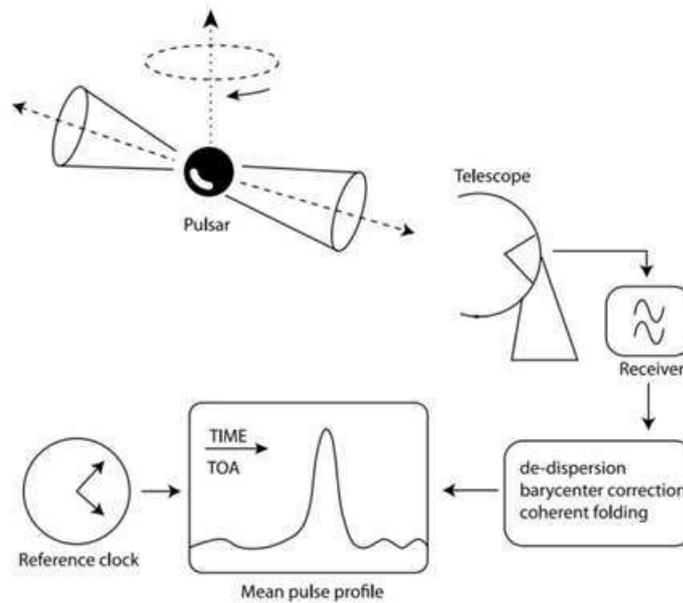
Fonte: BECKER, W.; KRAMER, M.; SESANA, A. Pulsar timing and its application for navigation and gravitational wave detection . Space Science Reviews, Springer, v. 214, n. 1, p. 1-25, 2018.

Para se obter o tempo dos pulsos através de um radiotelescópio é preciso fazer um perfil de pulsos padrões muito estáveis em relação aos sinais recebidos, que é obtido por meio da soma de vários pulsos, de acordo com [17], pulsos individuais são muito fracos para serem detectados diretamente, especialmente quando se tem um radiotelescópio com uma baixa sensibilidade. Portanto usar uma técnica de acumulação de pulsos é amplamente usada nas observações dos Pulsares, onde temos vários pulsos sucessivos que são somados, seja para aumentar o sinal e reduzir o ruído, que nos dá um perfil de pulso limpo.

Além disso, essa técnica também é empregada para investigar variações no perfil de pulsos de rádio ao longo do tempo, o que pode fornecer informações sobre a dinâmica da rotação do pulsar e sobre as propriedades físicas do meio interestelar que os pulsos atravessam. Adicionalmente, a acumulação de pulsos é fundamental para o estudo de pulsares de milissegundos, que emitem pulsos muito mais fracos e rápidos do que os pulsares típicos.

De acordo com a figura (8), podemos identificar como se situa uma sequência típica da detecção dos Pulsares.

Figura 8 – Esquema de como é feito a detecção dos Pulsares.



Fonte: BECKER, W.; KRAMER, M.; SESANA, A. Pulsar timing and its application for navigation and gravitational wave detection . Space Science Reviews, Springer, v. 214, n. 1, p. 1-25, 2018.

Os feixes que são emitidos da fonte são capturados pelo radiotelescópio e com isso registrados e analisados para ser criado um perfil de pulsos médios, a computação dos dados compreende a limpeza dos efeitos de dispersão que são causados devido o meio interestelar por meio da técnica “de-dispersão” (seria uma técnica que consiste na compensação do efeito do espelhamento da dispersão interestelar), correção da posição e movimento próprio do observatório “correção do baricentro” e dobramento de vários pulsos. E com isso o tempo de chegada (TOA) do pico do pulso é medido contra um relógio de referência [18].

4.2 População de Pulsares

Desde a descoberta do primeiro Pulsar, mais de 2.500 pulsares foram descobertos, com uma variedade de características observadas e intrínsecas, quase todos os Pulsares foram descobertos em pesquisas com frequências próximas a 1,4 GHz, tanto para Pulsares normais quanto para Pulsares de milissegundos, o brilho de cada Pulsar é definido como um brilho específico na frequência padrão de: $1,4GHz$.

$$L_{1.4} = S_{1.4} d^2 \quad (4.1)$$

A equação (4.1) é uma relação básica da astronomia, que relaciona a luminosidade L de uma fonte de uma frequência de 1.4 GHz, a densidade de fluxo seria o termo S , que é uma medida da quantidade de energia que vai passa por uma unidade de área em um determinado tempo, e a distância d é a separação entre a fonte e o observador.

O estudo sobre o nascimento, evolução, vida e morte dos Pulsares, tem sido de grande interesse, para entender melhor tais características, seja os Pulsares normais, que mostram uma concentração mais clara em direção ao plano galáctico ou ainda, pelos Pulsares de milissegundos, onde a maioria dos quais só podem ser detectados em distâncias menores são isotrópicos.

O grande desafio para realizar tais estudos é a questão da seleção devido as limitações das ferramentas de captação dos dados, tendo como algoritmos de busca os Pulsares mais brilhantes, sua dispersão, espalhamento das ondas de rádio no espaço e etc. De acordo com [19], podemos inferir que há uma grande quantidade de pulsares que ainda não foram descobertos em nossa Galáxia, considerando que estamos observando apenas uma pequena fração dessa população. Como resultado, à medida que os instrumentos e as técnicas de observação são aprimorados, novos pulsares continuam a ser descobertos em uma taxa crescente.

Esta observação destaca a relevância contínua da investigação em pulsares, não só para aumentar o nosso entendimento desses objetos, mas também para alcançar uma compreensão mais completa da dinâmica da nossa galáxia, isso indica que há grandes possibilidades para descobertas empolgantes e progressos significativos no futuro, com o aperfeiçoamento contínuo de nossas técnicas de observação e análise de dados. Isso gera uma forte motivação para o estudo a respeito das populações de Pulsares.

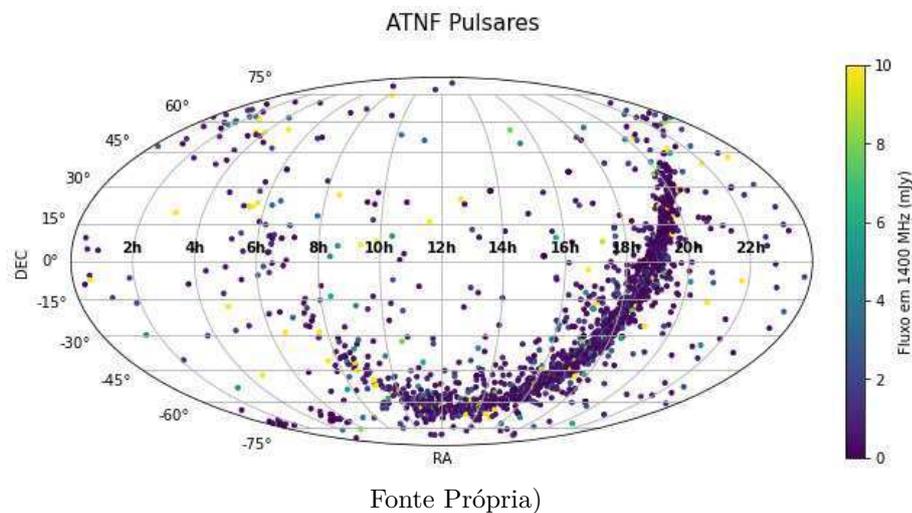
A maioria dos Pulsares que foram descobertos, estão localizados principalmente na Via Láctea, alguns Pulsares mostram uma concentração mais clara em direção ao plano galáctico, já em relação aos Pulsares de milissegundos, em sua grande parte, só podem ser encontrados em distâncias menores, vale salientar que um Pulsar de milissegundo seria um Pulsar com um período de rotação dentro de uma faixa de 1-10 milissegundos, a maioria desse tipo de Pulsar só podem ser detectados em distâncias menores, são mais isotrópicos.

Podemos caracterizar através de estudos direcionados o que podemos chamar de população de Pulsares. Existem duas abordagens para esse tipo de estudo. Uma abordagem mais estatística, levando em consideração parâmetros observados de suas características de Pulsares já conhecidos, com isso usar tal conhecimento para substanciar uma população de Pulsares. Já a segunda abordagem, evolucionaria, onde faz-se uma simulação da distribuição dos parâmetros para comparar com as amostras observadas [20]. O uso da abordagem evolutiva começou há alguns anos atrás [21] e o mesmo tipo de abordagem foi seguido por outros pesquisadores, com foco em subpopulações de Pulsares, de rádio e Pulsares de milissegundos [22]. No próximo capítulo iremos descrever alguns parâmetros dos Pulsares, como, dispersão e luminosidade, discutindo também em relação a distribuição, bem como meios de analisar tais propriedades.

5 Distribuição dos Pulsares

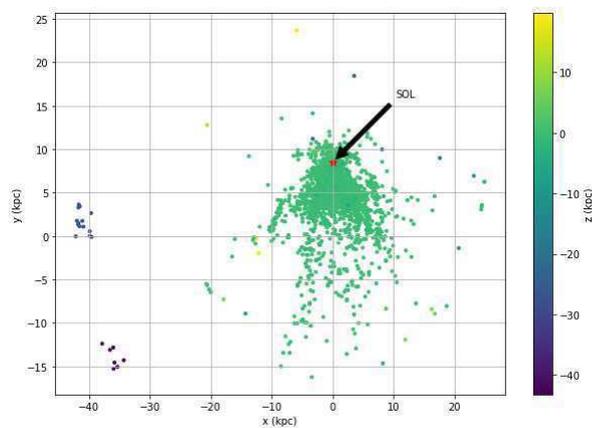
Os Pulsares mais brilhantes são os mais jovens, devido a sua taxa de rotação ser mais rápida, onde isso afeta diretamente o seu campo magnético. Os Pulsares estão localizados mais próximos ao plano galáctico como já mencionado antes, a figura abaixo, mostra a distribuição no céu dos Pulsares mais brilhantes, de acordo com o catálogo temos um total de 3282 Pulsares, na imagem abaixo os Pulsares estão em coordenadas galácticas.

Figura 9 – Distribuição dos Pulsares em coordenadas galácticas, mostrando a concentração ao longo do plano da via láctea.



De acordo com a distribuição, vemos a posição dos Pulsares em relação ao brilho sobre uma projeção do tipo Mollweide. Podemos ver a distribuição de uma maneira diferente, podemos posicionar os Pulsares em torno da posição do Sol.

Figura 10 – Distribuição dos Pulsares em em torno do Sol.



De acordo com a imagem (10), vemos a distribuições dos Pulsares em torno do Sol,

localizado na posição $8,5Kpc$, de acordo com a distribuição, vemos alguns Pulsares mais afastadas em relação ao Sol.

Vale esclarecer alguns conceitos importantes antes de prosseguirmos, como Luminosidade, brilho aparente ou absoluto e etc. De acordo com [23], uma propriedade intrínseca de cada astro seria a sua luminosidade que, resumidamente seria a energia emitida através da radiação eletromagnética, por unidade de tempo, não dependeria da posição do astro na esfera celeste ou ainda da distância em que se encontra o observador.

Contudo, na observação, não é possível coletar toda a energia que é emitida, apenas uma fração que atravessa o detector, com isso é usado o conceito de fluxo, que seria a energia emitida sob forma de radiação, por unidade de tempo e área, podemos conceituar então dois tipos de fluxo, o emitido e o observado.

A energia emitida da estrela seria o fluxo emitido, por unidade de tempo e área, do mesmo modo que a luminosidade, não tenha dependência da posição da estrela e muito menos de sua distância. Podemos obter o fluxo que é emitido de uma estrela que contenha um raio R e uma luminosidade L através da expressão abaixo:

$$F_{emit} = \frac{L}{4\pi R^2}. \quad (5.1)$$

O fluxo pode variar de acordo com a distância em que o astro se encontra, de acordo com a última expressão, levando em consideração a área de uma esfera centrada em um astro que atravessa a superfície esférica vai ser sempre a mesma sendo igual a sua luminosidade a energia por unidade de tempo e de área, que seria o fluxo, que atravessa a superfície esférica é proporcional ao inverso do quadrado do raio da superfície do astro.

Em contra partida, a energia detectada por um observador seria o fluxo observado, por unidade de tempo e área, vai depender da posição da estrela e da distância em que o astro está situado. Com isso para uma estrela que se encontra à uma distância d , seu fluxo observado pode ser calculado por:

$$f_{obs} = \frac{L}{4\pi d^2}. \quad (5.2)$$

Vale salientar que fluxo vai variar de acordo com a posição do astro em relação ao observador, parte da radiação é absorvida pela atmosfera, isso afeta a quantidade e energia a quantidade de energia por unidade de ângulo observada, sendo que a que atinge o topo da atmosfera vai ser sempre superior à que vai atingir a superfície terrestre.

Tendo em vista que a radiação que é absorvida será proporcional à extensão de atmosfera que a radiação vai percorrer até que venha a atingir a superfície, como a Terra tem um formato aproximadamente esférico, a distância vai variar de acordo com o ângulo

em relação ao horizonte, então o efeito vai ser mínimo para as estrelas próximas ao zênite e máxima para os próximos do horizonte.

A respeito do brilho, pode ser classificado como aparente e absoluto. O brilho aparente é definido como fluxo que a estrela expõem na ausência de uma atmosfera, isto pode ser independente da absorção provocada pela atmosfera.

Podemos calcular o brilho aparente, temos que considerar que detector algum vai ter 100% de eficiência e também nenhum radiotelescópio vai transmitir 100% da radiação que vai incidir sobre ele, para efetuar o cálculo é preciso corrigir alguns efeitos introduzidos pela ineficiência do instrumento que pode ser corrigido através da função de sensibilidade S_λ definida:

$$S_\lambda = \frac{(EnergiaDetectada)_\lambda}{(EnergiaIncidente)_\lambda}, \quad (5.3)$$

Onde λ é o comprimento de onda da radiação. Com isso, podemos calcular o brilho da estrela por meio da expressão:

$$b = \int_0^\infty f_{obs,\lambda} S_\lambda d\lambda, \quad (5.4)$$

Sendo b representando o brilho da estrela e $f_{obs,\lambda}$ o fluxo. Sabemos agora que o brilho aparente é obtido por meio do fluxo observado, já o brilho absoluto, outra grandeza que depende da distância do astro, podemos obter por meio da seguinte expressão:

$$M = m + 5 - 5 \log(d). \quad (5.5)$$

A equação pode ser usada na astronomia para calcular o brilho absoluto de um objeto celeste, como uma estrela por exemplo. Essa equação é baseada na magnitude aparente (m) do objeto e na distância em parsecs (d) a que ele se encontra do observador. O brilho absoluto é uma medida da luminosidade intrínseca do objeto celeste, independentemente da distância em relação ao observador.

A função permite a possibilidade de calcular o brilho absoluto dos objetos celestes e comparar suas luminosidades intrínsecas. Para utilizar essa equação, é preciso medir a magnitude aparente do objeto celeste e ter conhecimento de sua distância em parsecs. É por meio dessa equação que os astrônomos conseguem avaliar a distância dos objetos celestes e compreender melhor suas propriedades luminosas.

5.1 Dispersão

Podemos encontrar a distância dos Pulsares mais próximos em relação a sua Paralaxe, que, seria a posição devido ao movimento orbital da Terra ao redor do Sol. Para distâncias superiores à 1 KPC, as distâncias das estrelas podem ser deduzidas levando em consideração o brilho aparente das estrelas, a visto que o brilho absoluto de uma estrela está geralmente disponível a partir do seu tipo espectral.

A intensidade observada de um Pulsar, em contraste com a de uma estrela visível de tipo conhecido seria pouca utilidade como indicador da distância, pois a luminosidade é uma quantidade que pode variar conforme [24].

Podemos usar um meio de medição de distância notavelmente direta, devido à dispersão da frequência da velocidade do grupo de ondas de rádio no meio interestelar ionizado, que desencadeia um atraso dependente da frequência no tempo de chegada do pulso para todos os Pulsares de rádio.

De acordo com [25], a dispersão de medida está diretamente relacionada à densidade da coluna integrada de elétrons livres. Em outras palavras a dispersão seria o atraso temporal que os pulsos de rádio sofrem ao passar pelo meio interplanetário e interestelar, devido à dispersão causada pela interação dos pulsos com os meios citados. Podemos usar a equação de dispersão para calcular a dispersão de pulsos de rádio. Para realizar esse cálculo, é possível usar a velocidade de grupo (v_g) da propagação das ondas eletromagnéticas de uma frequência (v) específica através do plasma, podemos:

$$v_g = c \left(1 - \frac{v_p^2}{v^2} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (5.6)$$

Onde v_p é a frequência do plasma dada por:

$$v_p = \left(\frac{e^2 n_e}{\pi m_e} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (5.7)$$

Onde e e m_e , sendo a carga e também a massa do elétron, na maioria das observações de rádio, é aplicada uma correção de primeira ordem na velocidade de grupo, sendo assim, quando v_p é $\ll v$, então:

$$v_g \approx c \left(1 - \frac{v_p^2}{2v^2} \right). \quad (5.8)$$

A propagação de um pulso de banda larga através de um plasma apresenta um atraso de dispersão maior em frequências mais baixas do que em frequências mais altas. Sendo assim, considerando a distância entre a fonte e o receptor como d , o atraso de dispersão t em uma determinada frequência v pode ser calculado.

$$t = \int_0^d \frac{dl}{v_g} - \frac{d}{c}, \quad (5.9)$$

Substituindo v_g

$$t = \frac{1}{c} \int_0^d \left(1 + \frac{v_p^2}{2v^2} \right) dl - \frac{d}{c} = \left(\frac{e^2}{2\pi m_e c} \right) \frac{1}{v^2} \int_0^d n_e dl, \quad (5.10)$$

$$t = \left(\frac{e^2}{2\pi m_e c} \right) \frac{1}{v^2} DM. \quad (5.11)$$

Com isso:

$$DM = \int_0^d n_e dl, \quad (5.12)$$

Onde DM é a dispersão medida em unidades de pc (cm^{-3}), n_e é a densidade eletrônica do meio em (cm^{-3}) ao longo da linha de visão, e d é a distância do pulsar até a Terra, em unidades de Pc (Parsec).

Durante a trajetória das ondas eletromagnéticas no espaço interestelar, que se propagam de uma fonte até um radiotelescópio, há um atraso perceptível, como já mencionado. As ondas de rádio são um tipo de radiação eletromagnética que possuem uma frequência bastante baixa e são constituídas por fótons com um campo elétrico e magnético oscilante. Ao se encontrarem com partículas carregadas, tais como prótons e elétrons livres que permeiam o espaço interestelar, ocorre uma interação eletrostática entre essas partículas e os fótons, ocasionando uma demora em sua propagação.

Os fótons com frequência mais elevada, ou seja, ondas eletromagnéticas com maior energia, têm maior capacidade de interagir com elétrons livres, resultando em uma alteração menos significativa em sua velocidade. Por outro lado, fótons com frequência mais baixa são mais suscetíveis aos efeitos de interação com as partículas carregadas presentes no meio interestelar, o que leva a um maior atraso em sua propagação.

O efeito da dispersão dos pulsos de rádio que ocorre durante a propagação através do meio interestelar ionizado pode ser calculado por meio da medida de dispersão. Essa medida se baseia no fato de que os pulsos de um determinado pulsar chegam com um pequeno atraso em frequências mais baixas do que em frequências mais altas.

As medidas de dispersão dos Pulsares são muito importantes, uma das principais aplicações das medidas de dispersão é a determinação de distâncias dos Pulsares conforme [26], a medida vai ser diretamente proporcional ao percurso que a radiação vai fazer ao passar pelo meio interestelar, essa relação pode ser usada para estimar a distância dos Pulsares, isso é bem útil, pois é fundamental para compreender as propriedades físicas, como a luminosidade, massa, raio e etc.

5.2 Luminosidade

Os Pulsares tem muitas características, muitas deles já foram citadas neste trabalho, uma característica interessante é a Luminosidade, que pode ser medida em termos de sua potência radiante, que seria, a quantidade de energia que ele emite por segundo.

De acordo com [27], em sua grande maioria, os Pulsares tem luminosidade muito baixa, com potências radiantes na faixa de algumas dezenas de milhares de Watts.

Segundo [15], a luminosidade é uma medida de quantidade de energia que um Pulsar emite por unidade de tempo e que é influenciada pela taxa de decaimento de sua rotação e pela perda de energia magnética. Pulsares que são mais jovens tem uma rotação mais rápida e isso influencia na sua luminosidade, tendem a ser mais luminosos do que os Pulsares mais antigos. Isso é devido os Pulsares mais jovens terem um campo magnético mais forte e uma maior taxa de produção de energia, isso resulta em uma maior emissão da radiação. Quando o Pulsar vai envelhecendo e perde energia, a sua luminosidade decai. Consequentemente a luminosidade dos Pulsares pode ser usada como um indicador de sua idade e de evolução.

A luminosidade dos Pulsares pode ser afetada pela interação do Pulsar e o meio, como a matéria e a radiação presente na vizinhança, alguns Pulsares estão em sistemas binários e com isso, eles interagem com a estrela na vizinhança e essa interação pode afetar a luminosidade do Pulsar.

Para calcular a luminosidade dos pulsares, precisamos conhecer sua distância e densidade de fluxo. A luminosidade de um objeto astronômico é dada por:

$$L = 4\pi d^2 F, \quad (5.13)$$

onde d é a distância até o objeto e F é a densidade de fluxo recebida do objeto. A densidade de fluxo dos pulsares é geralmente medida em uma frequência de observação específica e pode ser relacionada à luminosidade intrínseca do pulsar nessa frequência por meio de um índice espectral, α :

$$F_\nu = k\nu^{-\alpha} L_\nu, \quad (5.14)$$

onde F_ν é a densidade de fluxo observada na frequência ν , L_ν é a luminosidade intrínseca nessa frequência e k é uma constante que depende das unidades usadas. Combinando essas equações, podemos escrever a luminosidade de um pulsar como:

$$L_\nu = \frac{4\pi d^2 F_\nu}{k\nu^{-\alpha}}, \quad (5.15)$$

onde d é a distância ao pulsar, F_ν é a densidade de fluxo observada na frequência ν , a constante k é usada para converter a quantidade de energia emitida pelos pulsares em

unidades específicas a constante vai variar dependendo da unidade utilizada para expressar a luminosidade , e α é a índice espectral.

Observe que a luminosidade depende da frequência de observação ν e do índice espectral α . Para calcular a luminosidade total de um pulsar em todas as frequências, é preciso integrar a luminosidade em todo o espectro do pulsar:

$$L = \int L_\nu d\nu. \quad (5.16)$$

O cálculo da luminosidade dos pulsares pode nos fornecer informações importantes sobre suas propriedades físicas e evolução. Também pode nos ajudar a entender melhor os mecanismos por trás de sua emissão de radiação. O uso de diferentes métodos para calcular a luminosidade dos pulsares pode levar a resultados ligeiramente diferentes, mas todos dependem de certas suposições e aproximações. No geral, esse cálculo é uma ferramenta importante no estudo dos pulsares e seu comportamento.

6 Pulsares com o Uirapuru

Nesta seção iremos comentar de maneira detalhada todas as ferramentas usadas e seus manuseios para que assim consigamos produzir os gráficos e suas projeções por meio dos dados do ATNF. No trabalho temos como objetivo trabalhar com dados de pulsares por meio de catálogos, para o estudo dos Pulsares foi preciso filtrar alguns dados. Primeiramente foi necessário encontrar um site de catálogos de pulsares. O site que usamos para coletar os dados foi o ATNF (Australia Telescope National Facility), cuja sede está localizada no subúrbio de Marsfield em Sydney. O site em questão é um projeto que coleta os dados das observações de alguns radiotelescópios em cooperação com o projeto e organiza os dados no site. Na imagem número 11, localizada na próxima página, mostra a caracterização do site que evidencia que, para usar as informações, é necessário marcar as opções de dados que se deseja analisar.

Com isso vamos selecionar os dados referente a escolha para montarmos o catálogo com as informações que queremos, conforme a figura (12).

Todos os parâmetros que aparecem na ilustração número (12) são importantes para nos ajudar a entender melhor a respeito dos Pulsares, oferecem oportunidades únicas para estudar a relatividade geral, a dinâmica dos campos magnéticos e a física de plasmas relativísticos, bem como para entender a evolução e a natureza da matéria e energia em nosso universo.. O primeiro parâmetro seria o PSRJ, que é uma espécie de identificador para cada Pulsar, geralmente é usado baseando-se na posição do Pulsar no céu. O termo PSRJ consiste em um prefixo "PSR"seguido pelo ano em que foi descoberto o Pulsar, que é seguido por uma sequência de caracteres alfanuméricos que vai identificar o Pulsar dentro do ano de sua descoberta.

A respeito dos parâmetros RAJ e DECJ conforme [19], são usados para descrever a posição do objeto celestial. O RAJ significa (Ascensão reta J2000) e o DECJ (Declinação J2000). A Ascensão Reta (RAJ) é a coordenada que vai descrever a localização de um certo objeto ao longo do equador celeste, medido em horas, minutos e segundos. Bem similar a longitude da Terra que é medida a partir do ponto em que o equador celeste cruza a linha do equinócio vernal, já a respeito de usar J2000, seria referente a época usada como referência celeste que representa o equinócio vernal em 1º de janeiro do ano 2000.

Figura 11 – Ilustração da caracterização do site para coletar os dados astronômicos

CSIRO

Accessibility menu

Search

ATNF Home | About ATNF | Facilities | Science & Technology | Online Resources | Outreach

ATNF Pulsar Catalogue

[Catalogue Tutorial](#) | [Documentation](#) | [Expert](#) | [ATNF Pulsar Home](#) | [Pulsar Tutorial](#) | [Glitch table](#) | [Feedback](#) | [Download](#) | [History](#)

Catalogue version: **1.69**

TABLE **PLOT**

Predefined Variables [Display parameters](#)

<input type="checkbox"/> Name	<input type="checkbox"/> JName	<input type="checkbox"/> RaJ	<input type="checkbox"/> DecJ	<input type="checkbox"/> PMRA	<input type="checkbox"/> PMDec
<input type="checkbox"/> PX	<input type="checkbox"/> PosEpoch	<input type="checkbox"/> ELong	<input type="checkbox"/> ELat	<input type="checkbox"/> PMELong	<input type="checkbox"/> PMELat
<input type="checkbox"/> GL	<input type="checkbox"/> GB	<input type="checkbox"/> RaJD	<input type="checkbox"/> DecJD		
<input type="checkbox"/> P0	<input type="checkbox"/> P1	<input type="checkbox"/> F0	<input type="checkbox"/> F1	<input type="checkbox"/> F2	<input type="checkbox"/> F3
<input type="checkbox"/> PEpoch	<input type="checkbox"/> DM	<input type="checkbox"/> DM1	<input type="checkbox"/> RM	<input type="checkbox"/> W50	<input type="checkbox"/> W10
<input type="checkbox"/> Units	<input type="checkbox"/> Tau_sc	<input type="checkbox"/> S400	<input type="checkbox"/> S1400	<input type="checkbox"/> S2000	
<input type="checkbox"/> Binary	<input type="checkbox"/> T0	<input type="checkbox"/> PB	<input type="checkbox"/> A1	<input type="checkbox"/> OM	<input type="checkbox"/> Ecc
<input type="checkbox"/> Tasc	<input type="checkbox"/> Eps1	<input type="checkbox"/> Eps2	<input type="checkbox"/> MinMass	<input type="checkbox"/> MedMass	<input type="checkbox"/> BinComp
<input type="checkbox"/> Dist	<input type="checkbox"/> Dist_DM	<input type="checkbox"/> DMsinb	<input type="checkbox"/> ZZ	<input type="checkbox"/> XX	<input type="checkbox"/> YY
<input type="checkbox"/> Assoc	<input type="checkbox"/> Survey	<input type="checkbox"/> OSurvey	<input type="checkbox"/> Date	<input type="checkbox"/> Type	<input type="checkbox"/> NGIt
<input type="checkbox"/> R_lum	<input type="checkbox"/> R_lum14	<input type="checkbox"/> Age	<input type="checkbox"/> Bsurf	<input type="checkbox"/> Edot	<input type="checkbox"/> Edot2
<input type="checkbox"/> PMtot	<input type="checkbox"/> VTrans	<input type="checkbox"/> P1_i	<input type="checkbox"/> Age_i	<input type="checkbox"/> Bsurf_i	<input type="checkbox"/> B_LC

User-defined variables

<input type="checkbox"/> C1	
<input type="checkbox"/> C2	
<input type="checkbox"/> C3	
<input type="checkbox"/> C4	

[Sort on field](#) Order: Ascending Descending

[Condition](#) Exact match
e.g. (p0 > 2 && P0 < 6) || (DM > 0 && dM < 9)

Figura 12 – Ilustração da configuração dos dados que serão analisados sobre os Pulsares, conforme o filtro realizado para a análise

#	PSRJ	RAJ (hms)	DECJ (dms)	P0 (s)	P1 (cm^{-3} -3 pc)	DM (cm^{-3} -3 pc/yr)	DM1 (rad m^{-2})	RM	W50 (ms)	TAU_SC (s)	S400 (mJy)	S1400 (mJy)	S2000 (mJy)
1	J0002+6216	00:02:58.1	+62:16:09.4	0.115364	5.97e-15	218.60	*	*	*	*	*	0.02	*
2	J0006+1834	00:06:04.8	+18:34:59	0.693748	2.10e-15	11.41	*	-20.00	82.000	*	0.20	*	*
3	J0007+7303	00:07:01.7	+73:03:07.4	0.315873	3.60e-13	*	*	*	*	*	*	*	*
4	J0011+08	00:11:34	+08:10	2.552870	*	24.90	*	*	28.000	*	*	*	*
5	J0014+4746	00:14:17.7	+47:46:33.4	1.240699	5.64e-16	30.41	*	-15.56	88.700	0.00	14.00	3.00	*
6	J0021-0909	00:21:51.4	-09:09:58.7	2.314131	1.04e-15	25.20	*	-15.00	23.800	*	*	0.13	*
7	J0023+0923	00:23:16.8	+09:23:23.8	0.003050	1.14e-20	14.33	*	*	*	0.00	2.90	0.37	*
8	J0024-7204a	00:24:05.6	-72:04:52.6	0.001840	*	24.97	*	*	*	*	*	*	*
9	J0024-7204ab	00:24:08.1	-72:04:47.6	0.003705	9.82e-21	24.37	*	*	*	*	*	*	*
10	J0024-7204ac	00:24:05.6	-72:04:05	0.002740	*	24.46	*	*	*	*	*	0.15	*
11	J0024-7204ad	00:24:05.6	-72:04:05	0.003740	*	24.41	*	*	*	*	*	0.08	*
12	J0024-7204C	00:23:50.3	-72:04:31.5	0.005757	-4.99e-20	24.60	*	27.00	0.664	*	1.53	0.52	0.23
13	J0024-7204D	00:24:13.8	-72:04:43.8	0.005358	-3.42e-21	24.74	*	28.00	0.303	*	0.95	0.35	0.20
14	J0024-7204E	00:24:11.1	-72:05:20.1	0.003536	9.85e-20	24.24	*	*	0.900	*	*	*	*
15	J0024-7204F	00:24:03.8	-72:04:42.8	0.002624	6.45e-20	24.38	*	*	0.500	*	*	*	*
16	J0024-7204G	00:24:07.9	-72:04:39.7	0.004040	-4.22e-20	24.44	*	*	0.700	*	*	*	*
17	J0024-7204H	00:24:06.7	-72:04:06.8	0.003210	-1.83e-21	24.37	*	*	0.600	*	*	*	*
18	J0024-7204I	00:24:07.9	-72:04:39.6	0.003485	-4.59e-20	24.43	*	*	*	*	*	*	*
19	J0024-7204J	00:23:59.4	-72:03:58.7	0.002101	-9.79e-21	24.59	*	20.00	0.209	*	*	0.44	0.20
20	J0024-7204L	00:24:03.7	-72:04:56.9	0.004346	-1.22e-19	24.40	*	*	0.700	*	*	*	*
21	J0024-7204M	00:23:54.4	-72:05:30.7	0.003677	-3.84e-20	24.43	*	*	1.200	*	*	*	*
22	J0024-7204N	00:24:09.1	-72:04:28.8	0.003054	-2.19e-20	24.57	*	*	*	*	*	*	*
23	J0024-7204O	00:24:04.6	-72:04:53.7	0.002643	3.03e-20	24.36	*	*	*	*	*	*	*
24	J0024-7204P	00:24:20	-72:04:10	0.003643	6.64e-19	24.29	*	*	*	*	*	*	*
25	J0024-7204Q	00:24:16.4	-72:04:25.1	0.004033	3.40e-20	24.27	*	*	*	*	*	*	*

Fonte: <https://www.atnf.csiro.au/research/pulsar/psrcat/>

A declinação (DECJ) é a coordenada que vai descrever a posição do objeto acima ou a baixo do equador celeste, a medida é em graus, minutos e segundos, semelhante a latitude na Terra, medida a partir do plano da eclíptica que seria o plano da Terra em torno do Sol, a J2000 seria em relação a época, como já mencionado. Juntando ambos parâmetros, descrevem a localização de um objeto no céu de uma forma muito precisa.

O próximo parâmetro a ser discutido seria o P0 e P1, são parâmetros importantes para a compreensão dos Pulsares. O P0, seria o período de rotação, é o tempo que leva para o pulsar completar uma volta completa em torno de seu eixo. Este parâmetro está diretamente relacionado à idade, velocidade de rotação e estrutura interna do pulsar.

Já o P1, é a primeira derivada do período, representa a taxa de variação do período de rotação do pulsar ao longo do tempo. Uma variação positiva indica aumento no período, enquanto uma variação negativa indica diminuição, vale salientar que variações no período não indica ganha ou perda de energia, apenas indica a taxa de variação de rotação do Pulsar. O P1 é um indicador importante das propriedades do pulsar e pode fornecer informações sobre o ambiente em que o pulsar está localizado e sua evolução.

Há outros parâmetros importantes para o estudo dos Pulsares, são eles DM e DM1. O DM seria o desvio da dispersão, tal parâmetro reflete a quantidade de matéria ionizada que está presente no meio intergaláctico entre a fonte emissora (Pulsar) e o observador. O desvio sofrido causa um atraso na chegada dos pulsos, do Pulsar até o observador, pode-se usar como uma forma de medir a distância que é percorrida pelos Pulsos. Entretanto o DM1, representa a taxa de variação do DM ao longo do tempo, pode-se usar esse parâmetro para investigar a dinâmica do meio intergaláctico.

O parâmetro W50 do catálogo é uma medida de largura de Pulso, representa a

medida do Pulso em 50% de sua amplitude máxima ou seja, é a largura do pulso no ponto em que a intensidade do sinal cai para metade do seu valor de pico. A medida W50 é usado para caracterizar a forma do perfil de pulso de rádio dos pulsares, o pulso pode variar amplamente de um Pulsar para outro, dependendo de vários fatores como, como sua geometria da emissão, distribuição e a sua inclinação do eixo de rotação do Pulsar em relação à linha de visão do observador.

Uma medida importante acerca dos Pulsares seria o tempo de espalhamento de dispersão (TAU-SC) é um parâmetro importante para caracterizar a dispersão do sinal do Pulsar à medida que viaja através do meio interestelar. Sabemos que os Pulsares emitem pulsos regulares de radiação em direção à Terra. Porém, a radiação desses pulsos é afetada pela presença de plasma no meio interestelar, que causa dispersão do sinal.

O parâmetro em questão é uma medida da dispersão temporal do sinal, que é diretamente proporcional ao atraso temporal causado pela dispersão. Podemos definir como o tempo necessário para o sinal de pulsar atravessar uma região de plasma com uma certa densidade de elétrons.

As densidades de fluxo S400, S1400 e S2000 estão relacionadas às medidas do brilho dos pulsares em diferentes frequências de rádio. São medidas importantes pois a intensidade de radiação emitida pelos pulsares varia com a frequência, e estudar essas variações pode ajudar a entender melhor sobre os Pulsares. Essas densidades de fluxo são normalmente expressas em unidades de Janskys (Jy), que é uma unidade de fluxo radiante.

É possível estudar a emissão de rádio dos pulsares e inferir informações sobre suas propriedades físicas, como a estrutura interna e a distribuição de energia em suas magnetosferas, por meio da variação da densidade de fluxo com a frequência.

A relação entre a densidade de fluxo e a frequência pode revelar detalhes sobre a geometria dos campos magnéticos dos pulsares e a distribuição de elétrons em suas magnetosferas.

A forma do perfil de pulso de rádio dos pulsares pode variar amplamente de um pulsar para outro, dependendo de vários fatores, como a geometria da emissão, a distribuição de densidade do meio circundante e a inclinação do eixo de rotação do pulsar em relação à linha de visão do observador. Após selecionar os dados desejados, é preciso escolher a forma de saída dos dados, podendo-se optar também pelo tamanho da fonte.

O site oferece duas possibilidades: visualizar a tabela com os dados selecionados e visualizar o plot desses dados selecionados. No nosso caso, queremos apenas a tabela. Na imagem de número (13) podemos visualizar o esquema mencionado.

Figura 13 – De acordo com a ilustração, podemos ver as caracterizações de saída dos dados.

Fonte: <https://www.atnf.csiro.au/research/pulsar/psrcat/>

Após seguir esses passos, será gerada uma tabela com os dados que foram selecionados logo acima. A próxima etapa é armazenar esses dados em algum formato de arquivo. O formato escolhido foi o formato txt devido à facilidade de manuseio dos dados e também devido a quantidade de dados não ser tão extensa. Para trabalhar nas análises desses dados usamos o Jupyter Notebook que é um aplicativo web open-source em que se usa a linguagem de programação Python para fazer o processamento das informações obtidas do site.

Antes de iniciar, é necessário importar algumas bibliotecas que serão usadas no notebook para o manuseio das informações. As bibliotecas usadas são o Numpy – uma biblioteca para a linguagem Python com funções para trabalhar com computação numérica ; a biblioteca pandas que também é uma linguagem usada para análise de dados. Com o uso do pandas será possível juntar informações e criar dataframes entre outras funções. Uma outra biblioteca importante é a matplotlib que é uma ferramenta para criação de gráficos e visualização de dados. Na figura 16 temos a visualização das bibliotecas importadas com alguns outros comandos.

Figura 14 – Na ilustração vemos as bibliotecas importadas, como numpy, pandas, matplotlib e algumas outras como OS e glob que servem para redefinir o diretório e listar os mesmos, facilitando a localização do arquivo e organização.

```
In [1]: #Importando as bibliotecas

import numpy as np
import pandas as pd

import glob
import os
import matplotlib.pyplot as plt
%matplotlib inline

In [2]: os.chdir('C:\\Users\\deivy\\OneDrive\\Documentos\\pulsares Dados')

In [3]: #Localizando o arquivo que esta salvo em um formato txt

files=sorted(glob.glob('*txt'))
print(files, len(files))

['atnfp.txt'] 1
```

Fonte:Própria do autor.

Já tendo localizado o arquivo com o formato txt, abriremos o arquivo, antes de fazer todos os plots será preciso fazer todo o tratamento dos dados após abrir o arquivo, como excluir uma coluna com todos valores nulos e definir um dataframe de acordo com a imagem.

Figura 15 – Lendo os dados como uma tabela e excluindo uma coluna que surgiu com valores nulos ao executar.

```
In [4]: #Após ter localizado o arquivo, abriremos o arquivo como uma tabela
df = pd.read_csv(files[0], sep=';', skiprows=[1])

In [5]: #Excluindo a coluna com valores nulos
df.drop(columns=['Unnamed: 14'], inplace=True)
df

Out[5]:
```

	#	PSRJ	GI	Gb	RAJD	DECJD	P0	P1	DM	W50	S1400	ZZ	XX	YY
0	1	J0002+6216	117.327	-0.074	0.742375	62.269278	0.115364	5.97e-15	218.60	*	0.02	-0.008	5.648	11.418
1	2	J0006+1834	108.172	-42.985	1.520000	18.583056	0.693748	2.10e-15	11.41	82.000	*	-0.586	0.598	8.696
2	3	J0007+7303	119.660	10.463	1.757083	73.052056	0.315873	3.60e-13	*	*	*	0.254	1.196	9.181
3	4	J0011+08	106.228	-53.407	2.891667	8.166667	2.552870	*	24.90	28.000	*	-4.335	3.090	9.399
4	5	J0014+4746	116.497	-14.631	3.573958	47.775944	1.240699	5.64e-16	30.41	88.700	3.00	-0.449	1.538	9.267
...
3277	3278	J2351+8533	121.677	22.832	357.763734	85.555735	1.011727	8.80e-16	38.20	18.000	*	1.007	2.035	9.755
3278	3279	J2352+65	116.702	2.850	358.000000	65.000000	1.164000	*	152.70	33.000	*	0.152	2.728	9.872
3279	3280	J2354-22	48.082	-76.409	358.608333	-22.864722	0.557996	*	9.90	9.000	*	-1.077	0.194	8.326
3280	3281	J2354+6155	116.239	-0.194	358.519929	61.929679	0.944784	1.63e-14	94.66	10.400	5.00	-0.008	2.188	9.578
3281	3282	J2355+2246	106.530	-38.323	358.957500	22.771389	1.840986	3.78e-15	23.10	68.000	*	-1.341	1.627	8.983

3282 rows x 14 columns

Fonte:Própria do autor.

Após retirar valores nulos e todos os dados que não seriam necessários, foi preciso converter a coluna S1400 que estava com um data type reconhecido com object e não como float, essa coluna corresponde a densidade média de fluxo na frequência de 1400MHz, como mostra a figura (16).

Figura 16 – Exemplificando a forma usada para fazer a conversão dos dados para float.

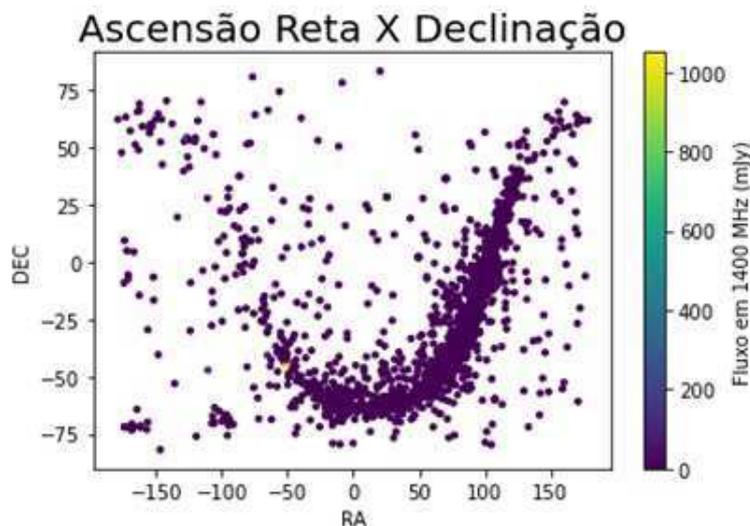
```
In [7]: #Convertendo a coluna S1400 para float  
  
a=df_pulsar['S1400'].astype(str).astype(float)  
print(a)  
  
0      0.02  
4      3.00  
5      0.13  
6      0.37  
9      0.15  
...  
3267   2.90  
3268   0.47  
3270   1.40  
3274   2.00  
3280   5.00  
Name: S1400, Length: 2219, dtype: float64
```

Fonte:Própria do autor.

Toda essas etapas foram para organizar nossos dados, fazendo toda a tratativa dos dados importados do site. A partir disso, podemos fazer o plot dos dados selecionados. Inicialmente, estamos interessados apenas nos dados a respeito a posição dos pulsares em função da densidade de fluxo, para fazer o plot, usaremos o matplotlib, como ilustrado na figura (19).

Figura 17 – Plot dos dados referente a posição dos pulsares, levando em consideração sua densidade de fluxo.

```
In [10]: #Plot a respeito da Ascensão Reta pela declinação do pulsar em relação a sua densidade  
  
plt.scatter(raD,decD,marker='.', c=a)  
plt.colorbar(label='Fluxo em 1400 MHz (mJy)')  
plt.title('Ascensão Reta X Declinação', fontsize=20)  
plt.xlabel('RA')  
plt.ylabel('DEC')  
  
Out[10]: Text(0, 0.5, 'DEC')
```



Fonte:Própria do autor.

Podemos agora posicionar os dados sobre uma projeção de formato Mollweide para termos uma visão de como seria a posição dos pulsares vistos da Terra, de acordo com a figura.

Figura 18 – De acordo com o plot, é possível visualizar como seria a distribuição da localização dos pulsares no céu.

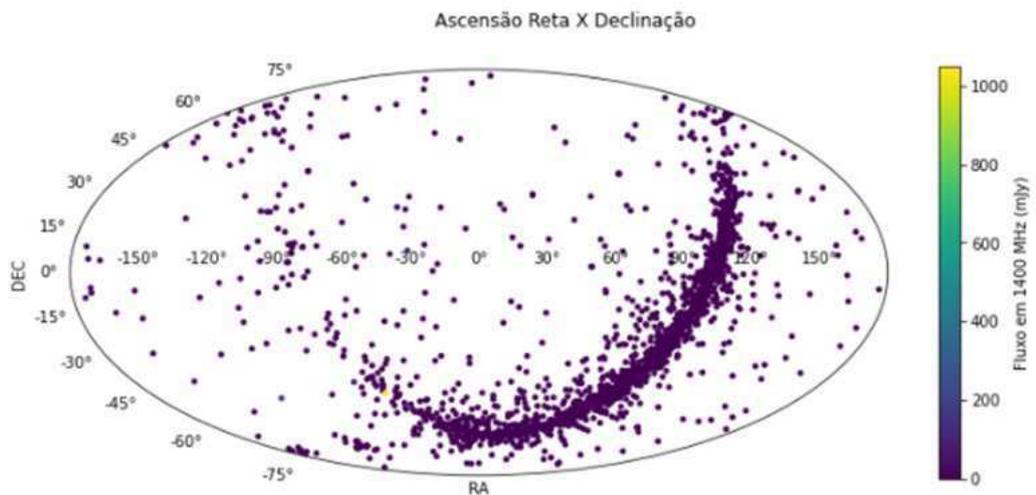
```
In [11]: #Posicionando os dados na projeção do tipo mollweide
```

```
fig = plt.figure(figsize=(12,5))
ax = fig.add_subplot(111, projection='mollweide')
fig.suptitle('Ascensão Reta X Declinação')

ra=np.deg2rad(raD)
dec=np.deg2rad(decD)

im=ax.scatter(ra,dec,marker='.', c=a)
fig.colorbar(im, ax=ax,label='Fluxo em 1400 MHz (mJy)')
ax.set_xlabel('RA')
ax.set_ylabel('DEC')
```

```
Out[11]: Text(0, 0.5, 'DEC')
```



Fonte:Própria.

Podemos também fazer um plot a respeito das coordenadas galácticas dos pulsares usando a mesma projeção, que teríamos como resultado.

Figura 19 – De acordo com o plot, é possível visualizar as configurações dos dados na projeção em coordenadas galácticas.

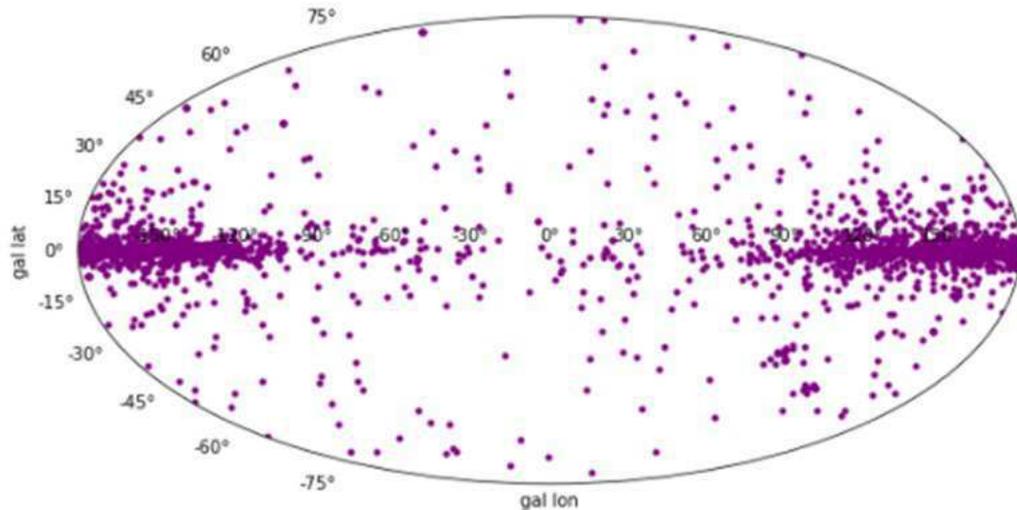
In [12]: `#Plot dos dados em coordenadas Galácticas`

```
fig = plt.figure(figsize=(12,5))
ax = fig.add_subplot(111, projection='mollweide')

gl=np.deg2rad(df_pulsar['Gl']-180)
gb=np.deg2rad(df_pulsar['Gb'])

im=ax.scatter(gl,gb,marker='.', c='purple')
ax.set_xlabel('gal lon')
ax.set_ylabel('gal lat')
```

Out[12]: `Text(0, 0.5, 'gal lat')`



Fonte:Própria do autor.

Também podemos, filtrar os Pulsares de acordo com a densidade média de fluxo, como valores maiores que $10(mJy)$ e menores que $10(mJy)$ podemos também verificar de como seria a visualização em coordenadas galácticas.

Para os Pulsares com Densidade média de fluxo $> 10(mJy)$:

Figura 20 – De acordo com o plot, é possível visualizar as configurações dos dados na projeção, considerando a densidade média de fluxo superior a $10(mJy)$.

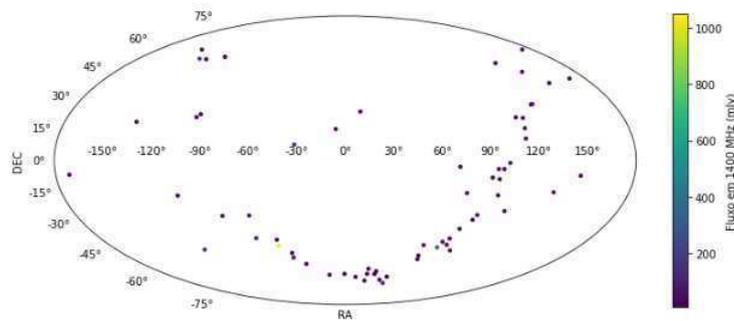
```
In [18]: #Posicionando os dados na projeção do tipo mollweide, agora para valores da densidade média de fluxo maiores que 10

fig = plt.figure(figsize=(12,5))
ax = fig.add_subplot(111, projection='mollweide')

ra=np.deg2rad(dfagrande['RAJD']-180)
dec=np.deg2rad(dfagrande['DECJD'])

im=ax.scatter(ra,dec,marker='.',c=b)
fig.colorbar(im, ax=ax,label='Fluxo em 1400 MHz (mJy)')
ax.set_xlabel('RA')
ax.set_ylabel('DEC')
```

Out[18]: Text(0, 0.5, 'DEC')



Fonte:Própria do autor.

Para os Pulsares com Densidade média de fluxo $< 10(mJy)$:

Figura 21 – De acordo com o plot, é possível visualizar as configurações dos dados na projeção, considerando a densidade média de fluxo inferior a $10(mJy)$.

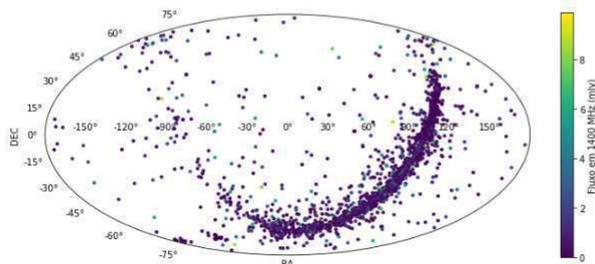
```
In [38]: #Posicionando os dados na projeção do tipo mollweide, agora para valores da densidade média de fluxo menores que 10

fig = plt.figure(figsize=(12,5))
ax = fig.add_subplot(111, projection='mollweide')

ra=np.deg2rad(dfapequeno['RAJD']-180)
dec=np.deg2rad(dfapequeno['DECJD'])

im=ax.scatter(ra,dec,marker='.',c=d)
fig.colorbar(im, ax=ax,label='Fluxo em 1400 MHz (mJy)')
ax.set_xlabel('RA')
ax.set_ylabel('DEC')
```

Out[38]: Text(0, 0.5, 'DEC')



Fonte:Própria do autor.

Podemos verificar como seria a distribuição dos Pulsares em coordenadas galácticas, considerando a densidade média de fluxo $< 10(mJy)$:

Figura 22 – De acordo com o plot, é possível visualizar as configurações dos dados na projeção em coordenadas galácticas, considerando a densidade média de fluxo inferior a $10(mJy)$.

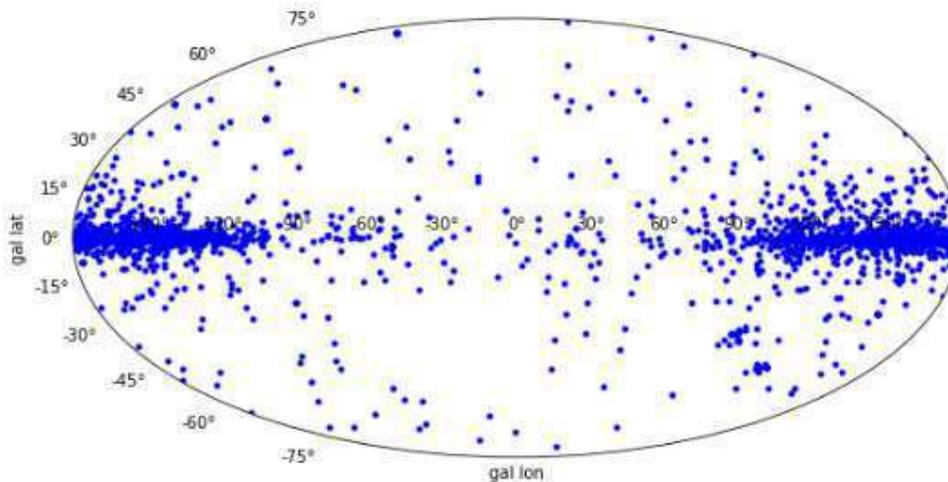
```
In [39]: #Plot dos dados em coordenadas Galácticas

fig = plt.figure(figsize=(12,5))
ax = fig.add_subplot(111, projection='mollweide')

gl=np.deg2rad(dfapequeno['G1']-180)
gb=np.deg2rad(dfapequeno['Gb'])

im=ax.scatter(gl,gb,marker='.', c='blue')
ax.set_xlabel('gal lon')
ax.set_ylabel('gal lat')
```

```
Out[39]: Text(0, 0.5, 'gal lat')
```



Fonte:Própria do autor.

Podemos verificar como seria a distribuição dos Pulsares em coordenadas galácticas, considerando a densidade média de fluxo $> 10(mJy)$:

Figura 23 – De acordo com o plot, é possível visualizar as configurações dos dados na projeção em coordenadas galácticas, considerando a densidade média de fluxo superior a $10(mJy)$.

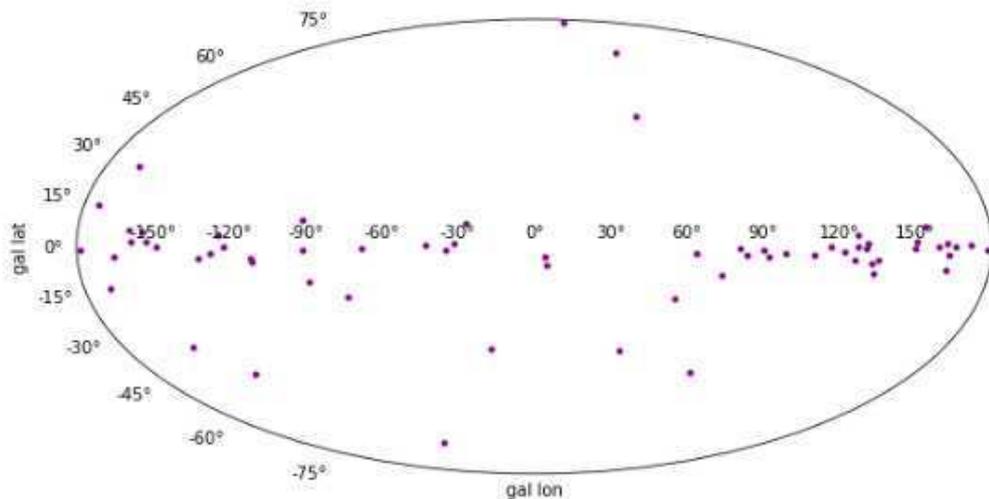
In [31]: `#Plot dos dados em coordenadas Galácticas`

```
fig = plt.figure(figsize=(12,5))
ax = fig.add_subplot(111, projection='mollweide')

gl=np.deg2rad(dfagrande['G1']-180)
gb=np.deg2rad(dfagrande['Gb'])

im=ax.scatter(gl,gb,marker='.', c='purple')
ax.set_xlabel('gal lon')
ax.set_ylabel('gal lat')
```

Out[31]: `Text(0, 0.5, 'gal lat')`



Fonte:Própria do autor.

De acordo com as distribuições dos Pulsares, podemos verificar que a maior concentração são dos Pulsares com densidade de fluxo inferior a $10(mJy)$, isso indica que a maioria dos Pulsares estão mais distantes devido brilho, já os Pulsares com densidade média de fluxo superior a $10(mJy)$, são os mais próximos ao plano.

6.1 Definindo a posição do Uirapuru

Tendo como objetivo do trabalho o uso dos dados do ATNF como preparação para as observações com o Uirapuru, será necessário esclarecer alguns pontos. Por exemplo, o Uirapuru não terá nenhuma mobilidade e não terá nenhuma peça móvel. O radiotelescópio apenas captará o sinal dos pulsares que passarem na sua banda, então precisaremos fazer algumas escolhas sobre o que o Uirapuru irá monitorar.

Algo importante seria a definição da posição do Uirapuru. Primeiramente, vamos definir sua posição na Terra e, em seguida, podemos definir um ponto no céu em relação ao radiotelescópio. Então, poderemos verificar qual será a visão que o Uirapuru terá de acordo com sua posição.

Figura 24 – Definindo a posição na Terra do Uirapuru e definindo um ponto no céu em relação a sua posição.

```
In [46]: uira_loc=EarthLocation(lat=-7.211639*u.deg, lon=-35.908194*u.deg, height=539*u.m)
utcoffset = -3 * u.hour # BRST
uira_time = Time('2021-09-16 12:00:00')-utcoffset
uira_altaz=AltAz(location=uira_loc, obstime=uira_time)
print(uira_loc, uira_time, uira_altaz,sep='\n')

(5125857.86655237, -3711619.58554617, -795427.52459189) m
2021-09-16 15:00:00.000
<AltAz Frame (obstime=2021-09-16 15:00:00.000, location=(5125857.86655237, -3711619.58554617, -795427.52459189) m, pressure=0.0 hPa, temperature=0.0 deg_C, relative_humidity=0.0, obswl=1.0 micron)>
```

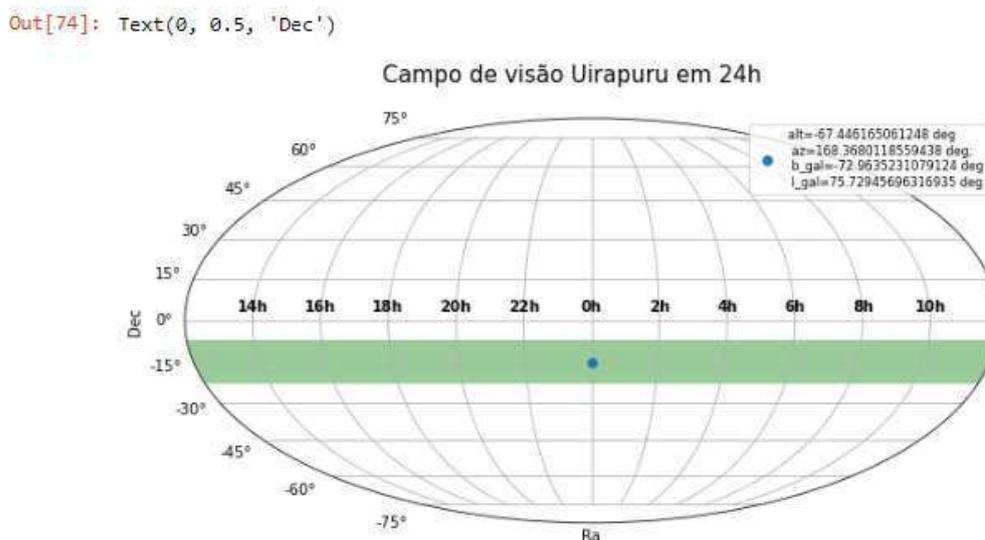
```
In [47]: # definindo um ponto no céu
c=SkyCoord('00h00m0s', '-15d00m0s', frame='icrs')
c_altaz=c.transform_to(uira_altaz)
c_gal=c.transform_to('galactic')
print(c, c_altaz,c_gal)

<SkyCoord (ICRS): (ra, dec) in deg
(0., -15.)> <SkyCoord (AltAz: obstime=2021-09-16 15:00:00.000, location=(5125857.86655237, -3711619.58554617, -795427.52459189) m, pressure=0.0 hPa, temperature=0.0 deg_C, relative_humidity=0.0, obswl=1.0 micron): (az, alt) in deg
(168.36801186, -67.44616506)> <SkyCoord (Galactic): (l, b) in deg
(75.72945696, -72.96352311)>
```

Fonte:Própria do autor.

Após efetuar as conversões das coordenadas para radianos, podemos fazer o plot onde mostra o campo de visão do Uirapuru em 24 horas.

Figura 25 – De acordo com o plot, podemos visualizar o campo de visão que o Uirapuru terá em torno de 24 horas.



Fonte:Própria do autor.

Todos os Pulsares que passarem dentro desta faixa de visão do Uirapuru, terá seus dados captados, com isso poderemos analisar as características do Pulsar em questão.

7 Considerações Finais

O desenvolvimento tecnológico é fundamental para o progresso da astronomia e da radioastronomia, permitindo uma análise mais aprofundada de objetos e fenômenos celestes, conforme [28] observação astronômica depende do desempenho dos instrumentos de observação, e os avanços tecnológicos possibilitaram a construção de telescópios cada vez mais sensíveis e precisos. Com isso, o avanço tecnológico na astronomia e na radioastronomia é crucial, pois possibilita a descoberta de novos objetos celestes, o estudo mais detalhado dos objetos já conhecidos e uma melhor compreensão dos fenômenos astronômicos.

Uma das descobertas astronômicas mais importantes do século XX foi a identificação dos pulsares, que são estrelas de nêutrons altamente magnetizadas que emitem feixes regulares de radiação eletromagnética. Em 1967, Jocelyn Bell Burnell e Antony Hewish, da Universidade de Cambridge, detectaram pela primeira vez esses pulsos regulares usando um radiotelescópio. Inicialmente, Bell Burnell e Hewish não conseguiram explicar a origem dos pulsos, mas depois de descartar outras possíveis fontes, eles perceberam que os pulsos vinham de um objeto altamente magnetizado em rápida rotação, que eles batizaram de pulsar.

A descoberta dos pulsares foi significativa de acordo com [29] forneceu evidências convincentes da existência das estrelas de nêutrons, que haviam sido previstas pelos físicos teóricos, mas ainda não haviam sido observadas. Desde a descoberta dos pulsares, eles têm sido estudados intensamente e têm sido usados para testar teorias como a da gravidade, a física nuclear e as propriedades da matéria em densidades extremamente altas. Além disso, para [30] os Pulsares são considerados como relógios do Universo devido a sua periodicidade e precisão para medir o tempo. Em suma, a descoberta dos pulsares foi um avanço significativo no campo da astronomia, que contribuiu para uma melhor compreensão das propriedades e comportamentos de objetos altamente compactos no universo.

Conforme afirma [31] pulsares são estrelas de nêutrons altamente magnetizadas que emitem feixes de radiação eletromagnética uma das principais características dos pulsares é sua rotação incrivelmente rápida, a magnetização da estrela de nêutrons é uma consequência natural do processo de colapso, que comprime o campo magnético da estrela original em uma escala muito menor. Eles podem girar em velocidades de até centenas de vezes por segundo, tornando-os alguns dos objetos de rotação mais rápida que existem. Essa rotação rápida se deve ao seu pequeno tamanho e alta densidade, o que os faz girar mais rápido à medida que colapsam sob sua própria gravidade.

Outra característica chave dos pulsares são seus fortes campos magnéticos. Esses

campos magnéticos podem ser trilhões de vezes mais fortes que o campo magnético da Terra e são responsáveis pela emissão de radiação do pulsar, a medida que o pulsar gira, o campo magnético faz com que a emissão seja irradiada, como uma forma de farol. Os pulsares também emitem radiação em uma ampla faixa do espectro eletromagnético, desde ondas de rádio até raios-X e raios gama. Esta radiação é produzida por partículas carregadas no campo magnético do pulsar, que são aceleradas para perto da velocidade da luz.

Os catálogos são uma abordagem popular para estudar pulsares, mas há limitações a serem consideradas conforme [32] um problema é que nem todos os pulsares estão incluídos nos catálogos, o que pode levar a uma visão incompleta da população pulsar. A precisão das medidas também pode ser afetada, por exemplo, pela incerteza na posição. Além disso, a seleção dos pulsares pode ser baseada em critérios específicos, resultando em um viés de seleção e prejudicando a generalização dos resultados. Catálogos podem ficar desatualizados, perdendo sua utilidade para pesquisas futuras. A classificação dos pulsares pode ser subjetiva e variar entre diferentes catálogos, o que afeta a interpretação dos resultados.

É fundamental que os pesquisadores considerem essas limitações e verifiquem a qualidade dos dados antes de interpretar os resultados obtidos. O uso de catálogos pode fornecer informações valiosas, mas é necessário ser cauteloso na interpretação dos resultados para garantir uma abordagem completa e precisa no estudo dos pulsares.

O uso de catálogos para estudar Pulsares, tem suas vantagens de acordo com [33]) é uma ferramenta importante para o estudo de pulsares, fornecendo informações sobre suas características físicas e vários parâmetros relevantes, como a sua posição no céu, período de rotação entre outras características. Uma das principais vantagens do uso de catálogos é sua facilidade de acesso, uma vez que eles compreendem dados de observações astronômicas de diferentes fontes.

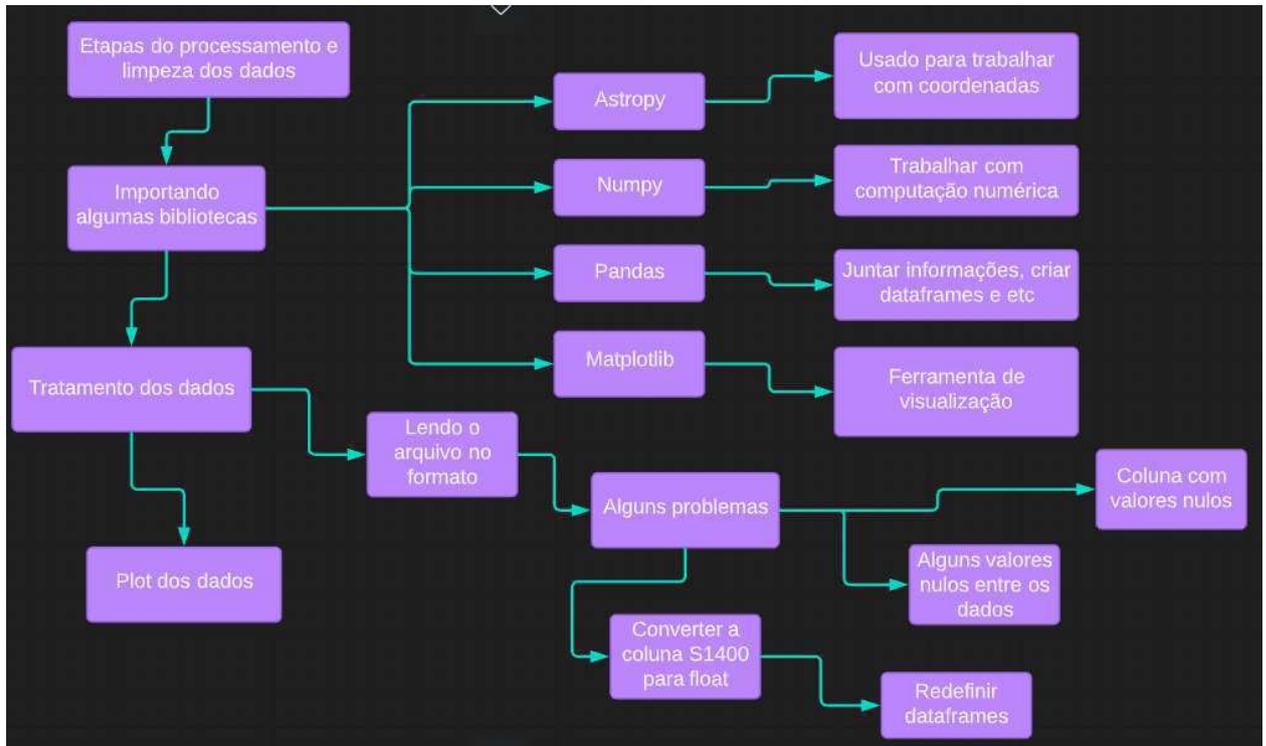
Os catálogos permitem o estudo de uma ampla gama de pulsares, isso é importante, pois amplia a compreensão sobre a população de pulsares como um todo. Também podem ser úteis para estudos estatísticos, permitindo avaliar a distribuição dos pulsares no espaço e no tempo e suas propriedades físicas em relação a outras características da galáxia. Tendo como objetivo básico dessa dissertação, que seria realizar um estudo sobre Pulsares por meio de catálogos em relação ao radiotelescópio Uirapuru e a partir deste trabalho contribuir para a colaboração BINGO, por meio deste trabalho, podemos analisar as características dos Pulsares usando os catálogos, levando em consideração todos os parâmetros mencionados ao longo do trabalho.

Apêndices

APÊNDICE A – Fluxograma

Este trabalho tem como objetivo a realização de um estudo de Pulsares com o auxílio de catálogos. Para trabalhar com os catálogos, é necessário obter os dados e fazer todo um tratamento dos mesmos. Segue um fluxograma abaixo para melhor entendimento de como foi feita toda esta etapa.

Figura 26 – Fluxograma das etapas realizadas para o uso dos dados.



Fonte:Própria do autor.

Referências

- 1 MOURÃO, R. R. F. *Da terra às galáxias: uma introdução à astrofísica*. Petrópolis, RJ: Ed. Vozes, 1997. 22 p. Citado na página 25.
- 2 ARAÚJO, M. L. et al. Simuladores experimentais de radiotelescópios para o ensino de astronomia no nível médio. Universidade Estadual de Feira de Santana, 2017. Citado 2 vezes nas páginas 25 e 37.
- 3 KARTTUNEN, H. et al. *Fundamental Astronomy*. 5. ed. New York: Springer, 2006. Citado na página 25.
- 4 TRINDADE, L. S. P.; TRINDADE, D. F. *Os Caminhos da Ciência e os Caminhos da Educação: Ciência, história e educação na sala de aula*. São Paulo: Madras, 2007. Citado na página 25.
- 5 GOMES, L. V. S. *Proto-Estrelas de nêutron com ressonância delta usando o modelo de Zimanyi-moszkowski*. Dissertação (Dissertação (mestrado em física)) — Universidade Federal de Roraima, Roraima, 2010. Citado 2 vezes nas páginas 27 e 35.
- 6 LATTARI, C. J. B. Radioastronomia: Noções iniciais para o ensino médio e fundamental como ilustração de aula. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, v. 18, n. 2, p. 229–239, Agosto 2001. Citado na página 27.
- 7 PINTO, C. H.; ARANHA, N. Construção de radiotelescópio para análise de micro-ondas solares em 12 ghz. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 40, n. 2, p. 1–18, 2018. Citado na página 27.
- 8 ANDREOLLA, T. Astronomia no invisível: Interação da física e astronomia para descobrir o universo que não se vê. Citado na página 28.
- 9 SOBRINHO, J.; TEIXEIRA, H. Astronomia & matemática 2017. *Relatório de Atividades*, 2017. Citado na página 29.
- 10 SANTIAGO, B.; SALVIANO, A. *Astronomia Geodésica: Posicionamento pelas Estrelas*. Rio Grande do Sul: UFRGS, 2005. v. 1. Citado na página 32.
- 11 BECHTOLD, J. *Galactic Astronomy*. Cambridge: Cambridge University Press, 2020. Citado na página 33.
- 12 LYNE, A. G. Pulsars. In: SEAGER, S.; JOHNSON, T. V. (Ed.). *Exoplanets and Alien Solar Systems*. 1. ed. Cham: Springer, 2017. p. 133–143. Citado na página 36.
- 13 MOYA, M. L. *Astronomía Gamma con el Telescopio MAGIC: Observaciones de la Nebulosa y Pulsar del Cangrejo*. 276 p. Tese (Tese (Doutorado em Física)) — Universidad Complutense de Madrid, Madrid - Espanha, 2006. Citado na página 37.
- 14 MENDES, C. *Evolução do Campo Magnético em Binárias Relativísticas*. Dissertação (Dissertação (mestrado em física)) — Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017. Citado na página 37.

- 15 LYNE, A.; GRAHAM-SMITH, F. *Pulsar Astronomy*. 4th. ed. [S.l.]: Cambridge University Press, 2012. (Cambridge Astrophysics). Citado 2 vezes nas páginas 38 e 48.
- 16 HOBBS, G. et al. Pulsars and their environments. *Science*, v. 329, n. 5997, p. 1305–1307, 2010. Citado na página 38.
- 17 CLIFTON, T. R. Radio pulsars. *Reports on Progress in Physics*, v. 55, n. 3, p. 285, 1992. Citado na página 39.
- 18 BECKER, W.; KRAMER, M.; SESANA, A. Pulsar timing and its application for navigation and gravitational wave detection. *Space Sci Rev*, v. 214, n. 2, p. 30, 2018. Citado na página 40.
- 19 CAMILO, F.; RASIO, F. A. (Ed.). *Binary Radio Pulsars*. [S.l.]: Springer, 2017. 7–9 p. Citado 2 vezes nas páginas 41 e 51.
- 20 CHAKRABORTY, C.; BAGCHI, M. Evolving pulsar population synthesis with updated luminosity function. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, v. 498, n. 3, p. 3290–3302, 2020. Citado na página 41.
- 21 BHATTACHARYA, D.; WIJERS, R. A. M. J. Evolutionary history of accreting neutron stars. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, v. 254, n. 1, p. 198–206, 1992. Citado na página 41.
- 22 GONTHIER, P. L. et al. Modeling gamma-ray pulsar light curves from first principles. *The Astrophysical Journal*, v. 852, n. 1, p. 2, 2018. Citado na página 41.
- 23 CARROLL, B. W.; OSTLIE, D. A. *An Introduction to Modern Astrophysics*. [S.l.]: Pearson Education International, 2006. Citado na página 44.
- 24 MANCHESTER, R. N.; TAYLOR, J. H. *Pulsars*. [S.l.]: W. H. Freeman, 1977. Citado na página 46.
- 25 STINEBRING, D. R.; SMIRNOVA, T. V. Dispersion measure. In: *Handbook of Pulsar Astronomy*. Cham: Springer, 2018. p. 17–32. Citado na página 46.
- 26 WEISBERG, J. M.; TAYLOR, J. H. The relativistic binary pulsar b1913+16. In: _____. *Binary Radio Pulsars*. Dordrecht: Springer, 2005. p. 25–62. Citado na página 47.
- 27 LORIMER, D. R.; KRAMER, M. *Handbook of pulsar astronomy*. Cambridge: Cambridge University Press, 2012. 5 p. Citado na página 48.
- 28 HARRIS, A. W. The importance of telescopes for astronomy. *Nature Astronomy*, v. 1, n. 1, p. 1–5, 2017. Citado na página 65.
- 29 TAYLOR, J. H.; HULSE, R. A. The discovery of a pulsar in a binary system. *Nature*, v. 283, n. 5742, p. 746–749, 1980. Citado na página 65.
- 30 LATTIMER, J. M.; PRAKASH, M. The equation of state of dense matter and neutron stars. *Physics Reports*, v. 621, p. 127–164, 2016. Citado na página 65.
- 31 KAPLAN, D. L. The puzzling pulsar population. *Physics Today*, v. 61, n. 9, p. 24–29, 2008. Citado na página 65.

-
- 32 JOHNSTON, S.; KARASTERGIOU, A. Pulsar astronomy beyond the discovery era. *Proceedings of the International Astronomical Union*, v. 13, n. S337, p. 27–36, 2017. Citado na página 66.
- 33 BATES, S. D.; LORIMER, D. R.; VERBIEST, J. P. The parkes pulsar timing array project. *Publications of the Astronomical Society of Australia*, v. 30, p. e017, 2013. Citado na página 66.