



UnB



SOCIEDADE BRASILEIRA DE FÍSICA

MNPEF Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
INSTITUTO DE FÍSICA**

MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

POLO 01

**DOS LEDS AOS PULSARES: UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA
IMERSIVA PARA O ENSINO DE FÍSICA E ASTROFÍSICA NO
ENSINO FUNDAMENTAL E MÉDIO**

Lucas Ferreira

Brasília - DF
2025

Lucas Ferreira

**DOS LEDS AOS PULSARES: UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA
IMERSIVA PARA O ENSINO DE FÍSICA E ASTROFÍSICA NO ENSINO
FUNDAMENTAL E MÉDIO**

Dissertação apresentada ao Polo 01 do Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física da Universidade de Brasília como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física. Área de concentração: Física na Educação Básica.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Vanessa Carvalho de Andrade

Brasília - DF
2025

Lucas Ferreira

Dos Leds aos Pulsares: Uma Sequência Didática Imersiva para o Ensino de Física e Astrofísica no Ensino Fundamental e Médio

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação do Instituto de Física da Universidade de Brasília - UnB no Curso de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF) como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Aprovada por:

Banca Examinadora

Vanessa Carvalho de Andrade – Presidente – Membro interno – Titular
(Universidade de Brasília - UnB/IF/MNPEF)

Fábio Ferreira de Monteiro – Membro Interno – Titular
(Universidade de Brasília - UnB/IF/MNPEF)

Luiz Antonio Ribeiro Junior – Membro Suplente Interno – Suplente
(Universidade de Brasília - UnB/IF/CIFMC)

Glauco Cohen Ferreira Pantoja – Membro Externo – Titular
(Universidade Federal do Oeste do Pará - UFOPA)

Claudio Rejane da Silva Dantas – Membro Externo – Suplente
(Universidade Regional do Cariri - URCA)

Brasília, 5 de fevereiro de 2025

FICHA CATALOGRÁFICA

Ferreira, Lucas

Dos Leds aos Pulsares: Uma Sequência Didática Imersiva para o Ensino de Física e Astrofísica no Ensino Fundamental e Médio / Lucas Ferreira; Orientadora Vanessa Carvalho de Andrade. Brasília - DF: UnB/IF, 2024. 237 p.

Dissertação de Mestrado – Curso de Física. Área de Ensino de Física – Universidade de Brasília. 2025.

1. Pulsar. 2. Circuito LED. 3. Ensino de Astronomia. 4. Ensino de Física. 5. Eletrônica. I. Universidade de Brasília. II. Andrade, Vanessa, orient. III. Dos Leds aos Pulsares: Uma Sequência Didática Imersiva para o Ensino de Física e Astrofísica no Ensino Fundamental e Médio

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

RESUMO

DOS LEDS AOS PULSARES: UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA IMERSIVA PARA O ENSINO DE FÍSICA E ASTROFÍSICA NO ENSINO FUNDAMENTAL E MÉDIO

Lucas Ferreira e Prof.^a Dr.^a Vanessa Carvalho de Andrade

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação Universidade de Brasília (UnB) no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Cada vez mais, as tecnologias estão presentes nas salas de aula e no ambiente escolar. A presença do *smartphone* em sala de aula já é uma realidade para muitas escolas do Brasil e do mundo. Com o acesso a experimentos interativos em sala de aula, simulações, imagens, vídeos, *softwares* e componentes eletrônicos, os estudantes podem explorar conceitos complexos, compreender processos e encarar o universo de maneira prática e inspiradora. Neste trabalho partiremos da funcionalidade de circuitos eletrônicos simples, como um circuito LED *blinker*, para relacionar com conceitos astronômicos e astrofísicos de pulsares, técnicas de detecção e radioastronomia. O enfoque do trabalho está na apresentação de um experimento interativo, acessível e de baixo custo, para o ensino de astronomia e astrofísica através de componentes eletrônicos, uso de *smartphones*, análise de dados a partir de *softwares* livres e utilização de uma simulação 3D sobre pulsares. Trata-se da proposta de uma sequência didática imersiva que busca envolver ativamente os estudantes no processo experimental, de forma que consigam relacionar os conteúdos escolares com a investigação e resolução de problemas em situações reais. A SD “Dos LEDs aos Pulsares” foi dividida em 5 momentos e sua aplicação ocorreu em um período de 3 semanas, em duas etapas, uma no ensino médio ao final do segundo semestre de 2023, outra no ensino fundamental no segundo semestre de 2024, contando com uma população de estudo de 33 estudantes. A análise dos dados desta pesquisa foi conduzida seguindo os preceitos metodológicos estabelecidos por Bardin (2004), com foco na análise de conteúdo. Para a construção dos dados utilizou-se dois instrumentos: questionários, respondidos pelos estudantes durante o trabalho; documentos produzidos pelos estudantes durante a pesquisa e o diário de campo produzido pelo pesquisador. Por fim, a SD “Dos LEDs aos Pulsares” demonstrou ser uma abordagem potencialmente inovadora e eficaz para o Ensino de Física, Astronomia e Astrofísica nos anos finais do ensino fundamental e no ensino médio, pois foi capaz de promover uma experiência de aprendizagem significativa e imersiva aos estudantes.

Palavras-chave: Pulsar; Circuito LED; Ensino de Astronomia; Ensino de Astrofísica; Eletrônica.

ABSTRACT

FROM LEDS TO PULSARS: AN IMMERSIVE DIDACTIC SEQUENCE FOR TEACHING PHYSICS AND ASTROPHYSICS IN ELEMENTARY AND HIGH SCHOOL

Lucas Ferreira and Prof. Dr. Vanessa Carvalho de Andrade

Master's Dissertation submitted to the Graduate Program of the University of Brasília (UnB) in the Professional Master's in Physics Teaching (MNPEF), as part of the requirements for obtaining the degree of Master in Physics Teaching.

Technologies are increasingly present in classrooms and school environments. The use of *smartphones* in the classroom is already a reality for many schools in Brazil and worldwide. Through access to interactive experiments, simulations, images, videos, *software*, and electronic components, students can explore complex concepts, understand processes, and engage with the universe in practical and inspiring ways. This work uses the functionality of simple electronic circuits, such as an LED *blinker* circuit, to relate to astronomical and astrophysical concepts of pulsars, detection techniques, and radio astronomy. The focus of this work is on presenting an interactive, accessible, and low-cost experiment for teaching astronomy and astrophysics through electronic components, *smartphone* use, data analysis using free *software*, and a 3D pulsar simulation. The proposal consists of an immersive didactic sequence that actively involves students in the experimental process, enabling them to connect school content with real-world problem investigation and resolution. The DS "From LEDs to Pulsars" was divided into 5 stages and implemented over 3 weeks in two phases: one in high school at the end of the second semester of 2023, and another in middle school in the second semester of 2024, with a study population of 33 students. Data analysis was conducted following the methodological principles established by Bardin (2004), focusing on content analysis. Data collection utilized two instruments: questionnaires completed by students during the work, documents produced by students during the research, and the researcher's field diary. Finally, the DS "From LEDs to Pulsars" proved to be a potentially innovative and effective approach for teaching Physics, Astronomy, and Astrophysics in the final years of middle school and high school, as it successfully promoted a significant and immersive learning experience for students.

Keywords: Pulsar; LED Circuit; Astronomy Education; Astrophysics Education; Electronics.

LISTA DE FIGURAS

| | | |
|-----------|---|----|
| Figura 1 | Estrutura e características de um pulsar..... | 41 |
| Figura 2 | Imagem real em raio-x do Pulsar da Vela..... | 42 |
| Figura 3 | Diagrama do ciclo de vida estelar..... | 42 |
| Figura 4 | Colagem da Jocelyn Bell e a descoberta do pulsar CP1919..... | 45 |
| Figura 5 | Ilustração da detecção do PSR J0250+5854..... | 46 |
| Figura 6 | Espectro eletromagnético e suas aplicações no cotidiano..... | 47 |
| Figura 7 | Simulador interativo “Electromagnetic Waves”..... | 47 |
| Figura 8 | Por dentro de um pulsar..... | 49 |
| Figura 9 | Estrutura interna de um pulsar..... | 50 |
| Figura 10 | Comparação do tamanho de uma estrela de nêutrons..... | 53 |
| Figura 11 | Representação em 2D do campo magnético de um pulsar..... | 55 |
| Figura 12 | Representação em 3D do campo magnético de um pulsar..... | 55 |
| Figura 13 | Representação dos hot spots observados pelo NICER..... | 58 |
| Figura 14 | Representação genérica de um circuito LED <i>blinker</i> | 59 |
| Figura 15 | Circuito LED <i>blinker</i> utilizado para o experimento..... | 61 |
| Figura 16 | Simulação do circuito LED <i>blinker</i> no Tinkercad..... | 61 |
| Figura 17 | Foto do funcionamento do circuito LED <i>blinker</i> | 62 |
| Figura 18 | Guia rápido “Como montar um Circuito LED <i>blinker</i> em 6 passos”..... | 63 |
| Figura 19 | Captura da tela inicial do <i>software</i> livre <i>Tracker</i> | 64 |
| Figura 20 | Ferramenta de Dados do <i>software</i> livre <i>Tracker</i> | 66 |
| Figura 21 | Propriedades básicas de uma onda..... | 66 |
| Figura 22 | Representação do pulso de um pulsar com o circuito LED <i>blinker</i> | 67 |
| Figura 23 | Dados da Tabela 2 inseridos na área de comando do ChatGPT..... | 68 |
| Figura 24 | Resposta realizada pelo ChatGPT..... | 68 |
| Figura 25 | Cálculo da frequência realizado pelo ChatGPT..... | 69 |
| Figura 26 | Exemplo de parte do código Javascript da simulação Pulsar 3D..... | 72 |
| Figura 27 | Tela do simulador Pulsar 3D..... | 73 |
| Figura 28 | Dispositivos e responsividade do simulador Pulsar 3D..... | 74 |
| Figura 29 | Plano de aula e atividades a partir do uso da simulação Pulsar 3D..... | 75 |
| Figura 30 | Controle da simulação Pulsar 3D através de um tablet em tempo real... | 76 |
| Figura 31 | Uso da simulação Pulsar 3D durante uma feira de ciências bilíngue..... | 71 |
| Figura 32 | Apresentações de slides elaboradas pelos estudantes do 8º ano..... | 81 |

| | | |
|-----------|--|-----|
| Figura 33 | Apresentações de slides elaboradas pelos estudantes do 9º ano..... | 82 |
| Figura 34 | Montagem dos circuitos LED <i>blinker</i> na sala <i>maker</i> | 82 |
| Figura 35 | Análise dos vídeos gravados com o <i>smartphone</i> no <i>Tracker Online</i> | 84 |
| Figura 36 | Esquema das etapas da Análise de Conteúdo..... | 89 |
| Figura 37 | Mapa mental dos processos e relações envolvidas no experimento..... | 90 |
| Figura 38 | Estudante realizando a captura de vídeo com o <i>smartphone</i> | 93 |
| Figura 39 | Atividade enviada por um estudante da 2ª série do ensino médio..... | 94 |
| Figura 40 | Tela do ChatGPT enviado por um estudante do ensino médio..... | 96 |
| Figura 41 | Disposição dos componentes na placa Arduino e protoboard..... | 147 |
| Figura 42 | Simulação do circuito LED <i>blinker</i> na plataforma TinkerCad..... | 148 |
| Figura 43 | Diagrama esquemático do circuito LED <i>blinker</i> para Arduino..... | 149 |
| Figura 44 | Interface da página web Arduino Cloud..... | 149 |
| Figura 45 | Conexão da placa Arduino Uno em um notebook comum..... | 150 |
| Figura 46 | Janela de seleção do tipo de placa Arduino..... | 151 |
| Figura 47 | Funcionamento do circuito LED <i>blinker</i> na Arduino Uno..... | 152 |
| Figura 48 | Esboço para impressão 3D do experimento “Pulsar 3D”..... | 153 |
| Figura 49 | Proposta de projeto multidisciplinar referente à SD..... | 154 |
| Figura 50 | Modelo do TCLE utilizado na pesquisa, página 1..... | 155 |
| Figura 51 | Modelo do TCLE utilizado na pesquisa, página 2..... | 155 |
| Figura 52 | Ilustração científica de um pulsar..... | 220 |
| Figura 53 | Simulador de pulsares desenvolvido pelo NAAP Labs..... | 220 |
| Figura 54 | Estados de emissão observados do pulsar PSR B0943+10..... | 221 |
| Figura 55 | Poster para impressão da Jocelyn Bell..... | 222 |
| Figura 56 | Ilustração em aquarela para uso didático da Jocelyn Bell..... | 223 |
| Figura 57 | Ilustração para uso didático da Jocelyn Bell..... | 223 |

LISTA DE GRÁFICOS

| | | |
|------------|---|-----|
| Gráfico 1 | Gráfico de pizza sobre o conhecimento dos pulsares (1)..... | 99 |
| Gráfico 2 | Gráfico de pizza sobre a compreensão dos pulsares (1)..... | 99 |
| Gráfico 3 | Gráfico de pizza sobre o uso do ChatGPT (1)..... | 100 |
| Gráfico 4 | Gráfico de pizza sobre o rendimento do uso do ChatGPT (1)..... | 100 |
| Gráfico 5 | Gráfico de pizza sobre o uso do programa <i>Tracker</i> (1)..... | 101 |
| Gráfico 6 | Gráfico de pizza sobre a representação do LED (1)..... | 101 |
| Gráfico 7 | Gráfico de barras sobre o processamento de vídeos no <i>Tracker</i> (1).... | 102 |
| Gráfico 8 | Gráfico de barras sobre o uso de IA em sala de aula (1)..... | 102 |
| Gráfico 9 | Gráfico de barras sobre o funcionamento do circuito LED <i>blinker</i> (1)... | 103 |
| Gráfico 10 | Gráfico de barras sobre a motivação em estudar Física (1)..... | 103 |
| Gráfico 11 | Gráfico de barras comparativo geral sobre a SD e experimento (1)..... | 104 |
| Gráfico 12 | Gráfico de barras comparativo geral sobre a SD e experimento (2)..... | 111 |
| Gráfico 13 | Gráfico de pizza sobre o conhecimento dos pulsares (2)..... | 112 |
| Gráfico 14 | Gráfico de pizza sobre a compreensão dos pulsares (2)..... | 112 |
| Gráfico 15 | Gráfico de pizza sobre o interesse em Astrofísica e pulsares..... | 113 |
| Gráfico 16 | Gráfico de pizza sobre a motivação em estudar Física (2)..... | 113 |
| Gráfico 17 | Gráfico de pizza sobre o uso do ChatGPT (2)..... | 114 |
| Gráfico 18 | Gráfico de pizza sobre o rendimento do uso do ChatGPT (2)..... | 114 |
| Gráfico 19 | Gráfico de pizza sobre o uso de IA em sala de aula (2)..... | 115 |
| Gráfico 20 | Gráfico de pizza sobre o uso do programa <i>Tracker</i> (2)..... | 115 |
| Gráfico 21 | Gráfico de pizza sobre análise os dados no <i>Tracker</i> (2)..... | 116 |
| Gráfico 22 | Gráfico de pizza sobre o processamento de vídeos no <i>Tracker</i> (2)..... | 116 |
| Gráfico 23 | Gráfico de pizza sobre o funcionamento do circuito LED <i>blinker</i> (2).... | 117 |
| Gráfico 24 | Gráfico de pizza sobre a representação do LED (2)..... | 117 |

LISTA DE QUADROS

| | | |
|----------|---|-----|
| Quadro 1 | Objetos de conhecimento, fenômenos dos pulsares e sua detecção..... | 29 |
| Quadro 2 | Temas das apresentações dos grupos do 8º e 9º ano..... | 80 |
| Quadro 3 | Estrutura geral da sequência didática e experimento..... | 80 |
| Quadro 4 | Perguntas da atividade avaliativa sobre o documentário..... | 81 |
| Quadro 5 | Respostas abertas dos estudantes da 2ª série (1)..... | 105 |
| Quadro 6 | Respostas abertas dos estudantes da 2ª série (2)..... | 106 |
| Quadro 7 | Respostas abertas dos estudantes do 8º e 9º ano (1)..... | 118 |
| Quadro 8 | Respostas abertas dos estudantes do 8º e 9º ano (2)..... | 123 |

LISTA DE TABELAS

| | | |
|----------|---|----|
| Tabela 1 | Número de dissertações relacionadas aos temas desta pesquisa..... | 33 |
| Tabela 2 | Dados de tempo e brilho do LED..... | 67 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|----------|---|
| CDT: | Centro de Desenvolvimento Tecnológico |
| CIAA: | Curso de Introdução à Astronomia e Astrofísica |
| CIAEF: | Conferência Inter-Americana de Ensino de Física |
| CTS: | Ciência, Tecnologia e Sociedade |
| CTSA: | Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente |
| EM: | Espectro Eletromagnético |
| FC: | Física Clássica |
| FM: | Física Moderna |
| INPE: | Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais |
| LED: | Diodo Emissor de Luz (do inglês <i>Light Emitting Diode</i>) |
| LOFAR: | Antenas de Baixa Frequência (do inglês <i>Low-Frequency Array</i>) |
| MRAO: | Observatório de Radioastronomia Mullard |
| NAAP: | Projeto de Astronomia Applet de Nebraska (do inglês <i>Nebraska Astronomy Applet Project</i>) |
| NASA: | Agência Espacial Norte-Americana |
| NICER: | Explorador da Composição Interior de Estrelas de Nêutrons (do inglês <i>Neutron Star Interior Composition Explorer</i>) |
| NUPITEC: | Núcleo de Propriedade Intelectual |
| PULSAR: | Fonte de Rádio Pulsante (do inglês <i>Pulsating Radio Source</i>) |
| SD: | Sequência Didática |
| UnB: | Universidade de Brasília |
| RGB: | Vermelho, verde e azul (do inglês <i>Red, Green, Blue</i>) |

SUMÁRIO

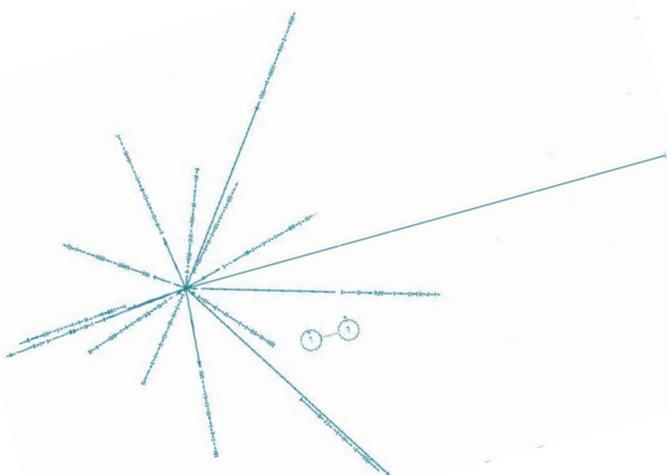
| | |
|--|-----|
| 1 INTRODUÇÃO..... | 17 |
| 2 REFERENCIAL TEÓRICO..... | 22 |
| 2.1 TEORIA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA DE GOWIN..... | 22 |
| 2.2 ENSINO POR INVESTIGAÇÃO..... | 23 |
| 2.3 A ANÁLISE DE CONTEÚDO DE LAURENCE BARDIN..... | 25 |
| 2.4 ENSINO DE ASTRONOMIA E ASTROFÍSICA..... | 27 |
| 2.5 EXPERIMENTOS INTERATIVOS E TECNOLOGIAS EM SALA DE AULA..... | 30 |
| 2.6 TICS, CTSA E O USO DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL EM SALA DE AULA..... | 32 |
| 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA..... | 35 |
| 4 DEFINIÇÃO, HISTÓRIA E FÍSICA DOS PULSARES..... | 43 |
| 4.1 DETECTANDO OS PULSARES..... | 43 |
| 4.2 FÍSICA DOS PULSARES..... | 51 |
| 4.2.1 Como é formado um pulsar?..... | 51 |
| 4.2.2 Composição e estrutura de um pulsar..... | 51 |
| 4.2.3 Massa e densidade de um pulsar..... | 54 |
| 4.2.4 Campo magnético de um pulsar..... | 57 |
| 5 RECURSOS EDUCACIONAIS..... | 62 |
| 5.1 MONTANDO O CIRCUITO LED <i>BLINKER</i> | 62 |
| 5.2 O <i>SOFTWARE TRACKER ONLINE</i> E ANÁLISE DE VÍDEO..... | 67 |
| 5.3 SIMULAÇÃO INTERATIVA PULSAR 3D..... | 73 |
| 6 SEQUÊNCIA DIDÁTICA E PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS..... | 81 |
| 7 ANÁLISE E DISCUSSÃO..... | 88 |
| 7.1 METODOLOGIA DE ANÁLISE..... | 88 |
| 7.2 APRESENTAÇÃO DOS DADOS E APONTAMENTOS..... | 94 |
| 7.3 PRÉ-ANÁLISE..... | 129 |
| 7.4 EXPLORAÇÃO DO MATERIAL..... | 130 |
| 7.5 TRATAMENTO DOS RESULTADOS, INFERÊNCIA E INTERPRETAÇÃO..... | 131 |
| 7.5.1 Engajamento e motivação..... | 131 |
| 7.5.2 Compreensão de conceitos..... | 132 |
| 7.5.3 Percepção sobre tecnologias educacionais..... | 133 |
| 7.5.4 Multidisciplinaridade..... | 135 |
| 7.5.5 Desafios e limitações..... | 136 |

| | |
|---|-----|
| 7.5.6 Perspectiva CTSA..... | 137 |
| 7.6 PERCEPÇÕES E PERSPECTIVAS..... | 138 |
| 8 CONSIDERAÇÕES FINAIS..... | 141 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 141 |
| APÊNDICE A - MONTAGEM DO CIRCUITO LED <i>BLINKER</i> COM O ARDUINO..... | 150 |
| APÊNDICE B - INSTRUMENTO DE COLETA..... | 156 |
| APÊNDICE C - MODELO PARA IMPRESSÃO 3D..... | 157 |
| APÊNDICE D - PROPOSTA DE PROJETO MULTIDISCIPLINAR..... | 158 |
| APÊNDICE E - TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO..... | 159 |
| APÊNDICE F - PRODUTO EDUCACIONAL “DOS LEDS AOS PULSARES”..... | 161 |
| ANEXOS..... | 232 |



“Quem somos nós? Descobrimos que vivemos num planeta insignificante de uma estrela monótona perdida numa galáxia escondida em algum canto esquecido de um Universo em que há muito mais galáxias do que pessoas”.

Carl Sagan, 1992.



1 INTRODUÇÃO

Cada vez mais, as tecnologias estão presentes nas salas de aula e no ambiente escolar. A presença do *smartphone* em sala de aula já é uma realidade para muitas escolas do Brasil e do mundo. As novas tecnologias e modelos de linguagem gerados através de inteligência artificial, estão garantindo espaço no mercado e também na educação, além do uso de aplicativos gratuitos para *smartphones* e *softwares* livres¹. Nesse contexto, é importante que os professores e profissionais da área da educação acompanhem e dominem as inovações tecnológicas (BITTENCOURT; ALBINO, 2017; ANDRADE, 2011).

De acordo com Moreira (2018), o ensino de Física praticado na atualidade é desatualizado no que se refere a conteúdos e tecnologias. A metodologia ensinada nas escolas ainda privilegia as aulas expositivas, o ensino focado no papel do docente e a aprendizagem mecânica, priorizando os conteúdos discutidos na Física Clássica (FC) em detrimento aos da Física Moderna (FM).

Esse cenário pode estar ligado ao número expressivo de licenciandos e profissionais da área de Física que não tiveram contato suficiente com conteúdos de Física Moderna e Contemporânea durante sua formação. Consequentemente, professores recém-formados ou em exercício são desencorajados a adotar essas temáticas em seus planejamentos, projetos e aulas, devido à necessidade de um estudo aprofundado adicional, além das demandas escolares rotineiras. Esse cenário contribui para que os docentes permaneçam na zona de conforto, repetindo conteúdos, atividades e projetos implementados anteriormente (MACÊDO, 2022). Segundo Langhi e Nardi (2022) esse cenário também pode estar relacionado à carga horária insuficiente dos professores, que se constitui como um obstáculo enfrentado, e, nessa perspectiva quem sai perdendo, de fato, são os estudantes.

Recentemente algumas abordagens de conteúdos, estratégias e recursos pedagógicos em astrofísica, no ensino médio, têm sido implementados em diversos locais, universidades e escolas do Brasil, por meio de teses, dissertações, trabalhos de conclusão de curso, artigos, materiais didáticos, sequências didáticas, estágios

¹ *Softwares* livres: são programas de computador cujo código-fonte é disponibilizado para o público em geral, permitindo que qualquer pessoa possa visualizar, modificar, distribuir e usar o *software* de acordo com suas necessidades. O *software* livre promove a colaboração, a transparência e a democratização do conhecimento entre usuários e desenvolvedores.

supervisionados, etc. (FREITAS *et al.*, 2020; VIEIRA, 2022; MACÊDO, 2022; ALVES, 2019, MAGRON *et al.* 2022). Trabalhos como a abordagem de astronomia e astrofísica estelar para o ensino médio, ressaltam a possibilidade de aplicação e potencialidade em se abordar tais conteúdos relacionados à astrofísica na escola.

Para Fontes *et al.* (2019a; 2019b), além de problemas na infraestrutura da escola, na carga horária e na formação do professor, há de se analisar que, apesar de as pessoas estarem permanentemente em contato com tecnologias cada vez mais avançadas em seus ambientes de convivência, vivendo e atuando nesta realidade como cidadãos participativos, atualizados e com grande capacidade para aprender, a escola não tem conseguido aderir ao uso das tecnologias no mesmo ritmo.

A partir desse cenário entende-se que a incorporação de novas tecnologias em sala de aula pode desempenhar um papel importante na transformação do processo de ensino-aprendizagem (SCHIVANI *et al.*, 2017), permitindo um maior envolvimento dos estudantes.

Além de proporcionar aos estudantes um ambiente mais envolvente, dinâmico e engajador, a utilização de recursos acessíveis e de baixo custo são capazes de alavancar a democratização da educação, tornando-a mais inclusiva. Quando aplicamos esse conceito ao ensino de física e astrofísica, as possibilidades se tornam ainda mais interessantes.

Com o acesso a experimentos interativos em sala de aula, simulações, imagens reais e fotografias, vídeos, *softwares* e componentes eletrônicos, por exemplo, os estudantes podem explorar conceitos complexos, compreender processos e encarar o universo de maneira prática e inspiradora. O uso dessas ferramentas não apenas enriquece o entendimento dos objetos de conhecimento (conteúdos, conceitos e processos), mas também instiga a curiosidade, estimula o pensamento crítico e prepara os estudantes para os desafios de um cenário cada vez mais tecnológico, dinâmico e fluido.

Nesta pesquisa, o referencial teórico constitui-se de abordagens interdisciplinares que fundamentam a investigação sobre práticas pedagógicas inovadoras no ensino de Física. A teoria educacional de Gowin (Seção 2.1) traz a compreensão da relação triádica entre professor, materiais educativos e estudante na construção do conhecimento, bem como a importância do compartilhamento de significados no processo de ensino-aprendizagem. A metodologia de Ensino por Investigação (Seção 2.2) é explorada como uma estratégia que promove o

protagonismo dos estudantes e a construção ativa do conhecimento científico. A análise de conteúdo de Laurence Bardin (Seção 2.3) fornece ferramentas metodológicas para a interpretação de dados qualitativos, especialmente no contexto dos dados coletados ao longo da sequência didática. Já o ensino de Astronomia e Astrofísica (Seção 2.4) destaca-se como base teórica, que auxiliou nas estratégias e na delimitação dos temas propostos, especialmente no âmbito inter e multidisciplinar. A integração de experimentos interativos e tecnologias em sala de aula (Seção 2.5) é investigada como forma de engajar os estudantes de forma contextualizada e relevante, enquanto o uso das Tecnologias de Informação e Comunicação (TICs), aliadas às abordagens CTSA (Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente) e à Inteligência Artificial (Seção 2.6), aponta para o potencial de inovação e relevância no âmbito do ensino de Física.

Diante do cenário educacional em que o ensino de Física enfrenta desafios relacionados à atualização metodológica e tecnológica, surge a necessidade de explorar abordagens inovadoras que promovam o protagonismo dos estudantes e a contextualização dos conteúdos escolares, especialmente os de ensino de astrofísica e astronomia. Nesse contexto, experimentos interativos que utilizam circuitos eletrônicos simples, como o circuito LED *blinker*, em conjunto com recursos acessíveis como *smartphones* e *softwares* livres, oferecem uma alternativa viável para o ensino de astronomia e astrofísica. Esses recursos têm o potencial de tornar o processo de ensino-aprendizagem mais dinâmico e significativo, ao conectar os estudantes com fenômenos reais e instigar a investigação científica em sala de aula. Assim, esta pesquisa busca responder à seguinte pergunta: Como a utilização de experimentos interativos baseados em circuitos eletrônicos simples, aliados ao uso de *smartphones* e *softwares* livres, pode contribuir para o ensino de conceitos de astronomia e astrofísica no ensino fundamental e médio, e promover a contextualização dos conteúdos escolares e o engajamento dos estudantes no processo de ensino-aprendizagem?

Como objetivo geral buscamos:

- Desenvolver e aplicar uma sequência didática que utilize circuitos eletrônicos simples, como o circuito LED *blinker*, *smartphones*, *softwares* livres e análise de vídeo, para explorar conceitos relacionados a pulsares, radioastronomia e técnicas de detecção no ensino fundamental e médio.

Já os objetivos específicos estão compreendidos em:

- Avaliar o impacto do uso de experimentos interativos e recursos tecnológicos, como *smartphones* e *softwares* livres, na compreensão conceitual e no engajamento dos estudantes;
- Analisar a percepção dos estudantes e professores sobre a relevância e a aplicabilidade dos conceitos abordados na proposta didática;
- Identificar as possibilidades e os desafios de integrar tecnologias acessíveis e de baixo custo ao ensino de astronomia e astrofísica em sala de aula;
- Contribuir para a construção de práticas pedagógicas inovadoras e interdisciplinares que relacionem conteúdos escolares de Física a situações reais e atuais.

Na Revisão Bibliográfica (Capítulo 3), são apresentadas as bases teóricas que sustentam esta pesquisa, com ênfase no ensino de Física por investigação, no uso de tecnologias educacionais e na relevância da abordagem de astronomia e astrofísica no ensino médio. São discutidos estudos anteriores que exploram estratégias didáticas interativas, tecnologias acessíveis e metodologias inovadoras, situando a pesquisa no contexto atual da área de ensino de Ciências.

O Capítulo 4, Definição, História e Física dos Pulsares, explora os fundamentos científicos relacionados aos pulsares. Inicialmente, discute como esses objetos foram detectados e as tecnologias empregadas para sua descoberta e análise (Seção 4.1). Em seguida, aborda os principais conceitos de Física dos pulsares (Seção 4.2), incluindo sua formação, composição, estrutura, massa, densidade e os efeitos de seus intensos campos magnéticos. Este capítulo fornece o embasamento científico necessário para relacionar os fenômenos astrofísicos com as atividades didáticas propostas.

No Capítulo 5, Recursos Educacionais, são descritos os materiais e ferramentas utilizados na implementação da proposta didática. A montagem de um circuito eletrônico simples, o LED *blinker*, é detalhada na Seção 5.1, destacando sua funcionalidade e conexão com os conceitos de pulsares. Na Seção 5.2, é apresentada a utilização do *software Tracker Online* para análise de vídeos, permitindo uma abordagem prática e investigativa. Além disso, a Seção 5.3 explora o uso de uma simulação interativa em 3D, que permite aos estudantes visualizar e compreender características dos pulsares de maneira dinâmica e envolvente.

A Sequência Didática e Procedimentos Metodológicos (Capítulo 6) descreve o planejamento e a execução da proposta didática em sala de aula. São apresentados os objetivos da sequência, as etapas de aplicação e os procedimentos metodológicos adotados para promover uma aprendizagem ativa e interdisciplinar. Este capítulo também detalha os critérios para coleta de dados, garantindo rigor e consistência na análise dos resultados.

O Capítulo 7, Análise e Discussão, apresenta os resultados obtidos e discute suas implicações no contexto do ensino de Física e Astrofísica. A Seção 7.1 explica a metodologia de análise utilizada, enquanto as subseções subsequentes organizam os dados coletados em diferentes dimensões: engajamento e motivação dos estudantes, compreensão de conceitos, percepção sobre o uso de tecnologias educacionais e possibilidades de multidisciplinaridade. Além disso, são discutidos os desafios e limitações enfrentados, bem como as implicações da abordagem CTSA (Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente). A análise culmina na Seção 7.6, com as percepções gerais e as perspectivas futuras da pesquisa.

Esse trabalho insere-se no campo das propostas didáticas construídas a partir de uma pluralidade metodológica, partindo da funcionalidade de circuitos eletrônicos simples, como um circuito LED *blinker*, para relacionar com conceitos astronômicos e astrofísicos de pulsares, técnicas de detecção e radioastronomia. O enfoque do trabalho está na proposta de um experimento interativo, acessível e de baixo custo, para o ensino de astronomia e astrofísica por meio de componentes eletrônicos, uso de *smartphones* e de *softwares* livres. Trata-se de investigar o potencial de uma proposta didática sobre noções básicas de astrofísica que busca envolver ativamente os estudantes no processo experimental, de forma que consigam relacionar os conteúdos escolares com a investigação e resolução de problemas em situações reais.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Teoria da Aprendizagem Significativa de Gowin

A teoria educacional de Bob Gowin oferece importantes contribuições para o ensino de Física, ao enfatizar que a construção do conhecimento ocorre através de uma tríade educativa entre professor, materiais educativos e estudante, mediada por eventos e significados compartilhados. Para Gowin, a aprendizagem significativa acontece quando há uma negociação bem-sucedida de significados entre estes três elementos, resultando na captação de significados por parte do estudante (MOREIRA, 2012).

Gowin (1981) enfatiza o papel fundamental da relação triádica no processo educativo, propondo que:

"... a relação entre professor e materiais educativos tem o propósito de estabelecer significados que devem ser compartilhados com o estudante. A relação entre professor e aluno tem por objetivo verificar se os significados captados são aqueles compartilhados pela comunidade científica. A relação entre materiais educativos e aluno é uma busca por significados" (GOWIN, 1981, p.83).

No contexto específico do ensino de Física, a perspectiva de Gowin sugere que a construção do conhecimento científico ocorre através de uma interação ativa entre os três elementos da tríade educativa. Os conceitos físicos são melhor compreendidos quando abordados através de materiais educativos adequados e significativos, mediados pelo professor em um processo de compartilhamento e negociação de significados com os estudantes.

Um conceito fundamental da teoria de Gowin particularmente relevante para o ensino de Física é o Vê epistemológico, também conhecido como Vê de Gowin, que representa uma ferramenta heurística para análise da estrutura do processo de produção do conhecimento. No ensino de Física, o Vê de Gowin pode ser utilizado para auxiliar os estudantes a compreenderem a natureza do conhecimento físico e como ele é construído, relacionando aspectos conceituais e metodológicos.

O Vê epistemológico, estruturado em domínio conceitual e domínio metodológico, permite aos estudantes visualizarem como teorias, princípios e conceitos da Física se relacionam com os métodos, transformações e registros

utilizados na construção do conhecimento físico. Esta ferramenta é particularmente útil em atividades experimentais e na resolução de problemas em Física, onde os estudantes precisam integrar teoria e prática.

A questão-foco, elemento central do Vê de Gowin, orienta a construção do conhecimento físico ao direcionar a atenção dos estudantes para os aspectos mais relevantes do fenômeno em estudo. No âmbito do ensino de Física, a formulação adequada de questões-foco auxilia os estudantes a estabelecerem conexões significativas entre conceitos teóricos e observações experimentais.

Os eventos e objetos, situados na base do Vê, representam os fenômenos físicos que serão estudados. Na perspectiva de Gowin, é fundamental que os estudantes compreendam a relação entre os eventos observados e as construções teóricas da Física, percebendo como o conhecimento científico emerge da interação entre pensamento e ação.

A linguagem científica, na teoria de Gowin, é vista como um elemento essencial para o compartilhamento de significados. O processo de captação de significados ocorre através da negociação entre professor e estudante, utilizando a linguagem própria da Física como instrumento de mediação. A apropriação da linguagem científica representa um indicador da compreensão conceitual alcançada pelo estudante.

Ao tratar do ensino de Física sob a perspectiva de Gowin, destaca-se que a aprendizagem não é uma simples recepção de conhecimentos, mas um processo ativo de captação e compartilhamento de significados. O conhecimento físico emerge da interação entre os três elementos da tríade educativa, mediada por materiais e eventos significativos. Os significados das leis, conceitos e teorias físicas são negociados e compartilhados através do uso de ferramentas como o Vê epistemológico, que auxilia na integração entre aspectos conceituais e metodológicos do conhecimento físico.

2.2 Ensino por investigação

O ensino por investigação tem se destacado como uma abordagem promissora no ensino de Física, permitindo que os estudantes desenvolvam não apenas conhecimentos conceituais, mas também habilidades procedimentais e epistêmicas essenciais para a compreensão da natureza da ciência (CARVALHO,

2013). Essa metodologia rompe com o ensino tradicional baseado na mera transmissão de conhecimentos, colocando o aluno como protagonista na construção de seu próprio aprendizado.

Segundo Carvalho e Sasseron (2015), o ensino por investigação proporciona aos estudantes a oportunidade de vivenciar práticas científicas autênticas, desenvolvendo capacidades como a elaboração de hipóteses, planejamento de investigações, coleta e análise de dados, e comunicação de resultados. No contexto específico da Física, essa abordagem permite que os alunos compreendam não apenas os conceitos físicos, mas também como estes são construídos e validados pela comunidade científica.

A implementação do ensino por investigação nas aulas de Física requer uma mudança significativa no papel do professor, que passa a atuar como mediador e orientador do processo investigativo. Desse modo, o docente deve criar situações-problema instigantes, fornecer materiais adequados e orientar os estudantes sem oferecer respostas prontas, estimulando assim o desenvolvimento do pensamento crítico e da autonomia (ZÔMPERO; LABURÚ, 2016).

Sobre o planejamento de atividades experimentais no ensino de física, visando as atividades investigativas, Albuquerque e Bicalho (2024) ressaltam que:

“é crucial que tais atividades sejam cautelosamente planejadas a fim de proporcionar aos alunos uma experiência próxima daquela vivenciada por cientistas, possibilitando sua participação ativa durante a construção do conhecimento, assumindo um papel de protagonismo. Uma alternativa é a proposição de atividades investigativas (ALBUQUERQUE; BICALHO, 2024, p. 1).

Nos documentos oficiais de educação, a influência do ensino por investigação se mostra presente, como por exemplo na Base Nacional Comum Curricular (BRASIL, 2018), que enfatiza a abordagem investigativa como sendo uma metodologia fundamental ao ensino de Ciências da Natureza e também de Física. Dessa forma, Albuquerque e Bicalho (2024) complementam que “os estudantes são estimulados a solucionar problemas, elaborar hipóteses e desenvolver conhecimento, desempenhando um papel ativo e protagonista em seu processo de aprendizagem”.

Além disso, Carvalho (2013) destaca que o docente deve criar situações-problema instigantes, fornecer materiais adequados e orientar os estudantes sem oferecer respostas prontas, estimulando assim o desenvolvimento do pensamento crítico e da autonomia.

As atividades investigativas em Física podem variar desde investigações estruturadas até investigações abertas, dependendo do nível de autonomia conferido aos estudantes. Azevedo (2004) argumenta que é fundamental que o professor considere o nível de familiaridade dos alunos com essa abordagem ao planejar as atividades, iniciando com investigações mais estruturadas e gradualmente aumentando o grau de abertura das mesmas.

Estudos empíricos têm demonstrado resultados positivos da aplicação do ensino por investigação nas aulas de Física. Pesquisas indicam que essa abordagem promove maior engajamento dos estudantes, melhor compreensão conceitual e desenvolvimento de habilidades científicas. Além disso, os alunos demonstram maior interesse pela Física quando têm a oportunidade de investigar fenômenos de maneira ativa e significativa (OSTERMANN; MOREIRA, 2000).

2.3 A análise de conteúdo de Laurence Bardin

A análise de conteúdo configura-se como um método fundamental para investigações científicas que buscam compreender, de forma sistemática e rigorosa, diferentes tipos de comunicação. Laurence Bardin, referência internacional neste campo, define a análise de conteúdo como sendo:

“...um conjunto de técnicas de análise das comunicações visando a obter, por procedimentos sistemáticos e objetivos de descrição do conteúdo das mensagens, indicadores que permitam a inferência de conhecimentos relativos às condições de produção/recepção destas mensagens” (BARDIN, 2004, p. 47).

A abordagem de Bardin propõe uma estruturação metodológica que transcende a simples interpretação descritiva, estabelecendo um processo analítico rigoroso dividido em três etapas fundamentais. Segundo Gaspi, Maron e Magalhães Júnior (2021), a análise de conteúdo se organiza em basicamente três tópicos:

- a) Pré-análise;
- b) Exploração do material;
- c) Tratamento dos resultados, a inferência e a interpretação.

A pré-análise é a fase de organização do material, em que o objetivo é sistematizar ideias iniciais esquematizando ações conseguintes e planejando de forma flexível. Na fase de pré-análise, o pesquisador realiza uma leitura flutuante do

material, formulando hipóteses iniciais e definindo corpus documental. Como destaca a própria autora, "a pré-análise é a fase de organização propriamente dita" (BARDIN, 2004, p. 125), constituindo o momento de sistematização das ideias iniciais.

A segunda, é feita após a pré-análise estar concluída. "Essa fase consiste essencialmente de operações de codificação, desconto ou enumeração, em função das regras previamente formuladas" (ALMEIDA, 2008, p.30). E a segunda, chamamos de abordagem metodológica – que se refere ao tipo de abordagem dos estudos selecionados, consideramos nessa categoria ainda os recursos didáticos utilizados.

Na terceira fase os resultados obtidos são tratados para serem significativos e válidos, permitindo interpretações. Também pode ocorrer que a confrontação sistemática com o material pode dar orientações para outras análises. Nesse trabalho, as etapas seguidas durante o processo de Análise de Conteúdo (BARDIN, 2004) estão representadas na Figura 36.

A dimensão interpretativa da análise de conteúdo ultrapassa a mera descrição textual, permitindo inferências profundas sobre os contextos de produção comunicacional. Bardin (2004) enfatiza que a análise não se limita ao conteúdo manifesto, mas busca compreender os sentidos latentes, as entrelinhas e os significados subjacentes aos discursos. Nesse sentido, o método proposto pela autora francesa representa uma abordagem que "oscila entre dois polos: o rigor da objetividade e a fecundidade da subjetividade" (BARDIN, 2004, p. 15).

As modalidades de análise propostas por Bardin são diversificadas, contemplando análise categorial, análise de avaliação, análise da enunciação, análise proposicional do discurso, entre outras. Cada modalidade oferece instrumentos específicos para diferentes tipos de investigação, permitindo que pesquisadores adaptem a metodologia conforme as particularidades de seus objetos de estudo. Franco (2005) complementa essa perspectiva, argumentando que a análise de conteúdo possibilita "captar não apenas o conteúdo manifesto, mas também os significados latentes" (FRANCO, 2005, p. 23), ampliando as possibilidades interpretativas.

Através da análise de conteúdo de Bardin (2004), é possível investigar diversos documentos, desde textos históricos até mensagens midiáticas, respostas de formulários, produções audiovisuais, *slides*, etc.

2.4 Ensino de Astronomia e Astrofísica

Diversos trabalhos acerca da abordagem de conteúdos, estratégias e recursos pedagógicos em astrofísica, no ensino médio, têm sido implementados em diversos locais, universidades e escolas do Brasil, através de teses, dissertações, trabalhos de conclusão de curso, artigos, materiais didáticos, sequências didáticas, estágios supervisionados, etc. (FREITAS *et al.*, 2020; VIEIRA, 2018; MACÊDO, 2022; ALVES, 2019). Trabalhos como a abordagem de astronomia e astrofísica estelar para o ensino médio (HORVATH, 2014) ressaltam a possibilidade de aplicação e potencialidade em se abordar tais conteúdos relacionados à astrofísica na escola. Outro trabalho e recurso em astrofísica desenvolvido, que exemplifica tal possibilidade de aplicação da astrofísica em sala de aula, é o guia de estudos “Astrofísica estelar para o Ensino Médio” (NAPOLEÃO, 2018), disponível em <http://www.astro.iag.usp.br/~guia/>, guia esse que pode ser utilizado pelos professores como referência e também como estratégia de avaliação através de atividades descritas nos próprios capítulos do guia.

Cursos de curta duração como o Curso de Introdução à Astronomia e Astrofísica (CIAA), desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), desempenham um papel importante na formação de professores e profissionais da educação básica, de diversas áreas, que participam dessa introdução e breve formação nos tópicos de astrofísica. Um material em PDF, elaborado pelo INPE, sobre astronomia e astrofísica pode ser baixado em <https://bit.ly/3uxyB0m>. Outro curso que desempenha papel importante na área de formação de professores e disponibilização de conteúdos na área de astrofísica, é o curso gratuito “Astrofísica para Todos” desenvolvido pelo professor Alexandre Zabot (UFSC), disponível em <https://astrofisica.ufsc.br/>.

Um número expressivo de licenciandos e profissionais da área de Física não tiveram contato suficiente com conteúdos de Física Moderna e Contemporânea durante sua formação. Esse déficit dificulta o desenvolvimento de disciplinas equivalentes no ensino superior e a compreensão de conteúdos de astrofísica. Conseqüentemente, professores recém-formados ou em exercício são desencorajados a adotar essas temáticas em seus planejamentos, projetos e aulas, devido à necessidade de um estudo aprofundado adicional, além das demandas escolares rotineiras. Esse cenário contribui para que os docentes permaneçam na

zona de conforto, repetindo conteúdos, atividades e projetos implementados anteriormente (MACÊDO, 2022).

A importância do estudo da astronomia e astrofísica no ambiente educacional, engloba tanto os benefícios quanto os desafios enfrentados pelos professores ao tentarem implementar tal temática em sala de aula. É observado que a curiosidade e o fascínio despertados nos estudantes, em relação aos corpos celestes e ao Universo, juntamente com a relação desses conteúdos com outras áreas da física e com a realidade dos estudantes, são fatores motivadores significativos. Embora uma pequena parcela dos professores de física, ou de ciências, incorporem conteúdos de astronomia e astrofísica em suas aulas, é importante destacar a persistente dificuldade relacionada à carga horária insuficiente dos professores, que continua a ser um obstáculo enfrentado e quem sai perdendo, de fato, são os estudantes (LANGHI; NARDI, 2022; MACÊDO, 2022).

Além disso, poder proporcionar aos estudantes um contato direto com conteúdos de astrofísica, pulsares, radioastronomia, astronomia observacional, componentes eletrônicos, circuitos, etc. através de metodologias *hands-on* e uso de tecnologias em sala de aula, é capaz de instigar e aguçar a curiosidade e a interação desses estudantes, nas diferentes etapas de ensino, tanto no ensino fundamental quanto no ensino médio. Além de capturar a atenção dos estudantes e potencializar a aprendizagem, envolver conteúdos em astrofísica quebra barreiras disciplinares e traz consigo novas experiências que transpassam as fronteiras da sala de aula, podendo se estender para pesquisas guiadas através do *smartphone*, livros, cursos *online*, vídeos no YouTube, documentários, séries, etc.

Os autores Pires e Peduzzi (2021) trazem uma extensa gama de trabalhos, ao realizarem uma pesquisa bibliográfica envolvendo os termos Jocelyn Bell, estrela de nêutrons, pulsar e radioastronomia. Esses trabalhos foram listados, tabelados e discutidos em detalhe. Dentre os trabalhos mencionados tem-se: periódicos, eventos científicos (simpósios, encontros e congressos), artigos científicos, teses de doutorado e dissertações de mestrado.

É percebido que a Base Nacional Comum Curricular (BNCC) se alinha aos temas de astronomia e astrofísica, através de unidades temáticas, por exemplo, no ensino fundamental anos finais é possível ver tal relação:

“Na unidade temática Terra e Universo, busca-se a **compreensão de características** da Terra, do Sol, da Lua **e de outros corpos celestes** – suas dimensões, composição, localizações, **movimentos** e forças que atuam entre eles. Ampliam-se **experiências de observação do céu**, do planeta Terra, particularmente das zonas habitadas pelo ser humano e demais seres vivos, bem como de **observação dos principais fenômenos celestes**” (BRASIL, 2018, p. 328).

Já nas unidades temáticas referentes ao ensino médio, atreladas aos conteúdos de astronomia e astrofísica, a BNCC se alinha da seguinte maneira:

“Em Matéria e Energia, no Ensino Médio, diversificam-se as situações-problema ... incluindo-se aquelas que permitem a aplicação de modelos com maior nível de abstração e que buscam explicar, **analisar e prever os efeitos das interações e relações entre matéria e energia** ... Em Vida, Terra e Cosmos ... propõe-se que os estudantes **analisem a complexidade dos processos relativos à origem e evolução** ... do planeta, **das estrelas e do Cosmos**, bem como a **dinâmica das suas interações** ... Isso implica, por exemplo, **considerar modelos** mais abrangentes ao explorar algumas aplicações das reações nucleares, **a fim de explicar processos estelares** ... e a **formação da matéria**” (BRASIL, 2018, p. 549).

A tabela a seguir representa os objetos de conhecimento alinhados à BNCC, relacionados ao fenômeno dos pulsares e sua detecção, com foco na astronomia e astrofísica. Engloba também, conteúdos relacionados ao experimento circuito LED *blinker*. Essa tabela serve como uma espécie de guia, uma referência para professores e profissionais da educação sobre os conteúdos possíveis de serem abordados em cada etapa educacional.

Quadro 1 - Objetos de conhecimento alinhados à BNCC relacionados ao fenômeno dos pulsares e sua detecção, com foco na astronomia e astrofísica.

| Etapa | Ano/Série | Objetos de conhecimento |
|--------------------|-----------|--|
| Ensino Fundamental | 8º ano | Gravidade; Força; Massa; Força gravitacional; Movimento de rotação; Cargas elétricas; Eletricidade; Energia; Modelos atômicos; Estrutura básica da matéria |
| | 9º ano | Evolução estelar; Estrutura e composição das estrelas; Espectro eletromagnético; Emissão e absorção de ondas; Ondas de rádio; Fontes de emissão de ondas eletromagnéticas; Objetos astronômicos; Distâncias estelares; Estrelas; Galáxias; Ordem de grandeza astronômica |

| | | |
|---------------------|-----------------|--|
| Ensino Médio | 1ª série | Forças; Velocidade; Aceleração; Força gravitacional; Movimento circular; Momento angular; Velocidade radial; Energia; Massa; Força; Força gravitacional; Gravidade; Movimento de rotação |
| | 2ª série | Comportamento ondulatório; Espectro eletromagnético; Partículas; Propriedades da luz; Fótons; Ondas de rádio; Interferência; Emissão e absorção de ondas; Fontes de emissão de ondas eletromagnéticas; Radiação |
| | 3ª série | Eletromagnetismo; Magnetismo; Campo magnético; Fluxo magnético; Eletricidade; Campo elétrico; Cargas elétricas; Circuito elétrico; Componentes eletrônicos; Partículas; Relatividade geral; Gravidade; Campo gravitacional |

Fonte: Autoria própria

As experiências relatadas na literatura demonstram que, quando implementada com suporte adequado de materiais e formação docente, tal abordagem estimula competências essenciais como o pensamento crítico, a alfabetização científica e a compreensão da natureza interdisciplinar do conhecimento. O estudo de fenômenos como pulsares, além de fascinar os estudantes, oferece um contexto fértil para a aplicação de conceitos físicos abstratos, proporcionando significado e relevância aos conteúdos que, de outra forma, poderiam permanecer desconectados da realidade dos estudantes.

2.5 Experimentos interativos e tecnologias em sala de aula

Para melhor compreender a proposta do experimento e os procedimentos metodológicos utilizados, faz-se importante definir o termo “experimento interativo”. Por isso, Fantinel e Ramos (2015) conceituam um experimento interativo como sendo:

“um experimento pronto, que ilustra determinado fenômeno que estamos estudando e que permite ao estudante participar do mesmo, interagindo e obtendo resultados condizentes com seus conhecimentos prévios, a serem ampliados com a fundamentação do tema proposto. A grande maioria dos experimentos conduzidos nas aulas de ciências são pouco interativos” (FANTINEL; RAMOS, 2015, p. 174).

Ainda assim, um experimento interativo pode ser entendido como uma atividade na qual os participantes têm a oportunidade de interagir diretamente com o experimento ou processo em questão. Em contextos científicos e educacionais, um experimento interativo envolve a participação ativa dos estudantes, permitindo que

eles manipulem variáveis, observem resultados e, muitas vezes, aprendam por meio da experiência prática (FANTINEL; RAMOS, 2015).

As tecnologias digitais têm transformado profundamente o cenário educacional contemporâneo, especialmente no ensino de Ciências e Física. Segundo Kenski (2014), as tecnologias não são apenas ferramentas pedagógicas, mas constituem-se como elementos que reorganizam o processo de aprendizagem, provocando mudanças significativas na forma como professores e estudantes interagem com o conhecimento. No contexto específico do ensino de Física, essas tecnologias podem potencializar a compreensão de conceitos abstratos e fenômenos complexos, permitindo o uso de simulações, vídeos, imagens, etc. que transcendem os limites tradicionais da sala de aula (KENSKI, 2014).

A integração de tecnologias no ensino de Física representa um campo fértil de investigação e implementação pedagógica. Bacich e Moran (2017) destacam que as metodologias ativas mediadas por tecnologias digitais podem promover uma aprendizagem mais significativa e contextualizada. Particularmente no ensino de Física, ferramentas como simuladores computacionais, aplicativos de modelagem e ambientes virtuais de aprendizagem possibilitam que os estudantes experimentem e manipulem conceitos físicos de forma interativa, superando as limitações das abordagens puramente expositivas e baseadas estritamente no livro didático (BACICH; MORAN, 2017).

As políticas públicas brasileiras têm reconhecido progressivamente a importância da inserção tecnológica no ambiente escolar. A Base Nacional Comum Curricular (BNCC) enfatiza a necessidade de desenvolver competências digitais nos estudantes, compreendendo as tecnologias como elementos essenciais para a formação integral dos sujeitos (BRASIL, 2018). No campo específico do ensino de Física, pesquisadores como Pietrocola (2003), Ponte (2000) e Beira e Nakamoto (2016) argumentam que as tecnologias podem funcionar como mediadoras fundamentais para a construção de conhecimentos científicos, permitindo que conceitos abstratos se tornem mais acessíveis e significativos para os estudantes.

A formação docente emerge como um elemento crítico para a efetiva implementação tecnológica no ensino. Estudos de cibercultura na educação por Lévy (2010) e o impacto de tecnologias na formação docente e em sala de aula por Kenski (2014) reforçam que não basta simplesmente inserir tecnologias nos ambientes educacionais; é fundamental que os professores desenvolvam competências para

utilizar de forma consciente e crítica esses recursos. No campo específico do ensino de Física, pesquisas como a de Coelho, Costa e Motta (2021) demonstram que professores com maior letramento digital tendem a desenvolver práticas pedagógicas mais inovadoras e significativas, capazes de aproximar os estudantes de compreensões mais sofisticadas sobre os fenômenos físicos.

Entretanto, é fundamental reconhecer os desafios e limitações dessa integração tecnológica. Trabalhos e levantamentos realizados por Moreira (2018) indicam que a simples presença de tecnologias não garante, por si só, uma melhoria nos processos de ensino-aprendizagem. É necessária uma abordagem crítica e pedagogicamente fundamentada, que compreenda as tecnologias em sua totalidade, especialmente como instrumentos potencializadores em busca de uma educação científica dinâmica e significativa.

2.6 TICS, CTSA e o uso de Inteligência Artificial em sala de aula

O uso crescente das tecnologias digitais tem transformado a sociedade em diversos aspectos, incluindo a forma como a educação é percebida e praticada. Tecnologias de informação e comunicação (TICs) têm desempenhado um papel vital na facilitação do acesso ao conhecimento, promovendo novas metodologias de ensino que se afastam do modelo tradicional expositivo, passivo e conteudista (PONTE, 2000; FARIAS, 2013; BEIRA; NAKAMOTO, 2016).

A integração de tecnologias digitais no ensino de ciências e astronomia proporciona uma abordagem mais interativa e engajadora, que pode ajudar a despertar o interesse dos estudantes e aprofundar sua compreensão dos conceitos científicos. Nesse contexto, o enfoque em Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente (CTSA) emerge como uma abordagem educacional relevante para conectar o conhecimento científico às questões sociais e ambientais, contribuindo para uma visão crítica e consciente das questões globais modernas (BOURSCHEID, 2014; PÉREZ; SIERRA, 2013).

Trabalhos recentes e pesquisas acerca do uso de modelos de linguagem gerados por inteligência artificial (ChatGPT, Gemini, Copilot, etc.) no contexto educacional apresentam diversas potencialidades, dentre elas: estão disponíveis 24h; podem ser utilizados dentro e fora da sala de aula; são de fácil acesso e uso auto direcionado; oferecem suporte personalizado, orientação e *feedback* para os

estudantes; aumentam a motivação e engajamento dos estudantes de forma significativa; se adaptam de acordo com as necessidades específicas de cada estudante e em cada conteúdo/tema; fornecem assistência ao longo do processo de aprendizagem (GÓES; PORTO, 2023; SANT'ANA *et al.*, 2023; GUIMARÃES *et al.*, 2023; SILVA *et al.*, 2023).

A incorporação da perspectiva CTSA (Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente) no Ensino de Astronomia e Astrofísica oferece um terreno fértil para reflexões críticas sobre as relações entre produção científica, desenvolvimento tecnológico e estruturas sociais. O caso emblemático de Jocelyn Bell Burnell ilustra perfeitamente esta intersecção. Como estudante de doutorado em Cambridge nos anos 1960, Bell foi responsável pela descoberta dos pulsares em 1967, identificando sinais de rádio extremamente regulares que posteriormente seriam reconhecidos como estrelas de nêutrons em rotação. Entretanto, quando o Prêmio Nobel de Física de 1974 foi concedido por essa descoberta, apenas seu orientador, Antony Hewish, e o radioastrônomo Martin Ryle foram laureados, excluindo Jocelyn Bell desta honraria - um reflexo das assimetrias de gênero no campo científico daquela época (PIRES; PEDUZZI, 2021).

Essa omissão histórica evidencia como a ciência não opera em um vácuo social, mas é permeada por valores, hierarquias e desigualdades estruturais. Na década de 1960, a posição das mulheres na ciência era significativamente marginalizada, com barreiras institucionais e culturais limitando seu reconhecimento e progressão na carreira. O caso de Jocelyn Bell permite explorar em sala de aula como a produção do conhecimento científico é indissociável das relações sociais e de poder vigentes, confrontando a visão positivista de uma ciência neutra e objetiva (PIRES; PEDUZZI, 2021).

O contraste entre a sociedade dos anos 1960 e a contemporânea revela avanços significativos, mas também persistências problemáticas. Se por um lado houve progressos institucionais para equalização de oportunidades nas carreiras científicas, por outro, estudos contemporâneos continuam evidenciando disparidades de gênero na citação de trabalhos acadêmicos, atribuição de autoria e reconhecimento formal (LETA, 2014; LIMA; BRAGA; TAVARES, 2015). A própria Jocelyn Bell, que posteriormente construiu uma carreira notável tornando-se professora de física e presidente da Royal Astronomical Society, recebeu o Breakthrough Prize em Física Fundamental em 2018, doando integralmente o prêmio de três milhões de dólares

para criar bolsas de estudo para grupos sub-representados na física - um ato que simboliza tanto o reconhecimento tardio quanto a persistência das desigualdades.

A análise desse episódio histórico sob a perspectiva CTSA permite desenvolver junto aos estudantes uma compreensão mais sofisticada sobre como avanços científicos e tecnológicos, como os radiotelescópios que possibilitaram a descoberta dos pulsares, são simultaneamente produtos e produtores de configurações sociais específicas (AULER; DELIZOICOV, 2006; SANTOS; MORTIMER, 2002). Essa abordagem desmistifica a ideia de que o progresso científico ocorre de forma linear e descontextualizada.

A evolução tecnológica da radioastronomia desde a época de Jocelyn Bell até os modernos radiotelescópios e observatórios espaciais também oferece uma oportunidade para discutir a relação entre avanços científicos e capacidade tecnológica (LANGHI; NARDI, 2012; BRETONES; MEGID NETO, 2011). Os instrumentos rudimentares com os quais Jocelyn Bell fez sua descoberta, comparados aos sofisticados equipamentos atuais, ilustram como o desenvolvimento tecnológico amplia as fronteiras do conhecimento científico, formando um ciclo de retroalimentação positiva que, no entanto, é mediado por decisões sociais sobre investimento, prioridades de pesquisa e aplicações do conhecimento.

Em uma perspectiva educacional contemporânea, o caso de Bell e dos pulsares permite conectar o Ensino de Astronomia com questões contemporâneas de ética científica, representatividade na ciência e responsabilidade social da comunidade científica (CHASSOT, 2003; MOREIRA, 2006; STRIEDER; KAWAMURA, 2017). Diferentemente de um ensino meramente conceitual ou técnico, a abordagem CTSA possibilita que estudantes compreendam a ciência como prática social, desenvolvendo competências para avaliar criticamente o impacto das descobertas científicas e inovações tecnológicas na sociedade e no ambiente, preparando-os para participação cidadã em debates sobre política científica e tecnológica.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Uma análise abrangente do acervo de dissertações do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), Polo 01 (Universidade de Brasília - UnB), compreendendo o período de 2015 a 2024, revelou uma ausência de trabalhos correlatos à proposta desta pesquisa. A busca, utilizando as palavras-chave “Ensino de Astrofísica”, “Pulsar”, “Estrela de Nêutrons”, “Circuito LED *blinker*”, “Simulação 3D” e “*Tracker*/Análise de vídeo”, não identificou nenhuma dissertação que abordasse a sequência didática e o experimento propostos, que combinam o uso de simuladores 3D (como a simulação Pulsar 3D), a construção de um circuito LED *blinker* em sala de aula e a análise de vídeo com o *software* livre *Tracker Online*.

Este resultado demonstra uma baixa adesão aos temas e à linha de pesquisa em questão, evidenciando uma lacuna na produção acadêmica – e de recursos didáticos - sobre o ensino de conceitos de Astrofísica, particularmente aqueles relacionados a pulsares e outros objetos astronômicos exóticos. Especificamente, observa-se uma carência de estudos que explorem o potencial didático da integração entre simulações 3D, circuitos elétricos com LEDs e análise de vídeo com *software* livre como o *Tracker Online*. Conforme apresentado na Tabela 1, das 46 dissertações analisadas, apenas 3 apresentaram palavras-chave com alguma proximidade ao tema geral de Ensino de Astronomia ou Ensino de Astrofísica. No entanto, nenhuma delas aborda a metodologia, o experimento ou os produtos educacionais propostos neste trabalho, confirmando a importância e a relevância desta pesquisa.

A extensa pesquisa e análise bibliográfica realizada por Pires e Peduzzi (2021) revela uma lacuna significativa na literatura sobre o ensino de ciências, especialmente no que se refere à figura de Jocelyn Bell Burnell e à descoberta dos pulsares. A baixa adesão de trabalhos, pesquisas, dissertações e teses nessa temática é um indicativo de que a história da astronomia e as contribuições de mulheres cientistas ainda não são devidamente exploradas no contexto educacional.

Tabela 1 - Análise das dissertações do MNPEF/UnB (2015-2024). Distribuição das dissertações por ano, com temas gerais e relação com tópicos específicos: Ensino de Astronomia e Astrofísica, Pulsar e Estrela de Nêutrons, Circuito LED *Blinker*, Simulação 3D e *Tracker*/Análise de vídeo.

| | | Nº de dissertações relacionadas com as palavras-chave pesquisadas | | | | |
|--------------|---|---|------------------------------|-----------------------------|--------------|-----------------------------------|
| Ano / Quant. | Tema geral das Dissertações | Ensino de Astronomia e Astrofísica | Pulsar e Estrela de Nêutrons | Circuito LED <i>Blinker</i> | Simulação 3D | <i>Tracker</i> / Análise de vídeo |
| 2024 2 | Grandezas e Unidades de Medida; Sequência Didática para o 1º Ano do Ensino Médio | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2023 6 | Ensino de Movimentos Acelerados; Tecnologia no Ensino de Eletrostática; Óptica; Efeito Fotoelétrico | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2022 7 | Gravidade e Luas Galileanas; Eficiência Energética; Força e Tecnologias Digitais; Fotossíntese Interdisciplinar | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2021 1 | Buracos Negros - Proposta de Sequência Didática | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2019 3 | Cosmologia no Ensino Médio; Ensino de Inércia; Jogos no Ensino de Cinemática | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2018 1 | Física de Partículas no Ensino Médio | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2016 9 | Eletrodinâmica; Observação Astronômica; Ondulatória e Acústica; Ensino de Óptica Geométrica | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2015 17 | Guias Didáticos; Eletromagnetismo; Mecânica Quântica; Relatividade; Lançamento de Foguetes; Física de Plasma | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Fonte: Autoria própria/MPEF/UnB.

Essa lacuna demonstrada por Pires e Peduzzi (2021), através de um extenso levantamento, acerca da visibilidade e abordagem da descoberta dos pulsares no ensino de ciências pode ser explicada por diversos fatores. Embora revolucionária, a própria descoberta dos pulsares não tem a mesma visibilidade que outros tópicos mais tradicionais na física e astronomia, o que limita seu alcance nos currículos escolares e documentos oficiais de educação, por exemplo. Além disso, a ausência de materiais didáticos específicos dificulta a inclusão dos pulsares e do papel de Jocelyn Bell Burnell no contexto educacional. A sobrecarga de conteúdo enfrentada pelos professores e a priorização de temas com materiais prontos também contribuem para que essa exclusão ocorra. Outro fator relevante é a formação inicial e continuada dos docentes, que frequentemente não aborda de maneira aprofundada a história da ciência e a relevância de incluir mulheres cientistas nas aulas. Assim, a visão tradicional da ciência, centrada em figuras masculinas, reforça a invisibilidade de mulheres como Jocelyn Bell Burnell nos materiais didáticos e no discurso educacional (PIRES; PEDUZZI, 2021).

As consequências dessa lacuna são significativas e impactam diretamente a qualidade do ensino, especificamente o ensino de astrofísica. Em primeiro lugar, há uma perda de oportunidades de aprendizado, pois os estudantes deixam de conhecer uma história e feito astronômico de forma mais completa e diversificada, que podem acabar sendo potencialmente motivadores para o ensino de física, astronomia e astrofísica. Essa exclusão também reforça estereótipos de gênero, desestimulando meninas a seguirem carreiras científicas e perpetuando uma visão limitada sobre quem pode ser cientista. Além disso, a ausência de exemplos concretos e históricos, como o caso dos pulsares, pode dificultar o interesse dos estudantes, tornando o ensino de astronomia e astrofísica menos atrativo e motivador (PIRES; PEDUZZI, 2021).

Pires e Peduzzi (2021) enfatizam, ainda, a necessidade de um esforço conjunto para integrar a história da descoberta dos pulsares e a figura de Jocelyn Bell Burnell no ensino de ciências. Promover essa inclusão não apenas valoriza a diversidade, mas também contribui para uma educação científica mais justa, inclusiva e relevante. Trabalhos futuros podem explorar questões relacionadas à representação de mulheres cientistas em materiais didáticos, bem como desenvolver propostas didáticas que incorporem a história da descoberta dos pulsares. Além disso, investigações sobre o impacto da inclusão de mulheres cientistas na percepção dos

estudantes sobre ciência e cientistas podem trazer ideias valiosas para práticas pedagógicas e para o contexto escolar.

Nessa perspectiva, para suprir essa janela no ensino de astrofísica, são necessárias iniciativas e propostas que sejam integradas à rotina e conteúdos escolares, especialmente em física e astronomia, nos anos finais do ensino fundamental e no ensino médio. Por isso, não só a inclusão da história da descoberta dos pulsares e do papel de Jocelyn Burnell, mas também da física dos pulsares, por exemplo, nos currículos escolares se mostra relevante e rica do ponto de vista pedagógico. Fato esse que deve ser acompanhado pelo desenvolvimento de materiais didáticos específicos, como artigos, vídeos, experimentos e atividades práticas, que facilitem a abordagem desses temas em sala de aula (LANGHI; NARDI, 2022; PIRES; PEDUZZI, 2021).

A formação continuada de professores também desempenha um papel importante, sendo necessária a oferta de atividades, cursos, *workshops* e transmissões ao vivo (*lives*), por exemplo, que abordem a história da astrofísica, dos pulsares e a importância da inclusão das mulheres nas ciências. Além disso, a divulgação de pesquisas, projetos e recursos didáticos sobre os pulsares pode chamar a atenção de educadores e pesquisadores, ampliando assim o alcance dessa temática, i. e. buscando acessar ambientes formais e não formais de aprendizagem em ciências e astronomia e ampla faixa etária. A criação de redes de colaboração entre pesquisadores, professores e educadores é outra estratégia relevante, pois possibilita o compartilhamento, quase que em tempo real, de experiências e a produção conjunta de materiais didáticos de qualidade, facilmente replicáveis e de relevância educacional. A título de exemplo, matérias como “Jocelyn Bell e a descoberta dos pulsares” da série Mulheres na Astronomia do canal Olhar Digital, narrada pelo astrônomo Marcelo Zurita, apresentam um formato de vídeo curto, que além de acessíveis, podem ser utilizados em sala de aula como recurso pedagógico (LANGHI, NARDI, 2022).

Por outro lado, pesquisas como a de Ferreira, Andrade, Batista e Langhi (2024), publicada na revista Cuadernos de Educación y Desarrollo, destaca o potencial do uso de dispositivos móveis, como *smartphones*, em conjunto com circuitos eletrônicos simples e *softwares* livres, para o ensino de astrofísica. Ao propor um experimento interativo e de baixo custo, os autores demonstram como é possível conectar conceitos abstratos da astronomia, como o comportamento dos pulsares,

com a experiência prática dos estudantes. Essa abordagem inovadora não apenas facilita a compreensão de fenômenos complexos, mas também estimula a curiosidade e o pensamento crítico, preparando os estudantes para os desafios da realidade educacional atual.

Nesse contexto, a simulação interativa tridimensional Pulsar 3D foi oficialmente lançada durante um evento internacional de Ensino de Astronomia intitulado Global Hands-on Universe Conference 2024 (GHOUC 2024) (FERREIRA, 2024). A apresentação inaugural, que detalha os aspectos técnicos e pedagógicos da simulação, encontra-se disponível na íntegra em <https://tinyurl.com/3axwe2wc>. O desenvolvimento do Pulsar 3D representa um esforço significativo na criação de um recurso didático inovador para o ensino de conceitos de física e astrofísica. A simulação, fundamentada em modelagem tridimensional, visa proporcionar uma experiência de aprendizado imersiva e interativa, explorando o potencial das tecnologias digitais como ferramentas pedagógicas no contexto da sala de aula. Este recurso busca auxiliar na visualização e compreensão de fenômenos complexos, como a emissão de radiação por pulsares, contribuindo para o aprimoramento do processo de ensino-aprendizagem nessas áreas do conhecimento.

O simulador Pulsar 3D, desenvolvido com o apoio do Centro de Desenvolvimento Tecnológico (CDT) da Universidade de Brasília (UnB) e do Núcleo de Propriedade Intelectual (Nupitec), foi registrado junto ao Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI) em 1º de outubro de 2024 (FERREIRA; ANDRADE, 2024, processo BR512024003499-4). Essa ferramenta inovadora representa um avanço significativo no campo dos recursos educacionais para o ensino de astrofísica e de objetos astronômicos exóticos, oferecendo aos professores e estudantes uma ferramenta prática, visualmente atrativa e imersiva para explorar conceitos complexos referente aos pulsares e estrelas de nêutrons. Ao preencher uma lacuna na literatura e no arcabouço teórico sobre o uso de simuladores no ensino de astrofísica, a simulação Pulsar 3D contribui para a democratização do acesso a conhecimentos científicos e tecnologias em sala de aula e no contexto escolar.

O *software Tracker* tem sido amplamente utilizado no Brasil como ferramenta educacional em diversas áreas da Física, destacando-se como um recurso didático para análise de movimento. Sua principal aplicação ocorre na cinemática e dinâmica, onde os estudantes podem estudar trajetórias, velocidades e acelerações de objetos em movimento. Vídeos gravados em laboratórios ou em situações cotidianas são

importados no *software*, permitindo a análise detalhada de fenômenos físicos. Esse uso contribui para o aprendizado prático, conectando conceitos teóricos à observação experimental (BORDIN, 2022; LEAL, 2017; DE OLIVEIRA RODRIGUES; TOMÉ, 2022).

No contexto da Física térmica e da termodinâmica, o *Tracker* também tem encontrado aplicações inovadoras. Análise de movimentos relacionados a dilatação térmica, bem como estudos de energia mecânica e térmica em sistemas interconectados, são explorados através do *software*. Essa abordagem permite uma visão integrada de fenômenos termodinâmicos e mecânicos, promovendo uma maior compreensão das relações entre diferentes áreas da Física (DE OLIVEIRA RODRIGUES; TOMÉ, 2022).

Além disso, a óptica e a Física moderna são áreas onde o *Tracker* tem sido aplicado em investigações experimentais no Brasil. Estudantes utilizam o *software* para analisar fenômenos como refração, reflexão e dispersão da luz, utilizando vídeos de experimentos ópticos. Na Física moderna, o estudo de espectrometria, quando registrados em vídeo e através da análise com um espectrômetro digital, também podem ser investigados com o auxílio do *software Tracker*, o que possibilita atividades experimentais acessíveis e de baixo custo (DE JESUS; DE OLIVEIRA; DA SILVA, 2020).

O uso do *Tracker* tem sido impulsionado pela sua acessibilidade e pela capacidade de integrar tecnologia ao ensino. Muitos artigos brasileiros destacam a facilidade de uso do *software* e a sua eficácia em motivar os estudantes, que interagem ativamente com dados reais enquanto aprendem conceitos fundamentais. Essas características tornam o *Tracker* uma ferramenta versátil e indispensável no ensino de Física, com aplicações que abrangem desde o nível básico até estudos mais avançados em cursos de graduação (BORDIN, 2022; LEAL, 2017; NUNES, 2020).

Embora o *software Tracker* tenha sido amplamente utilizado no Brasil em diversas áreas da Física, como cinemática, dinâmica, fluidos e óptica, sua aplicação no ensino de Astrofísica permanece pouco explorada. A análise de trabalhos publicados revela que a maioria das atividades desenvolvidas com o *Tracker* foca em fenômenos terrestres e experimentos de laboratório que podem ser facilmente registrados em vídeo. Em contraste, a Astrofísica, com seus objetos e eventos de escala cósmica, raramente aparece como um campo de aplicação direta do *software*,

devido à dificuldade de gravar fenômenos astronômicos em contextos educacionais (NUNES, 2020; FERREIRA, 2025, no prelo).

Esse cenário representa uma oportunidade para expandir o uso do *Tracker* em atividades de ensino de astronomia e astrofísica, como a simulação e análise de fenômenos relacionados a pulsares e objetos astronômicos exóticos. Um exemplo interessante seria a utilização de vídeos de circuitos LED *blinker*, que emulam os sinais periódicos emitidos por esses corpos celestes. O *Tracker* poderia ser utilizado para analisar os padrões de luminosidade gerados pelos LEDs, permitindo aos estudantes compreender a periodicidade e o comportamento pulsante dos pulsares de forma prática e visual (FERREIRA; ANDRADE; BATISTA; LANGHI, 2024).

A justificativa para essa abordagem encontra-se na necessidade de aproximar conceitos abstratos, como a emissão regular de radiação por pulsares, de fenômenos que possam ser reproduzidos em sala de aula. Ao gravar o funcionamento de um circuito LED *blinker*, seria possível criar vídeos que simulam o comportamento de pulsares com diferentes períodos. Os estudantes, ao utilizarem o *Tracker*, poderiam medir a frequência, determinar o período e explorar conceitos como regularidade e variação de intensidade, relacionando diretamente esses parâmetros às características observadas em pulsares reais (FERREIRA; ANDRADE; BATISTA; LANGHI, 2024).

Essa proposta também alinha-se ao objetivo de integrar experimentação e Astrofísica no ensino médio e superior, utilizando tecnologias acessíveis. Ao incorporar o *Tracker* para analisar vídeos de circuitos simples, seria possível introduzir de forma criativa tópicos avançados da Astrofísica, como a detecção de sinais periódicos, a rotação de estrelas de nêutrons e a importância dos pulsares na pesquisa científica. Além disso, essa abordagem promove uma interdisciplinaridade enriquecedora, conectando conceitos de eletrônica, análise de sinais e Astrofísica em uma única atividade (FERREIRA, 2025, no prelo).

Portanto, o uso do *Tracker* para ensino de Astrofísica, especialmente na análise de vídeos de circuitos LED *blinker* como metáforas para pulsares, representa uma oportunidade significativa de inovação pedagógica. Essa aplicação preencheria uma lacuna existente nos trabalhos publicados, ampliando o alcance do *software* e incentivando uma visão mais abrangente e experimental da Astrofísica no ensino de ciências (FERREIRA; ANDRADE; BATISTA; LANGHI, 2024; FERREIRA, 2025, no prelo).

A análise dos trabalhos e publicações na área revelou uma lacuna significativa em relação à exploração das possibilidades de integração de tecnologias e *softwares* nas práticas pedagógicas do ensino de astrofísica. A presente pesquisa busca preencher esse espaço, propondo um conjunto de recursos e estratégias que podem transformar a forma como esses conteúdos são ensinados e aprendidos na escola, contribuindo para uma educação científica mais engajadora, relevante e responsável.

Por fim, a revisão da literatura demonstrou que, apesar do crescente interesse em tecnologias educacionais, ainda há um vácuo de pesquisas que articulem os elementos metodológicos, os produtos educacionais e as práticas pedagógicas da forma como é proposto neste trabalho. Essa ausência de estudos prévios evidencia a relevância desta pesquisa para o campo do ensino de física, contribuindo para a expansão do conhecimento sobre o uso de tecnologias no ensino de astronomia e astrofísica.

4 DEFINIÇÃO, HISTÓRIA E FÍSICA DOS PULSARES

4.1 Detectando os Pulsares

A detecção detalhada de pulsares por Jocelyn Bell foi um dos marcos mais significativos na astrofísica e na história da astronomia. Jocelyn Bell Burnell, uma estudante de pós-graduação da Universidade de Cambridge, desempenhou um papel fundamental na descoberta dos pulsares em 1967, juntamente com seu supervisor.

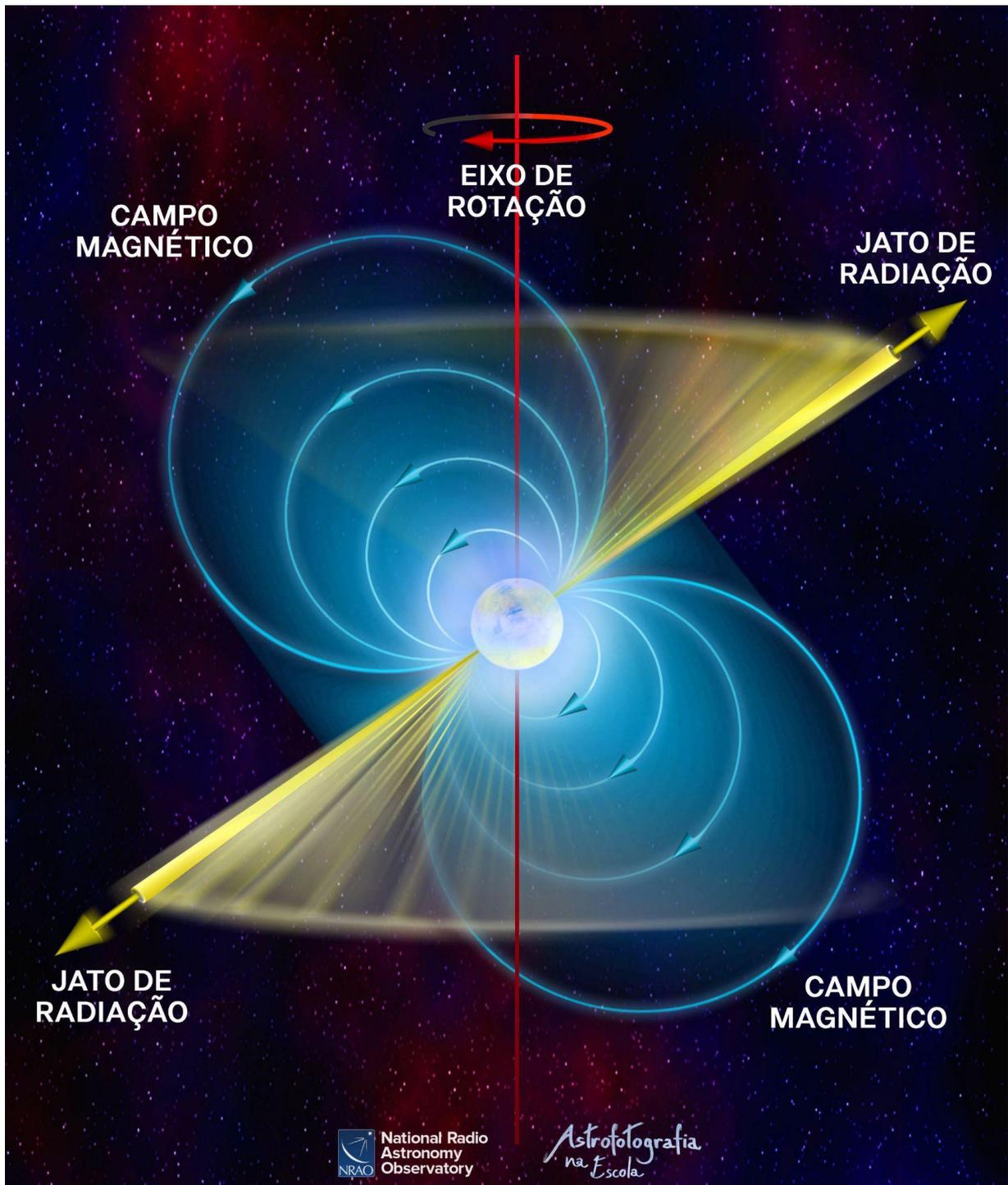
Mourão (1987) define em seu Dicionário Enciclopédico de Astronomia e Astronáutica, que um pulsar é uma:

“Fonte de rádio estelar emissora de impulsos de duração média de 35 milésimos de segundo e que se repetem em intervalos extremamente regulares da ordem de 1,4 segundo, aproximadamente. Tal emissão deve ser produzida por uma muito pequena e densa estrela de nêutron que ao girar emite um feixe de ondas de rádio à semelhança dos clarões emitidos por um farol ... O nome pulsar é oriundo da contração da expressão inglesa: Pulsa(ting) r(adio sources), que equivale a fonte de rádio pulsante” (MOURÃO, 1987, p. 654).

Os pulsares são estrelas de nêutrons bastante compactas que emitem radiação eletromagnética em rajadas regulares, como pulsos, à medida que giram rapidamente em torno de seu eixo (Figura 1). Em geral, os Pulsares são estrelas compactas de dezenas de quilômetros de diâmetro, mas com massa média de $1,4 M_{\odot}$ (massa solar), o que gera condições específicas de alta rotação, emissões de alta energia, fortes campos magnéticos e intenso campo gravitacional. Além disso, as estrelas de nêutrons representam um dos possíveis estágios finais da vida de uma estrela massiva, juntamente da explosão de supernova ou um buraco negro (PIRES; PEDUZZI, 2021). O ciclo de vida estelar de estrelas tipo Sol e massivas pode ser melhor compreendido através da Figura 3.

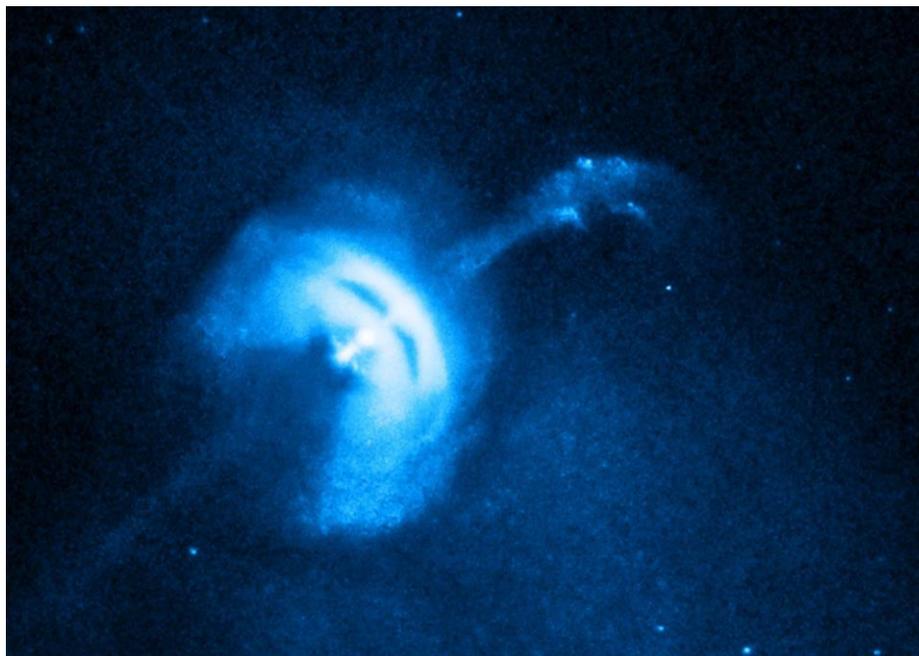
Para colocar em perspectiva, os campos magnéticos das estrelas de nêutrons são da ordem de 100 milhões a 1 quatrilhão de vezes mais intensos que o campo magnético da Terra. Já o campo gravitacional na superfície da estrela de nêutrons é cerca de 200 bilhões de vezes maior que o campo gravitacional da Terra (HAENSEL *et al.*, 2007).

Figura 1 - Estrutura e características de um pulsar.



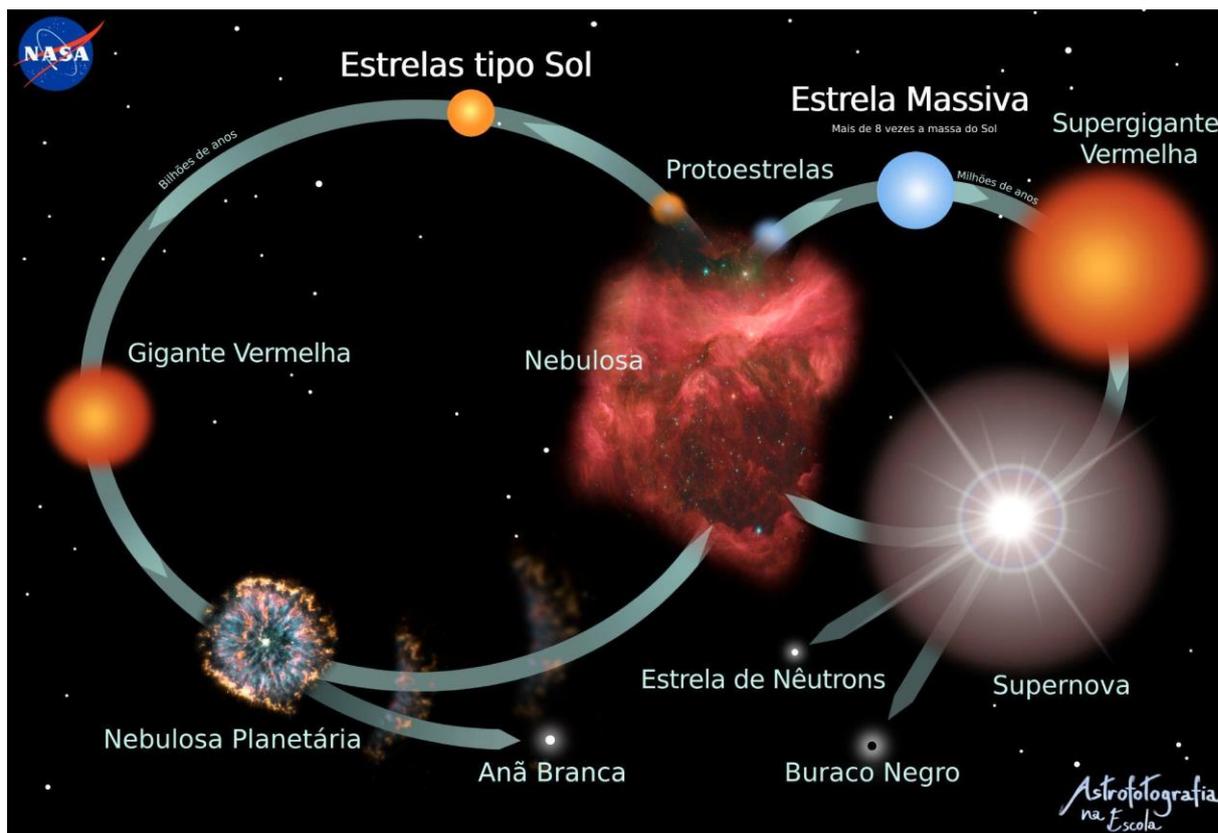
Fonte: B. Saxton, NRAO/AUI/NSF. Traduzido e adaptado por Lucas Ferreira (UnB/MNPEF), disponível em alta resolução em: <https://cometsinthesky.github.io/pulsar-3D/images/pulsar.jpg>. Original disponível em: <https://public.nrao.edu/wp-content/uploads/2017/03/NRAOPulsar.jpg>

Figura 2 - Imagem real em raio-x do Pulsar da Vela, a 1.000 anos-luz de distância da Terra, capturada pelo Telescópio Espacial Chandra. Na imagem é possível visualizar jatos de partículas carregadas sendo emitidos através dos polos da estrela de nêutrons em altas velocidades, com extensão de 1 ano-luz (9,46 trilhões de quilômetros).



Fonte: NASA/CXC/Universidade de Toronto/M.Durant *et al.*, 2010.

Figura 3 - Diagrama do ciclo de vida estelar de estrelas tipo Sol e massivas.



Crédito: NASA e Night Sky Network. Traduzido e adaptado por Lucas Ferreira (UnB/IF/MNPEF). Disponível em alta resolução em: <https://zenodo.org/doi/10.5281/zenodo.10086905>.

A detecção inicial de pulsares ocorreu com a utilização de um radiotelescópio em Cambridge, na Inglaterra. Bell foi encarregada de analisar os dados coletados pelo radiotelescópio. O que tornou a detecção de pulsares por Jocelyn tão notável foi a precisão e a dedicação que ela demonstrou na análise dos dados. Ela notou um sinal de rádio regular e intermitente que não podia ser atribuído a nenhuma fonte de interferência conhecida. Cuidadosamente ela eliminou todas as possíveis causas, como interferência terrestre ou fontes naturais e chegou à conclusão de que o sinal tinha uma origem astronômica.

Os pulsares que ela detectou eram estrelas de nêutrons altamente magnetizadas que giravam rapidamente e emitiam radiação eletromagnética em um feixe estreito, saindo dos polos magnéticos dessas estrelas colapsadas. À medida que a estrela de nêutrons rotacionava, o feixe de radiação viajava em direção à Terra em intervalos regulares, resultando nos pulsos de rádio observados por Jocelyn Bell. Como exemplo, pode-se imaginar um farol marítimo ao longo da costa que emite luz em pulsos contínuos e regulares, onde sua principal função é fornecer orientação e sinalização segura para a navegação marítima. No caso dos pulsares, seus pulsos contínuos carregam informações valiosas para os astrofísicos e astrônomos.

Condon e Ransom (2018) ressaltam que:

“Os períodos de pulso podem ser cronometrados com erros fracionários tão pequenos quanto 10^{-16} . A cronometragem precisa de pulsares permite medições excepcionalmente sensíveis de quantidades como a potência da radiação gravitacional emitida por um pulsar em um sistema binário, massas de estrelas de nêutrons, efeitos da relatividade geral em campos gravitacionais intensos, perturbações orbitais de companheiros binários tão leves quanto planetas, posições precisas de pulsares e movimentos próprios, e potencialmente as distorções do espaço interestelar produzidas pela radiação gravitacional de longo comprimento de onda proveniente das fusões de buracos negros supermassivos em todo o universo” (CONDON; RANSOM, 2018).

O nome dado por Jocelyn ao primeiro pulsar, CP 1919, veio de *Cambridge Pulsar* sobre a - região do céu - ascensão reta $\alpha = 19^{\text{h}} 19^{\text{m}}$ (CONDON; RANSOM, 2018).

Em julho de 1967, um novo radiotelescópio de baixa frequência foi inaugurado na estação Lord's Bridge do Observatório de Radioastronomia Mullard (MRAO) da Universidade de Cambridge, na Inglaterra. Cobrindo uma área de dois hectares, era o maior telescópio operacional naquela época para comprimentos de onda longos (4 metros). Os fios dessa antena estavam conectados a um laboratório central, de modo que o telescópio tinha "feixes" que apontavam para o sul e a uma declinação (altura)

fixa no céu. À medida que a Terra girava, um círculo do céu com essa declinação passava por cada feixe a cada dia. Inicialmente, havia três feixes cobrindo três declinações, que poderiam ser alteradas mudando a fiação do sistema. Para detectar o rápido piscar ("cintilação") de uma fonte durante esses quatro minutos, em que passava pelo feixe, o sistema foi projetado com registradores de curto tempo de integração, algo incomum na época para radiotelescópios (PENNY, 2013).

No começo do projeto, ao analisar as gravações feitas em tiras de papel, Jocelyn Bell notou uma fonte que apresentava um padrão de cintilação incomum. Após algumas semanas, percebeu que essa fonte, que não se assemelhava a outras fontes astronômicas conhecidas, nem às fontes terrestres de interferência de rádio, o sinal dela às vezes reaparecia, quando o telescópio estava apontado para uma direção específica do céu. Após cuidadosa investigação, Bell descobriu que essa fonte era observada na mesma hora sideral a cada dia, indicando ser uma fonte astronômica fixa. Ela discutiu isso com seu orientador e decidiram examinar mais de perto o padrão de cintilação. No início de novembro de 1967, um registrador de gráficos mais rápido foi instalado. Após um mês sem avistamentos, no dia 28 de novembro daquele ano, a fonte reapareceu e foi revelada como uma série de pulsos curtos (menos de 0,3 segundos) separados por cerca de 1,3 segundos (PENNY, 2013). Como mostra as linhas de gráfico na parte superior da Figura 4, trata-se do sinal real capturado do pulsar CP1919.

A detecção de pulsares não apenas ampliou nossa compreensão da natureza das estrelas de nêutrons, mas também forneceu evidências diretas da existência de estrelas de nêutrons. Por seu papel na descoberta, Jocelyn Bell merece um reconhecimento significativo na história da astronomia, embora a falta de reconhecimento adequado na época tenha sido objeto de discussões sobre sexismo na ciência. No entanto, Jocelyn continuou a fazer contribuições valiosas para a astronomia e promoveu a igualdade de gênero na ciência ao longo de sua carreira.

Um curta metragem sobre a carreira de Jocelyn Bell, os problemas enfrentados por ela no ambiente acadêmico e a engenhosa detecção dos pulsares na década de 1960, foi produzido pelo The New York Times e pode ser assistido em <https://youtu.be/NDW9zKqvPJI?si=ME6500m4ci737S2q>.

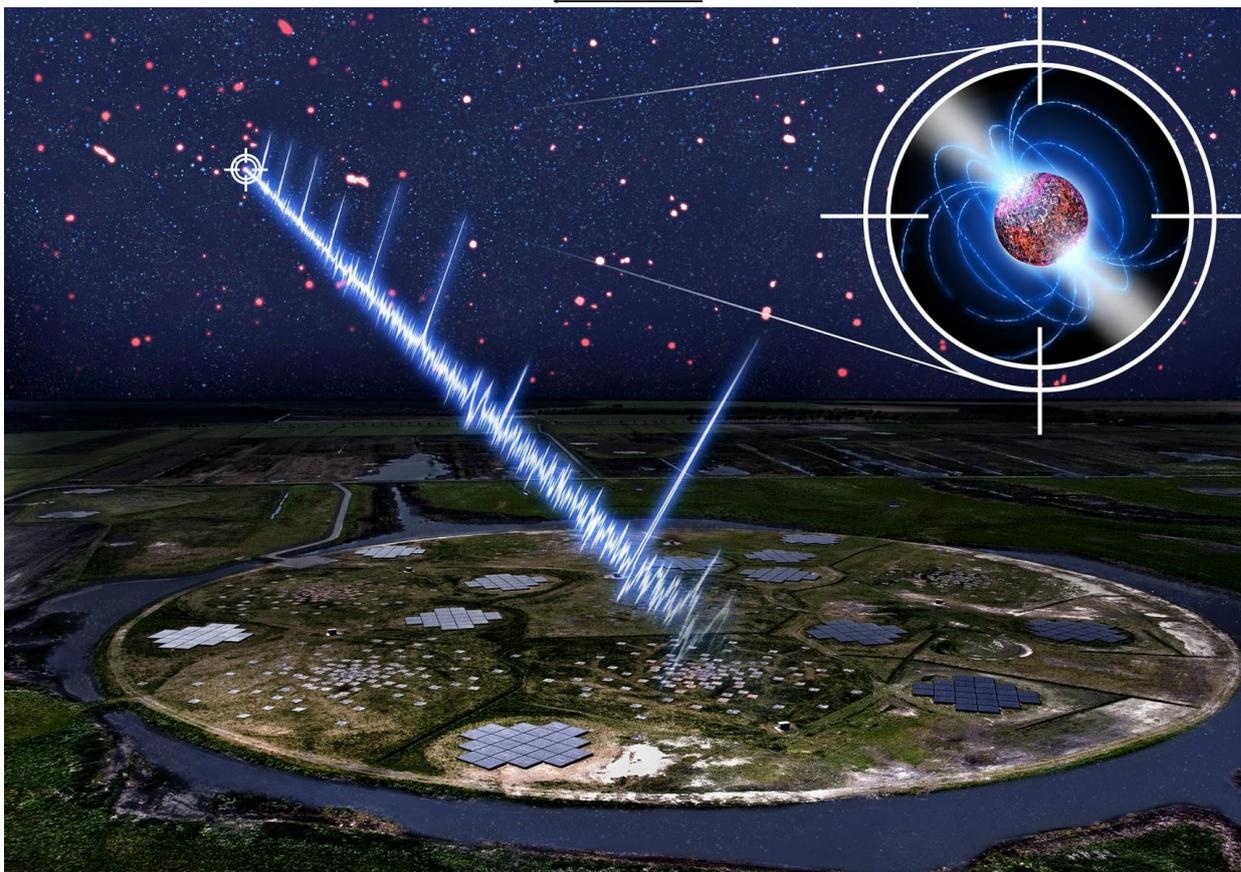
Figura 4 - Jocelyn Bell em primeiro plano e o Radiotelescópio Mullard de Cambridge ao fundo. Canto inferior esquerdo: Pulsar da Vela capturado pelo Telescópio Espacial Chandra. Canto superior esquerdo: Anotação original da descoberta do primeiro pulsar CP 1919, escrita à mão por Jocelyn em 1967.



Fonte: Daily Herald Archive/National Science; Media Museum/Science; Society Picture Library; NASA/CXC/Universidade de Toronto/M.Durant *et al.*; Jocelyn Bell e A. Hewish.
Colagem e edição por Lucas Ferreira (UnB/MNPEF). Disponível em alta resolução no [site Pulsar 3D](#).

Com o avanço das detecções na radioastronomia, o melhoramento da precisão de detecção e o processamento dos dados de pulsares distantes, foi possível identificar o pulsar mais lento já detectado pelos astrônomos até o momento (Figura 5). Em 2018, um pulsar de aproximadamente 14 milhões de anos de idade, foi descoberto por um estudante de doutorado da Universidade de Manchester. A equipe realizou as observações através do Low-Frequency Array (LOFAR), cujo núcleo está localizado na Holanda, para detectar o pulsar PSR J0250+5854. Até anos anteriores, o pulsar de rotação mais lenta detectado tinha um período de rotação de 8,5 segundos. Esse novo pulsar, localizado na direção da constelação de Cassiopeia, a cerca de 5.200 anos-luz de distância da Terra, gira a uma velocidade mais lenta, num intervalo de 23,5 segundos (TAN *et al.*, 2018).

Figura 5 - Ilustração da detecção do PSR J0250+5854, o pulsar mais lento já detectado. Matéria disponível em: <https://www.manchester.ac.uk/discover/news/slowest-ever-pulsar-star-discovered-by-phd-student/>.

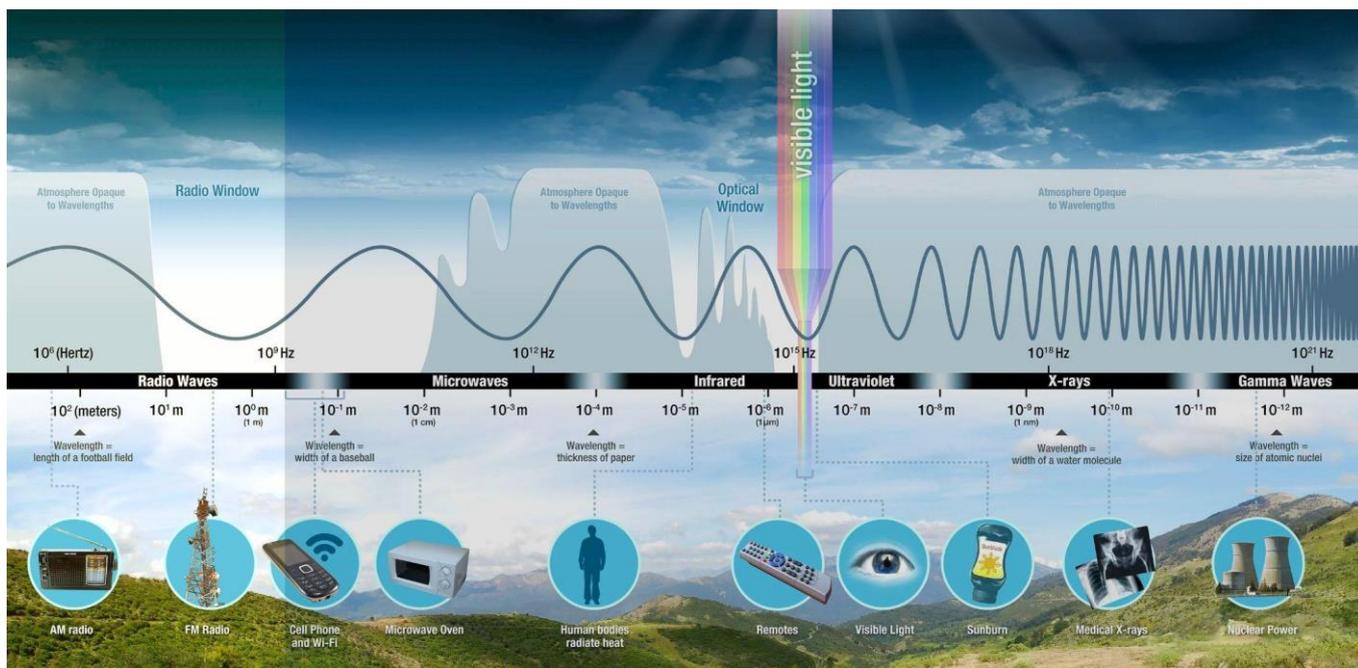


Fonte: Danielle Futselaar e ASTRON.

Um vídeo da NASA sobre as ondas de rádio, sua história e implicações na astronomia e astrofísica pode ser utilizado em sala de aula como forma de introdução sobre o conceito e conteúdos relacionados sobre ondas de rádio. No Youtube é possível ativar a legenda e traduzir automaticamente o áudio do vídeo para diversas línguas, incluindo o português. Basta clicar no botão “detalhes”, em seguida “legendas” e selecionar “traduzir automaticamente”, por último é só selecionar a opção português.

Os pulsares são objetos astronômicos que geralmente são detectados a partir de ondas de rádio (Figuras 5 e 6). Para esse experimento, foi utilizado um LED que emite luz na região do espectro visível, para simular o intervalo de emissão e intermitência de um pulsar. Por isso, vale ressaltar - e deixar claro aos estudantes - que são ondas com comprimento de onda e frequências diferentes, de regiões distintas do espectro eletromagnético (Figura 6), mas que ambas são ondas eletromagnéticas e apresentam as mesmas propriedades (Figura 21).

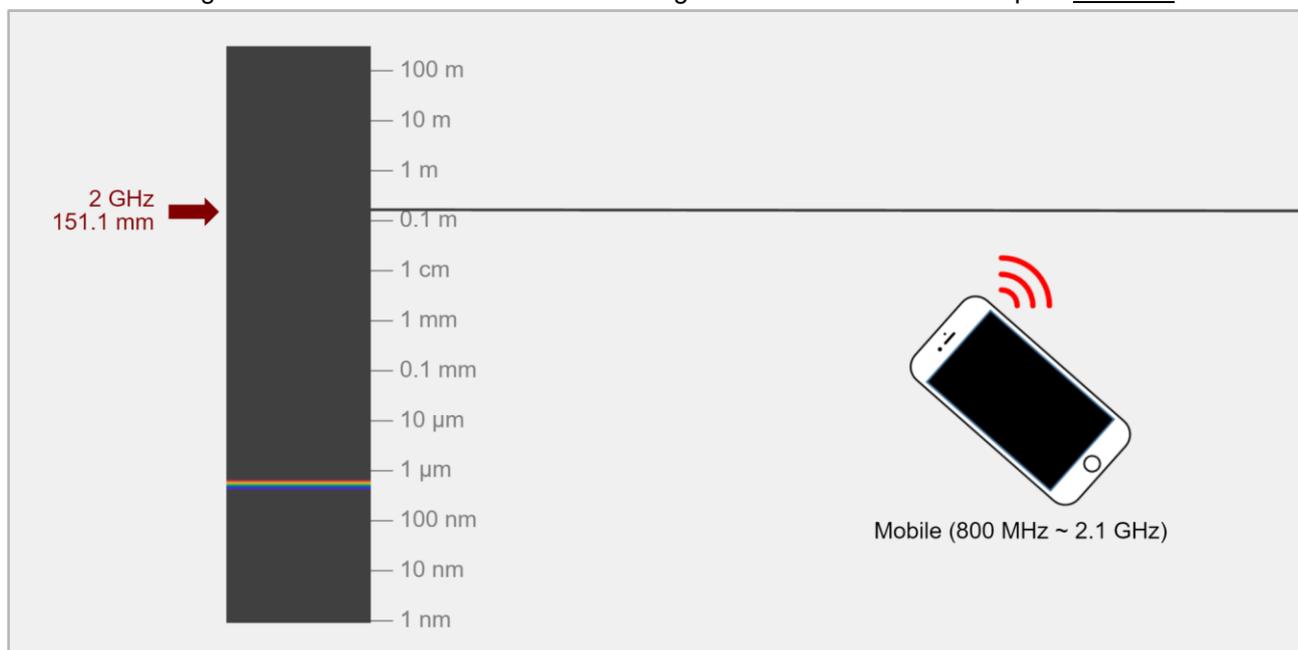
Figura 6 - Espectro eletromagnético e suas aplicações no cotidiano. A área destacada, à esquerda, representa a região das ondas de rádio no espectro eletromagnético.



Fonte: NASA - Electromagnetic Spectrum Resources. Disponível em: <https://science.nasa.gov/ems/>

Um simulador interativo sobre ondas eletromagnéticas e exemplos do dia a dia (Figura 7) está disponível em: https://mully.net/en/electromagnetic_waves_en/. É possível clicar e arrastar a seta para selecionar a região do espectro desejada.

Figura 7 - Simulador interativo “Electromagnetic Waves” desenvolvido pelo JavaLab.



Fonte: JavaLab/DJ Lee. Disponível em: https://javalab.org/en/electromagnetic_waves_en/.

4.2 Física dos Pulsares

4.2.1 Como é formado um Pulsar?

O processo de formação de um pulsar ocorre durante a explosão de uma supernova, que é o estágio final na vida de uma estrela massiva (FILHO; SARAIVA, 2020). Quando uma estrela massiva esgota seu combustível nuclear, ela sofre um colapso gravitacional, resultando em uma explosão violenta, ejetando suas camadas externas para o espaço e deixando para trás um núcleo extremamente denso, conhecido como estrela de nêutrons (PERUZZO *et al.*, 2014). Esse processo pode ser melhor visualizado na Figura 3.

A estrela de nêutrons resultante pode girar rapidamente devido à conservação do momento angular, concentrando seu campo magnético e emitindo radiação eletromagnética em feixes estreitos a partir de seus polos magnéticos, como mostrado nas Figuras 1 e 11. Esses feixes de radiação eletromagnética de rádio são detectados na Terra como pulsos periódicos através de radiotelescópios (CONDON; RANSOM, 2018).

4.2.2 Composição e estrutura de um Pulsar

Dentro de um pulsar, a composição e o comportamento dos nêutrons são fundamentais para compreender como essa estrela funciona e emite radiação. A estrutura de um pulsar envolve várias camadas, cada uma com características específicas dos nêutrons e outras partículas subatômicas. A crosta de um pulsar é composta principalmente por núcleos atômicos pesados e elétrons livres. Nos níveis mais profundos da crosta, a densidade é tão alta que os núcleos atômicos capturam elétrons, formando nêutrons. Esses nêutrons se acumulam, formando uma “sopa” densa de nêutrons intercalada com núcleos de nêutrons (POTEKHIN, 2011; FROSST, 2019).

No núcleo externo do pulsar, a densidade é ainda maior, transformando os nêutrons em um estado de superfluidez (Figura 8). Neste estado, os nêutrons se movem sem atrito, permitindo uma condução de energia extremamente eficiente. Além disso, os prótons, que compõem uma pequena fração do núcleo, também podem se tornar supercondutores, contribuindo para a manutenção do campo magnético

intenso do pulsar. No núcleo interno, a densidade é tão extrema que pode haver a formação de partículas exóticas como bósons ou quarks livres, compondo um possível plasma de quarks ou uma mistura de partículas subatômicas ainda não completamente compreendidas pela astrofísica e física de partículas (POTEKHIN, 2011; FROSST, 2019).

Figura 8 - Por dentro de um pulsar. Disponível no site [Pulsar 3D](#).

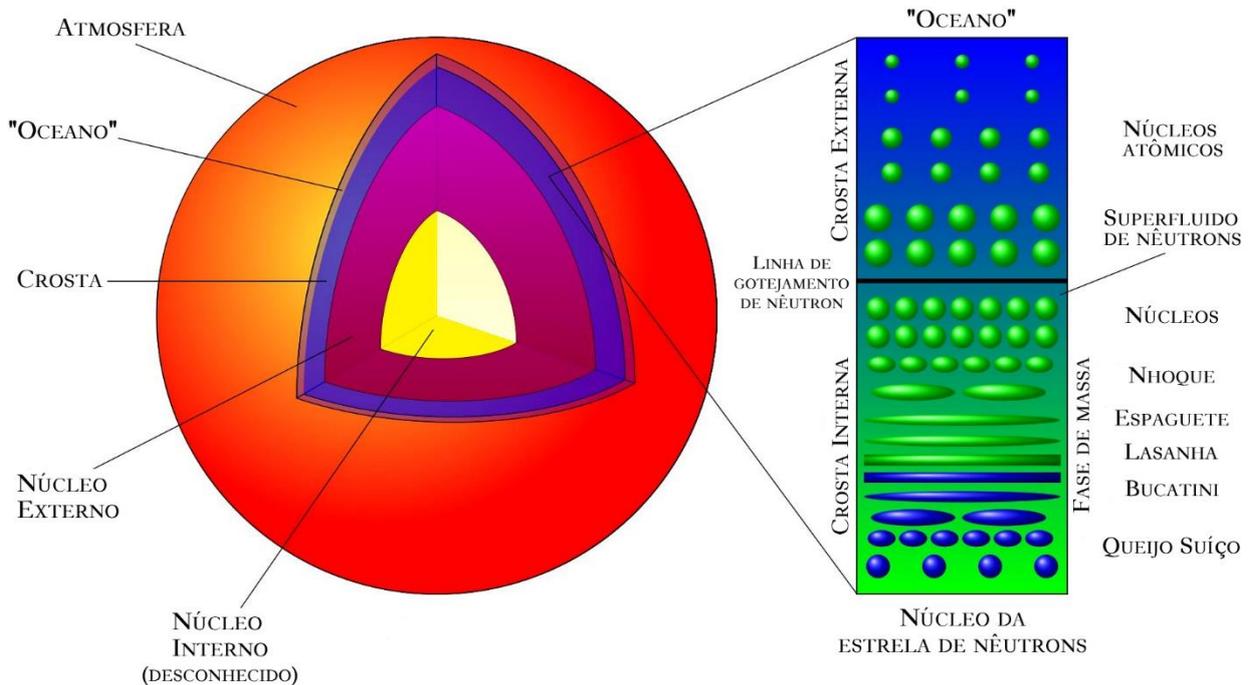


Fonte: GIBNEY, 2017. Adaptado e traduzido por Lucas Ferreira (UnB/IF/MNPEF).

Os nêutrons estão em um estado degenerado, onde as partículas estão tão densamente compactadas que os princípios da mecânica quântica dominam seu comportamento (Figura 9). A pressão degenerativa dos nêutrons, uma forma de

pressão quântica que surge devido ao princípio de exclusão de Pauli, que afirma que duas partículas idênticas de spin semi-inteiro não podem ocupar o mesmo estado quântico simultaneamente, equilibra a força gravitacional que tende a colapsar a estrela ainda mais (CHAMEL; HAENSEL, 2008; ACEVEDO, 2020).

Figura 9 - Estrutura interna de um pulsar, com zoom na crosta.



Fonte: ACEVEDO, 2020. Adaptado e traduzido por Lucas Ferreira (UnB/IF/MNPEF).

A pressão de degenerescência é a força que mantém a estrela de nêutrons estável contra o colapso gravitacional. A pressão é causada pelos nêutrons, que, devido ao princípio de exclusão de Pauli, não podem ocupar o mesmo estado quântico. Essa pressão é o que sustenta a estrutura da estrela de nêutrons. A superfluidez dos nêutrons e a supercondutividade dos prótons permitem a condução eficiente de calor e a manutenção de correntes elétricas sem resistência, contribuindo para a estabilidade do campo magnético. A rápida rotação da estrela de nêutrons e a sua intensa magnetosfera criam um ambiente onde partículas carregadas, aceleradas pelos campos elétrico e magnético, emitem radiação. O movimento das partículas dentro da estrela e ao longo de sua superfície influencia a emissão de radiação observada externamente (CHAMEL; HAENSEL, 2008; ACEVEDO, 2020).

4.2.3 Massa e densidade de um Pulsar

De acordo com Condon e Ransom (2018):

“As fontes dos pulsos dos pulsares eram originalmente desconhecidas, e até mesmo transmissões inteligentes por “LGM” (Little Green Men) foram seriamente sugeridas como explicações para os pulsares. Seus períodos curtos implicam fontes muito compactas, como estrelas anãs brancas, buracos negros e estrelas de nêutrons; seus períodos estáveis descartam buracos negros. Os astrônomos estavam familiarizados com emissões variáveis ou pulsantes de estrelas, mas o período natural de uma estrela pulsante radialmente depende de sua densidade média (ρ) e é tipicamente de dias, não segundos. Existe um limite inferior comparável para o período de rotação (P) de uma estrela gravitacionalmente ligada, definido pela exigência de que a aceleração centrífuga em seu equador não exceda a aceleração gravitacional (CONDON; RANSOM, 2018, [6.1.2 Neutron Star Masses and Densities](#)).

A massa de um pulsar pode ser comparada à massa do Sol, onde a massa típica de um pulsar é de cerca de 1,4 massa solar (M_{\odot}), no entanto essa massa se encontra confinada em um volume muito menor, apenas dezenas de quilômetros, resultando em densidades muito altas.

Se a massa inicial de uma estrela for compreendida entre 10 e 25 M_{\odot} , após seu estágio como supergigante (Figura 3) ela explode, num processo conhecido como supernova. Nesse processo, há uma ejeção da maior parte da massa para o espaço e acaba seu ciclo como uma estrela de nêutrons, com massa de 1,4 M_{\odot} , temperatura de 1 milhão de Kelvin e raio de aprox. 20 km (PERUZZO *et al.*, 2014).

Segundo Peruzzo *et al.* (2014), para representar a relação entre o raio R e a massa M de uma estrela de nêutrons, podemos escrever da seguinte forma:

$$R = \frac{C}{\sqrt[3]{M}} \quad (1)$$

sendo C uma constante de valor $C = 1,6 \times 10^{14} \text{ m.kg}^{\frac{1}{3}}$, essa relação sugere que, à medida que a massa de uma estrela de nêutrons aumenta, seu raio tende a diminuir ligeiramente, o que é contraintuitivo em comparação com estrelas normais.

A relação inversa entre massa e raio observada em estrelas de nêutrons representa um paradigma na astrofísica de objetos compactos (exóticos), pois contrasta fortemente com as observações e teorias estabelecidas para objetos astronômicos comuns. Esse fenômeno paradoxal surge como consequência direta da interação entre a gravitação de condições extremas e os princípios fundamentais da

mecânica quântica, ambos operando em escalas macroscópicas (CHAMEL; HAENSEL, 2008).

Logo, a principal força que impede o colapso total da estrela é a pressão causada pelos nêutrons se recusando a ocupar o mesmo espaço, seguindo o princípio de exclusão de Pauli, chamada de pressão de degenerescência. Quanto mais massa é adicionada, a gravidade aumenta, comprimindo os nêutrons ainda mais. Embora os próprios nêutrons consigam resistir à essa compressão, a gravidade acaba vencendo ligeiramente, resultando em um raio um pouco menor. Esse comportamento único pode ser representado matematicamente pela relação:

$$R \propto M^{-\frac{1}{3}} \quad (2)$$

sendo R o raio e M a massa da estrela de nêutrons, uma fórmula que, embora simplificada, mostra a essência desse equilíbrio delicado entre as forças fundamentais em ambientes extremos.

Para uma estrela de nêutrons típica, a massa M pode ser expressa em termos da densidade média ρ e do raio R da estrela. A densidade média ρ de um pulsar é dada pela fórmula:

$$\rho \equiv \frac{M}{\frac{4}{3}\pi R^3} \quad (3)$$

na qual M é a massa do pulsar e R é o seu raio. A Equação 3 mostra que a densidade média de um pulsar é inversamente proporcional ao volume da estrela. Como os pulsares têm raios muito pequenos, da ordem de 10 a 15 quilômetros, a densidade resultante é extremamente alta, tipicamente da ordem de 10^{14} g/cm³, o equivalente a cem trilhões de vezes a densidade da água (1 g/cm³). Em geral, os pulsares possuem um diâmetro de 20 a 30 quilômetros, aproximadamente o tamanho da cidade de Brasília - DF, mas com uma massa maior que a do Sol (Figura 10).

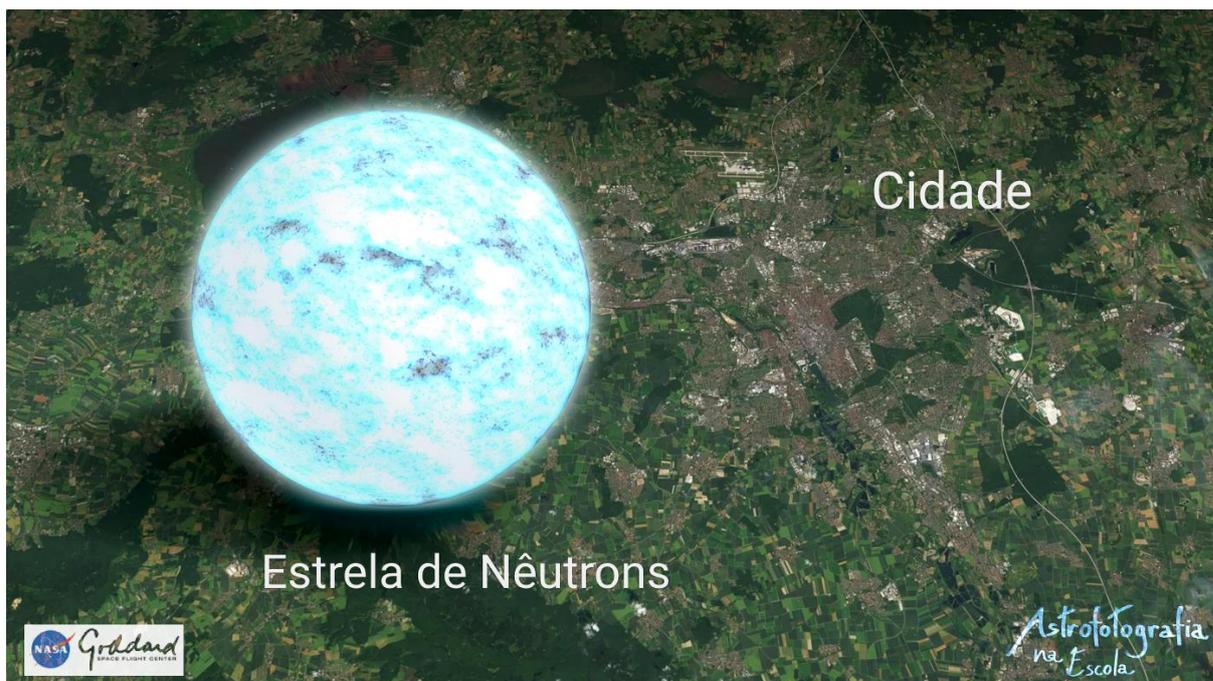
Comparar a matéria de uma estrela de nêutrons com a do Monte Everest é uma maneira impressionante de ilustrar a densidade extrema das estrelas de nêutrons. Uma estrela de nêutrons é composta quase inteiramente por nêutrons compactados - esmagados gravitacionalmente - em um espaço muito pequeno, resultando em uma densidade que desafia a imaginação humana.

O Monte Everest, a montanha mais alta da Terra, com cerca de 8.848 metros de altura, é uma enorme massa de rocha, gelo e neve. No entanto, sua densidade média é relativamente baixa em comparação com a de uma estrela de nêutrons. A densidade média das rochas terrestres é de cerca de 2,0 a 2,7 gramas por centímetro cúbico (g/cm^3) (JONES, 2018), enquanto a densidade de uma estrela de nêutrons é da ordem de 10^{17} a 10^{18} g/cm^3 (POTEKHIN, 2011). Isso significa que a matéria de uma estrela de nêutrons é absurdamente mais densa, em comparação com outros materiais encontrados no Universo, da ordem de 100 trilhões a 1 quatrilhão de vezes mais densa do que uma rocha típica encontrada na Terra.

A relação entre o período de rotação (P) de um pulsar e sua densidade média (ρ) pode ser derivada considerando a condição de que a aceleração centrífuga na superfície da estrela não deve exceder a aceleração gravitacional. Essa condição é expressa pela seguinte desigualdade (QUEIROZ, 2021):

$$\Omega^2 R < \frac{GM}{R^2} \quad (4)$$

Figura 10 - Comparação do tamanho de uma estrela de nêutrons em relação a uma cidade de 20 a 30 km de extensão.



Fonte: NASA Goddard Space Flight Center (2020, apud Max Planck Gesellschaft, 2020). Adaptação e edição: Lucas Ferreira (UnB/IF/MNPEF).

Sendo que $\Omega \equiv \frac{2\pi}{P}$ é a velocidade angular do pulsar, portanto rearranjando essa expressão, obtemos:

$$P^2 > \frac{(4\pi^2 R^3)}{3\pi GM} \quad (5)$$

Substituindo a densidade média (ρ) na equação, temos:

$$P > \left(\frac{3\pi}{G\rho}\right)^{\frac{1}{2}} \quad (6)$$

e, portanto,

$$\rho > \frac{3\pi}{GP^2} \quad (7)$$

Essas equações mostram que a densidade média de um pulsar está diretamente relacionada ao seu período de rotação. Pulsares com períodos de rotação mais curtos têm densidades médias mais altas. Isso é consistente com observações de pulsares de milissegundos, que têm períodos de rotação extremamente curtos e, conseqüentemente, densidades muito altas.

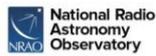
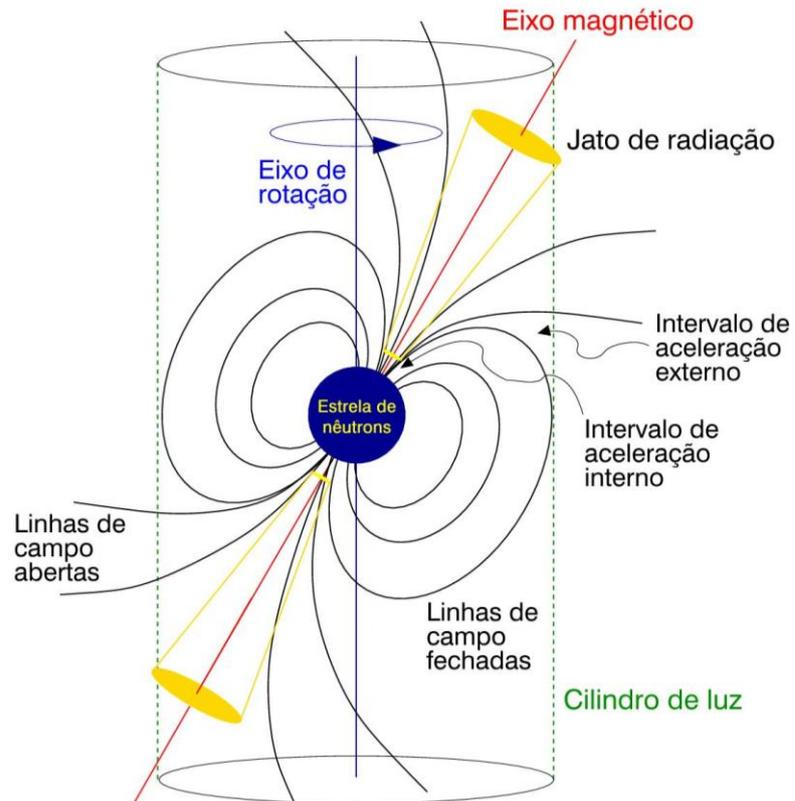
4.2.4 Campo magnético de um Pulsar

O campo magnético de um pulsar é uma característica fundamental que influencia significativamente seu comportamento e a emissão de radiação pelos seus polos magnéticos. Trata-se de um campo magnético extremamente intenso, variando tipicamente entre 10^8 e 10^{11} teslas (T), o que é bilhões de vezes mais forte que o campo magnético da Terra (BELL BURNELL, 2017; CHAMEL; HAENSEL, 2008).

A intensidade do campo magnético de um pulsar pode ser calculada utilizando a seguinte fórmula (CONDON; RANSOM, 2018):

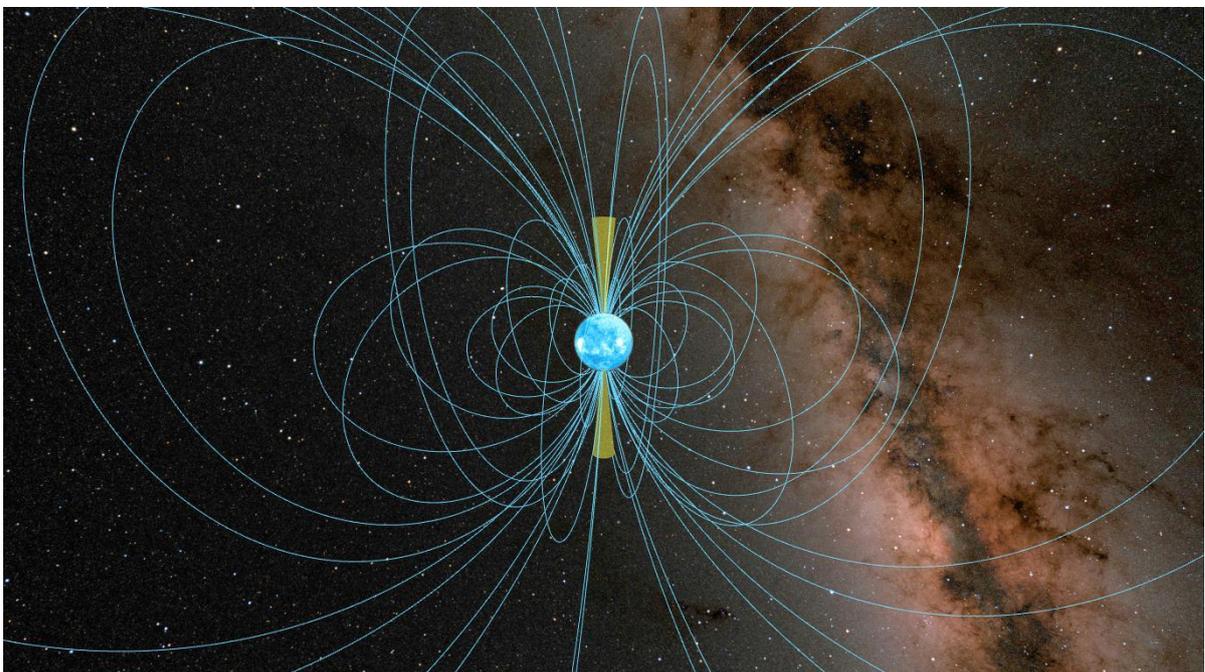
$$B = \sqrt{\frac{3c^3 I}{8\pi^2 R^6 P^2}} \quad (8)$$

Figura 11 - Representação em 2D do campo magnético de um pulsar.



Fonte: (CONDON; RANSOM, 2018, *apud* LORIMER; KRAMER, 2005).
Adaptado e traduzido por Lucas Ferreira (UnB/IF/MNPEF).

Figura 12 - Representação em 3D do campo magnético de um pulsar.



Fonte: Simulação Pulsar 3D, FERREIRA; ANDRADE, 2024.

A energia rotacional de um pulsar é outra característica importante e pode ser expressa pela equação simplificada:

$$E_{rotacional} = \frac{1}{2} I \omega^2 \quad (9)$$

sendo E a energia rotacional, I é o momento de inércia e ω é a velocidade angular do pulsar. A velocidade angular ω está relacionada ao período de rotação P do pulsar. Assim, a energia rotacional depende diretamente da velocidade angular, e, portanto, de quão rapidamente o pulsar está girando.

A perda de energia rotacional devido à emissão de radiação eletromagnética é descrita pela equação (CONDON; RANSOM, 2018):

$$\frac{dE}{dt} = - \frac{2}{3} \frac{B^2 R^6 \omega^4}{c^3} \quad (10)$$

Na Equação 10, $\frac{dE}{dt}$ representa a taxa de perda de energia, B é a intensidade do campo magnético, R é o raio da estrela de nêutrons, ω é a velocidade angular e c é a velocidade da luz. Essa relação indica que a perda de energia é proporcional ao quadrado da intensidade do campo magnético e à quarta potência da velocidade angular. Portanto, pulsares com campos magnéticos mais intensos e velocidades angulares mais altas perdem energia mais rapidamente.

Ainda assim, a intensa magnetização e a rápida rotação desses objetos compactos resultam em fenômenos característicos, como a emissão de pulsos regulares de radiação eletromagnética, que podem ser observados a grandes distâncias na Terra através de radiotelescópios, como ilustrado na Figura 5 (BELL BURNELL, 2017).

Essas são equações simplificadas e gerais sobre a massa, densidade, campo magnético e energia rotacional de um pulsar, podem servir de base para uma explicação introdutória desse tema tanto no ensino médio quanto no ensino fundamental anos finais. Para visualizar as equações deduzidas, visite o capítulo 6 sobre pulsares do livro Essential Radio Astronomy (CONDON; RANSOM, 2018).

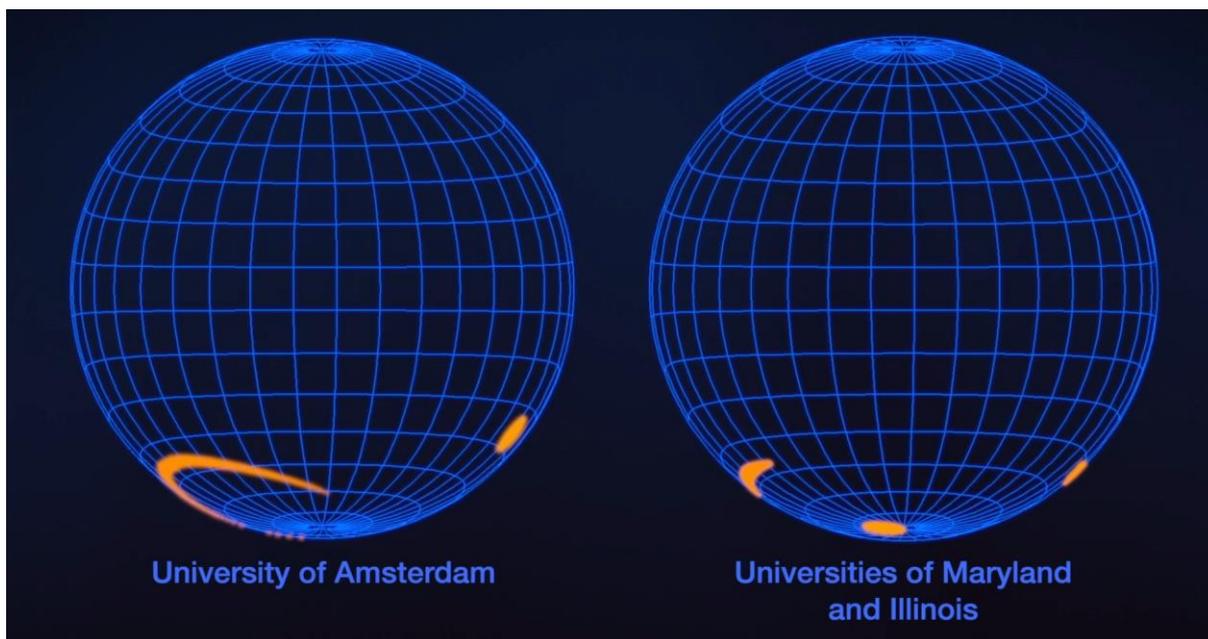
Um vídeo criado pelo Goddard Space Flight Center da NASA, em 2018, intitulado "Simulações Criam Novas Perspectivas Sobre Pulsares", contendo uma simulação de um pulsar, permite melhor visualizar e compreender as relações de

poderosos campos magnéticos e elétricos ao redor de uma estrela de nêutrons, além dos comportamentos de elétrons e pósitrons em estado de alta energia.

Recentemente, as observações realizadas pelo *Neutron Star Interior Composition Explorer* (NICER), ou Explorador da Composição Interior de Estrelas de Nêutrons, da NASA têm proporcionado avanços significativos na compreensão da estrutura e composição dos pulsares (Figura 13). O estudo do pulsar J0030+0451, localizado a aproximadamente 1.100 anos-luz de distância na constelação de Peixes, revelou características inesperadas que desafiam os modelos convencionais. Utilizando dados de raio-x de alta precisão coletados entre julho de 2017 e dezembro de 2018, dois grupos de pesquisa independentes conseguiram mapear as regiões de alta temperatura na superfície do pulsar e determinar suas propriedades físicas fundamentais com uma precisão sem precedentes. As análises convergiram para uma massa de aproximadamente 1,3 a 1,4 massas solares e um diâmetro de cerca de 25,4 a 26 quilômetros, com uma incerteza inferior a 10%, representando as medições mais precisas e confiáveis de um pulsar até o momento (NASA, 2019; RILEY *et al.*, 2019).

O aspecto mais intrigante das descobertas reside na configuração das regiões de alta temperatura, ou "*hot spots*", na superfície do J0030+0451. Contrariando as expectativas baseadas em modelos tradicionais de campo magnético dipolar, que preveem *hot spots* em ambos os polos magnéticos, as observações revelaram até três regiões distintas de alta temperatura, todas localizadas no hemisfério sul do pulsar (Figura 13). Essa distribuição assimétrica e complexa das regiões de emissão sugere que a estrutura do campo magnético dos pulsares é significativamente mais intrincada do que se pensava anteriormente. As simulações computacionais realizadas por ambas as equipes de pesquisa, utilizando supercomputadores para processar os dados do NICER, produziram modelos que incluem *hot spots* de formas não circulares, como crescentes alongadas, desafiando ainda mais as concepções tradicionais (NASA, 2019; RILEY *et al.*, 2019).

Figura 13 - Representação dos *hot spots* observados pelo NICER na superfície do pulsar J0030+0451, mostrando a distribuição assimétrica e complexa das regiões de emissão no polo sul magnético da estrela de nêutrons.



Fonte: [NASA, Scientific Visualization Studio, 2019.](#)

5 RECURSOS EDUCACIONAIS

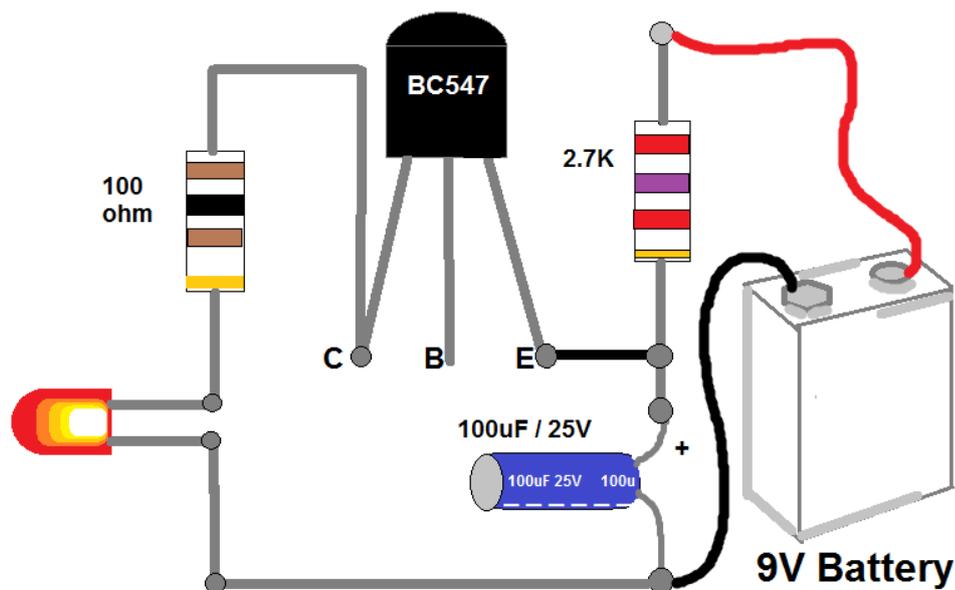
5.1 MONTANDO O CIRCUITO LED *BLINKER*

Um circuito *blinker* é um circuito eletrônico que faz com que um LED (Diodo Emissor de Luz) pisque intermitentemente, ou seja, liga e desliga de forma cíclica. Um circuito *blinker* típico pode ser construído usando componentes como transistores, capacitores e LEDs (Figura 14). Esse circuito é comumente usado para criar indicadores de estado, luzes de sinalização intermitente e outros dispositivos que exigem uma saída visual intermitente.

Funcionamento do Circuito LED *blinker*

O circuito *blinker* utiliza o transistor como uma chave eletrônica controlada pelo capacitor para alternar o LED entre os estados ligado e desligado, criando assim a intermitência. Esse processo pode ser explicado através de quatro estágios:

Figura 14 - Representação genérica de um circuito LED *blinker*.



Fonte: Homemade Circuit Projects

Estágio 1 - Acumulação de Carga no Capacitor

Inicialmente, o circuito está em repouso, com o capacitor descarregado. Quando a fonte de alimentação é ativada, o capacitor começa a acumular carga elétrica gradualmente em suas placas. A tensão no capacitor aumenta progressivamente à medida que ele é carregado, armazenando energia elétrica para que possa ser utilizada.

Estágio 2 - Ativação do Transistor

Quando o valor da tensão no capacitor atinge um ponto que supera a resistência interna do transistor, ou limiar de acionamento do transistor, ocorre um evento crítico. Nesse momento, o transistor entra em um estado conhecido como "saturação" ou "avalanche", permitindo a passagem de corrente elétrica do pino emissor (E) para o pino coletor (C).

Estágio 3 - Descarga do Capacitor Através do LED

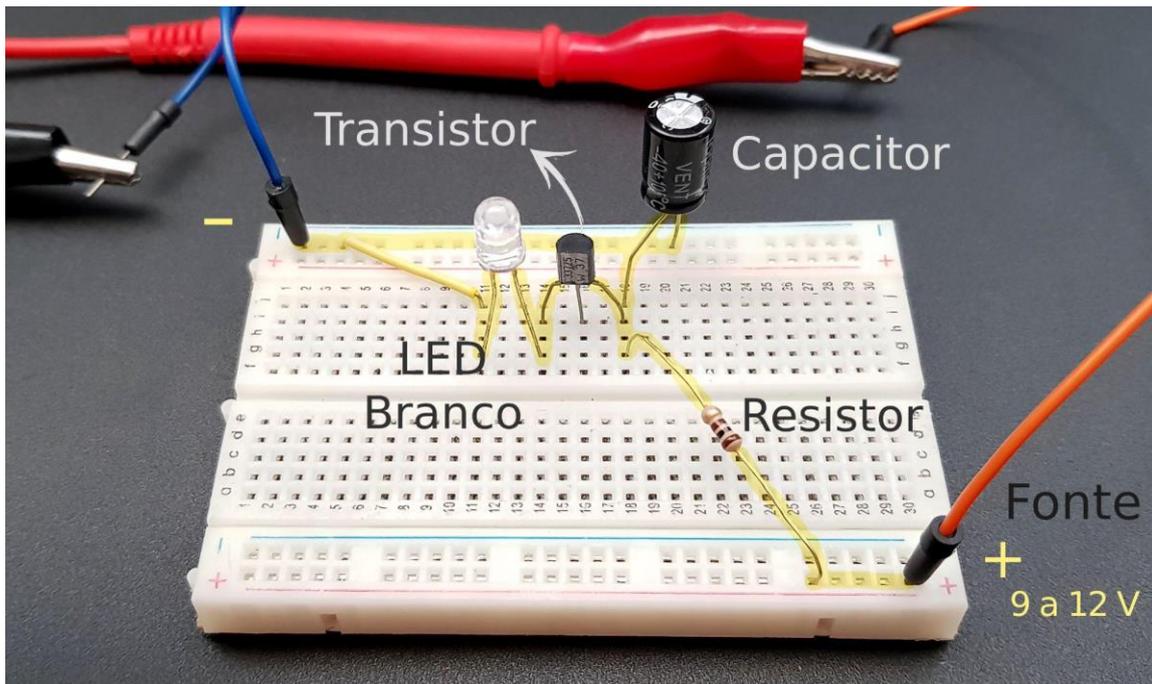
A entrada do transistor em estado de saturação é o gatilho para a descarga do capacitor. Isso faz com que a carga elétrica armazenada no capacitor seja liberada rapidamente. A corrente elétrica flui do capacitor até o LED, resultando na iluminação do LED.

Estágio 4 - Repetição do Ciclo

Após a descarga do capacitor, o processo recomeça. O capacitor inicia novamente o processo de carregamento, acumulando carga elétrica gradualmente. Assim que a tensão no capacitor atinge novamente o limiar de acionamento do transistor, o ciclo se repete, fazendo com que o LED pisque intermitentemente.

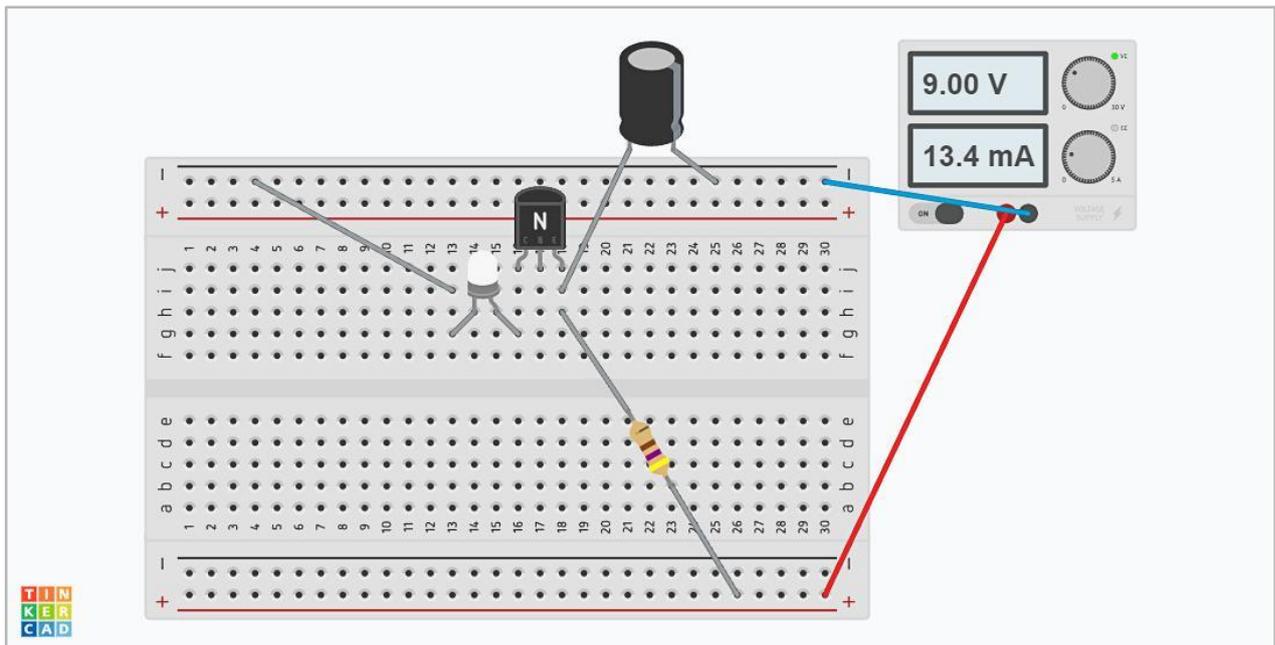
A taxa de cintilação do LED pode ser controlada ajustando-se os valores da resistência, da capacitância e da tensão de alimentação. Quando o capacitor se carrega e descarrega rapidamente, o LED piscará rapidamente, quando esse processo ocorre mais lentamente, o LED também piscará mais lentamente.

Figura 15 - Circuito LED *blinker* utilizado para o experimento. O realce amarelo representa o caminho percorrido pelos elétrons no circuito.



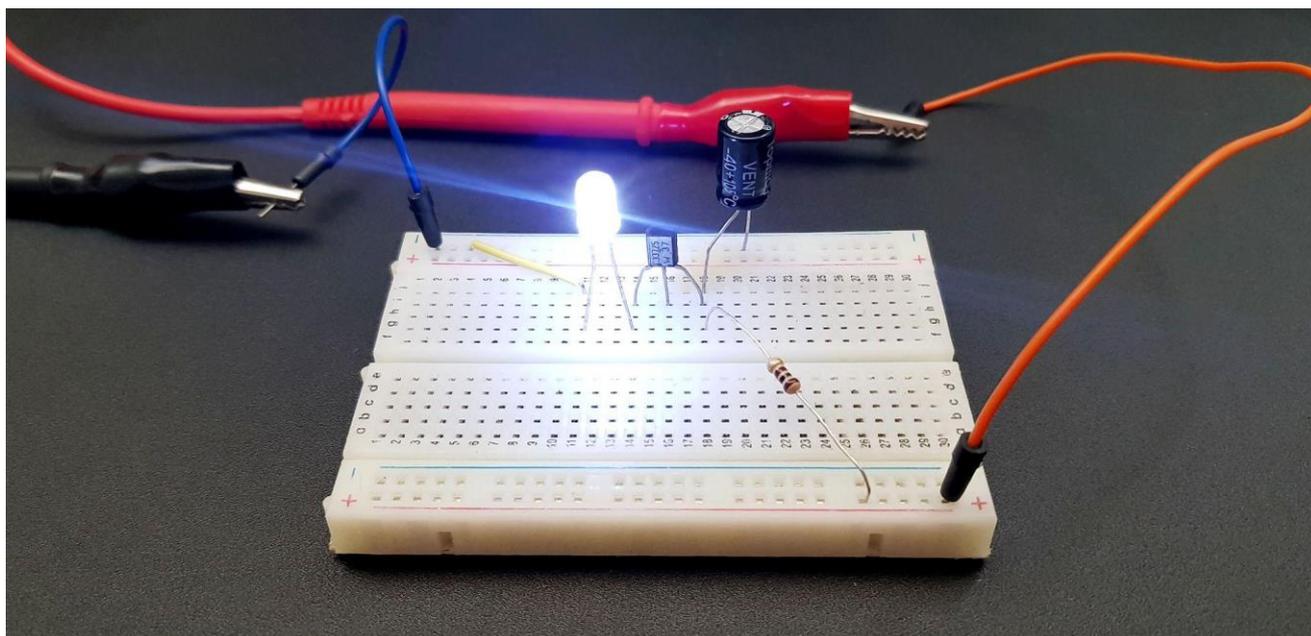
Fonte: Autoria própria

Figura 16 - Simulação do circuito LED *blinker* realizada na plataforma Tinkercad.



Fonte: Tinkercad/Captura de tela realizada pelo autor.

Figura 17 - Foto capturada no momento em que o capacitor descarrega e a corrente passa pelo transistor, acendendo o LED.



Fonte: Autoria própria

Ao utilizar uma fonte variável de 0 a 12 V, por exemplo, é possível controlar o intervalo de tempo do brilho do LED: em uma tensão de 9 V o LED pisca aproximadamente a cada 1 segundo, já em 12 V o LED pisca em frações de 1 segundo. É possível calcular o intervalo de tempo do brilho do LED, na casa dos milésimos de segundos de precisão, a partir da análise de vídeo no *software* livre *Tracker*, como mostram as Figuras 19, 20 e 33.

Lista de componentes para a montagem do circuito *blinker*:

- 1 Protoboard pequena
- 1 LED branco
- 1 transistor NPN C33725 ou BC337
- 1 Capacitor 1000 μ F 16 V
- 1 resistor 470 ohms
- 1 Fonte de 9 a 12 V
- Fio simples para conexão

Um guia rápido em PDF, ilustrado na Figura 18, contendo o passo a passo de como montar um circuito LED *blinker*, intitulado “Como montar um Circuito LED *blinker* em 6 passos” está disponível para ser baixado gratuitamente em <https://zenodo.org/doi/10.5281/zenodo.10594691>. Além das etapas de montagem do

circuito, o guia rápido contém informações sobre os componentes eletrônicos utilizados no experimento e o funcionamento de uma placa protoboard.

Figura 18 - Guia rápido “Como montar um Circuito LED *blinker* em 6 passos”, disponível para ser baixado em PDF em <https://zenodo.org/doi/10.5281/zenodo.10594691>.



Fonte: Autoria própria

O vídeo original utilizado para processamento no *software* livre *Tracker* e um GIF do funcionamento do circuito *blinker* podem ser baixados em: <https://zenodo.org/doi/10.5281/zenodo.10086827>.

O circuito LED *blinker* também pode ser montado utilizando uma plataforma de prototipagem eletrônica de baixo custo, como a Arduino Uno, que pode ser facilmente encontrada em lojas *online* e também em lojas físicas. O processo de montagem do circuito LED *blinker* com o Arduino pode ser visualizado no Apêndice A.

5.2 O SOFTWARE TRACKER ONLINE E ANÁLISE DE VÍDEO

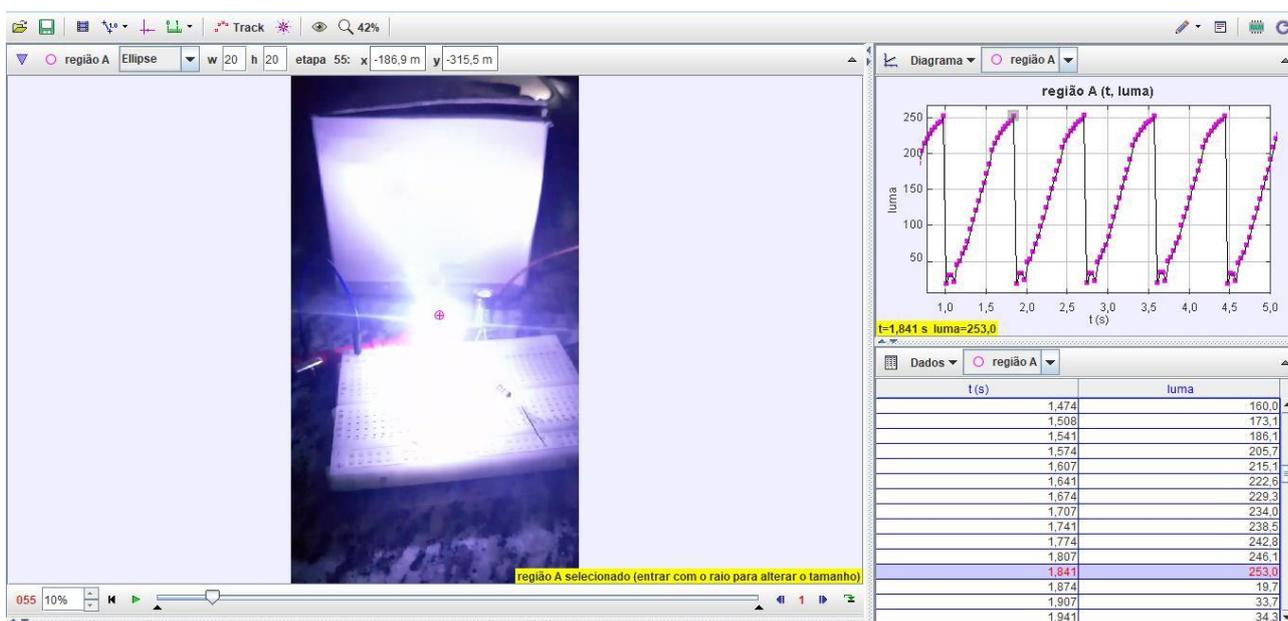
Em sua página pessoal da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Lenz (2023) define o *software* livre *Tracker* como sendo:

“um *software* que foi projetado por Douglas Brown, professor da faculdade de Cabrillo College situada na cidade de Santa Cruz, Califórnia, EUA. Trata-se *software* aberto de análise de imagem e vídeo, criado em parceria com o Open Source Physics, uma comunidade de âmbito mundial que contribui gratuitamente com conceitos físicos, linhas de programa e principalmente com sua dedicação e tempo. Para tal, utilizam-se de bibliotecas da linguagem em Java. Logo, este aplicativo pode ser executado em qualquer sistema operacional, pois depende apenas da máquina virtual Java instalada” (LENZ, 2023).

A partir do experimento circuito LED *blinker* proposto, é importante envolver os estudantes no processo, podendo o professor utilizar o guia rápido “Como montar um Circuito LED *blinker* em 6 passos” para montar o circuito em sala de aula, disponível para download em <https://zenodo.org/doi/10.5281/zenodo.10594691>.

Os estudantes podem utilizar o próprio *smartphone* para gravar os vídeos a serem processados no *software* livre *Tracker*, como gravar um vídeo do circuito LED *blinker* no próprio dispositivo. Tal possibilidade faz com que os estudantes possuam na galeria do *smartphone* os próprios vídeos a serem processados dentro do programa, caráter esse altamente acessível e compartilhável com a turma, por exemplo. Esse processo pode ser visualizado nas Figuras 32 e 35.

Figura 19 - Captura da tela inicial de processamento de vídeo do *software* livre *Tracker*.



Fonte: *Tracker*/Captura de tela realizada pelo autor

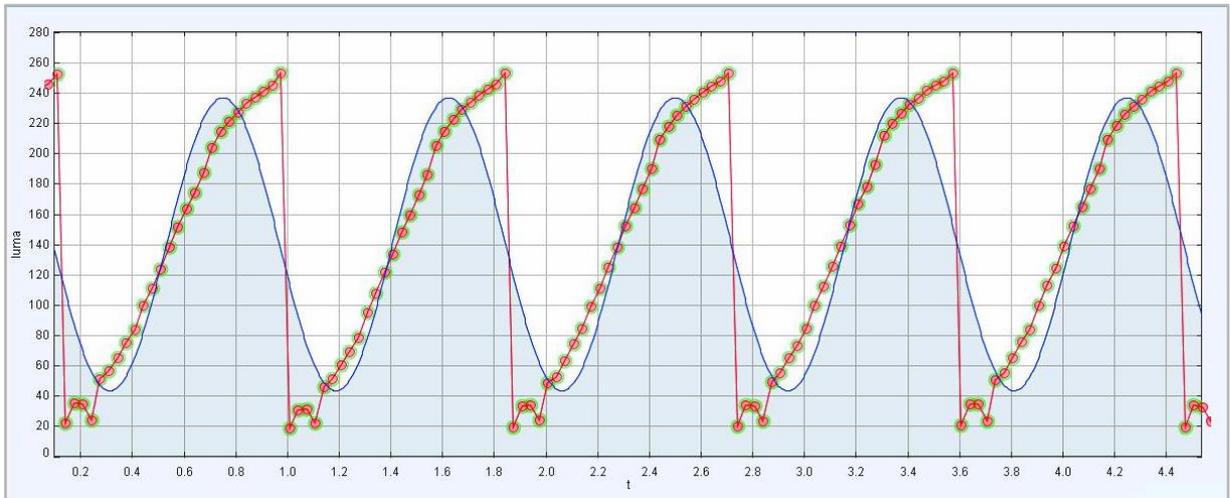
Um passo a passo do processamento de vídeo utilizando o *software* livre *Tracker*, bem como a análise dos dados com o auxílio do ChatGPT, pode ser descrito da seguinte forma:

1. No computador ou laptop, abra o *site* do *Tracker Online* <https://physlets.org/Tracker/TrackerJS/>;
2. Clique em "arquivo" e carregue o vídeo que você gravou do LED;
3. Dê play no vídeo e aguarde até o fim da visualização, após um tempo ele irá para a tela branca do programa;
4. Clique em "Track", depois "novo", em seguida selecione a opção "Região RGB";
5. Agora segure a tecla shift do teclado e clique com o mouse onde aparece o LED no seu vídeo. Um círculo rosa irá aparecer onde você clicou;
6. No canto inferior esquerdo, aperte o ícone verde "play". Logo em seguida o programa irá começar a fazer a análise do vídeo e gravar os dados. Deixe analisar por 5 segundos;
7. Na janela de dados, no canto inferior direito, clique no botão "Dados" e desmarque as opções "x" e "y";
8. Agora clique na coluna tempo "t (s)", no primeiro valor em 0 segundos. Aperte a seta para baixo do teclado para andar pelos valores da tabela;
9. Anote os valores de tempo e de luma (brilho), para quando o brilho do LED é máximo.
Exemplo:

| t | luma | [para t em segundos e luma em RGB (brilho total)] |
|-------|--------|---|
| 0.128 | 253.6 | |
| 0.981 | 254.0 | |
| 1.834 | 254.0; | |
10. Depois de anotar os dados, abra o ChatGPT (se necessário crie uma conta) e peça para ele determinar o intervalo de tempo entre os valores mostrados;
11. Depois que o ChatGPT calcular o intervalo de tempo, peça para calcular a frequência em Hertz dos valores apresentados.

É possível mudar o tamanho da região de análise (região rosa sobreposta ao LED na Figura 13) no *software* livre *Tracker*, para isso basta modificar os valores em pixels de "w" e "h", que aparecem na barra superior da janela "Análise de dados por região". Dependendo do tamanho da região selecionada próxima ao LED, ex.: 500 w e 500 h, o gráfico gerado será levemente reajustado, apresentando um desenho diferente, porém com o mesmo comportamento da relação tempo x intensidade de brilho.

Figura 20 - Captura de tela da janela Ferramenta de Dados do software livre *Tracker*. Eixo X: representa o tempo em segundos. Eixo Y: representa o brilho do LED na unidade luma (de 0 a 255). Parte superior: momento em que o LED brilha com máxima intensidade. Senoide azul: ajuste de curvas (comando "fit") para uma função seno com base nos dados de tempo e brilho (t x luma).

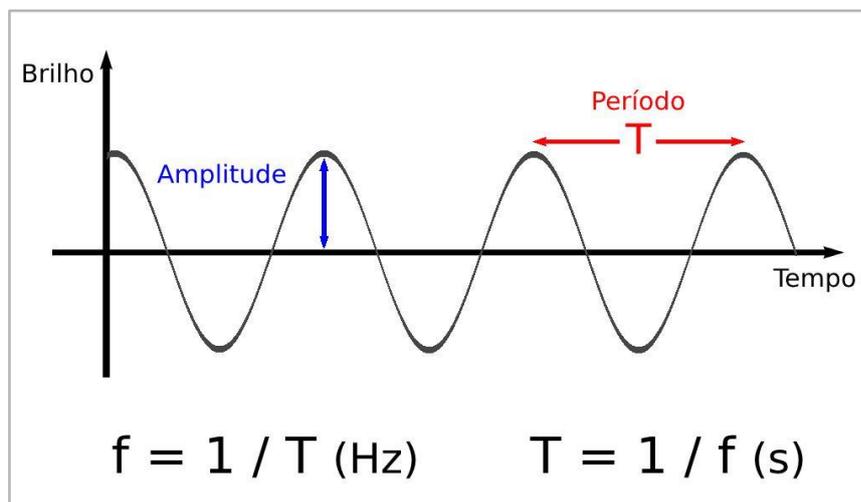


Fonte: *Tracker*/Captura de tela realizada pelo autor

Na Figura 20, é possível perceber uma equidistância entre os pontos do gráfico ao longo do eixo X, o que poderia ser comparado ao intervalo de pulsos de rádio, por exemplo. Esse comportamento pode ser visualizado na Figura 15. Essas distâncias equivalentes, em relação ao eixo X, representam o intervalo de tempo entre cada pulso, ou brilho máximo do LED.

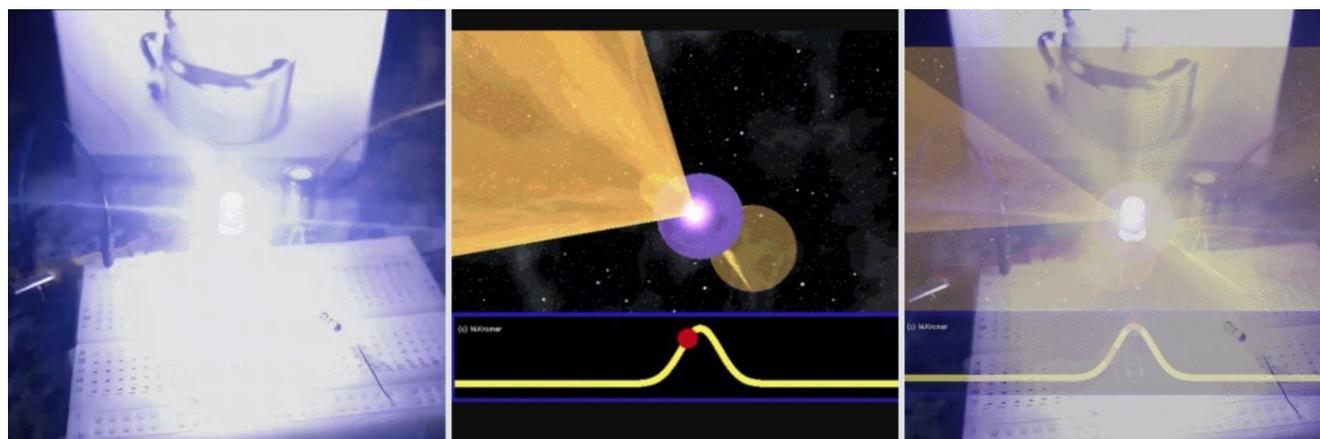
O vídeo do funcionamento do circuito *blinker*, que pode ser baixado e utilizado como exemplo no programa *Tracker*, e um GIF relacionando o brilho do LED com o comportamento de um pulsar, podem ser baixados em: <https://zenodo.org/doi/10.5281/zenodo.10086827>.

Figura 21 - Propriedades básicas de uma onda; Fórmulas gerais de frequência e de período.



Fonte: Autoria própria

Figura 22 - Esquerda: Vídeo original do LED piscando. Centro: GIF da simulação da rotação de um Pulsar. Direita: Sobreposição sincronizada do brilho do LED com o da velocidade de rotação de um pulsar.



Fonte: [A Cosmic Lighthouse](#) - Michael Kramer (University of Manchester)/Autoria própria

Tabela 2 - Dados de tempo e brilho do LED apresentados na análise de vídeo no programa *Tracker*, num intervalo de tempo de aproximadamente 5 segundos. Foram seleccionados apenas os valores de quando o brilho do LED é máximo (próximo de luma 255).

| Tempo (s) | Valor do brilho (RGB) |
|-----------|-----------------------|
| 0,975 | 253,1 |
| 1,841 | 253,0 |
| 2,707 | 253,4 |
| 3,573 | 253,1 |
| 4,439 | 253,1 |
| 5,305 | 253,2 |

Fonte: Autoria própria

Modelos de linguagem avançados, como o ChatGPT, podem ser empregados de maneira estratégica como ferramentas pedagógicas em ambientes de ensino. Esses recursos, quando integrados ao currículo, apresentam o potencial de enriquecer a experiência de aprendizado em sala de aula (SANT'ANA *et al.*, 2023). A seguir serão apresentados exemplos de análise de dados através de inteligência artificial, inserindo comandos simples no *prompt* do modelo de linguagem, com base nos dados apresentados na Tabela 2.

Figura 23 - Dados da Tabela 2 inseridos na área de comando do ChatGPT.

```
"t brilho
0,975 253,1
1,841 253,0
2,707 253,4
3,573 253,1
4,439 253,1
5,305 253,2"

Calcule e mostre o intervalo de tempo para cada brilho.
```

Fonte: ChatGPT. Captura de tela realizada pelo autor

Figura 24 - Resposta realizada pelo ChatGPT através do comando mostrado na Figura 17.

1. Entre o primeiro e o segundo par de valores:
Intervalo de tempo = $1,841 - 0,975 = 0,866$ segundos
2. Entre o segundo e o terceiro par de valores:
Intervalo de tempo = $2,707 - 1,841 = 0,866$ segundos
3. Entre o terceiro e o quarto par de valores:
Intervalo de tempo = $3,573 - 2,707 = 0,866$ segundos
4. Entre o quarto e o quinto par de valores:
Intervalo de tempo = $4,439 - 3,573 = 0,866$ segundos
5. Entre o quinto e o sexto par de valores:
Intervalo de tempo = $5,305 - 4,439 = 0,866$ segundos

Fonte: ChatGPT. Captura de tela realizada pelo autor.

Figura 25 - Resposta realizada pelo ChatGPT quando solicitado para calcular a frequência do brilho do LED.

A frequência é o inverso do intervalo de tempo. Para calcular a frequência, você pode usar a fórmula:

$$\text{Frequência} = 1 / \text{Intervalo de Tempo}$$

No caso, como já calculamos o intervalo de tempo, que é de 0,866 segundos, agora podemos calcular a frequência:

$$\text{Frequência} = 1 / 0,866 \text{ segundos} \approx 1,153 \text{ hertz}$$

Portanto, a frequência é aproximadamente 1,153 hertz (Hz). Isso significa que ocorre um evento (no caso, uma mudança de brilho) a cada 0,866 segundos, o que corresponde a uma frequência de cerca de 1,153 Hz.

Fonte: ChatGPT/Captura de tela realizada pelo autor

Para complementar o experimento e o uso do programa *Tracker*, é possível utilizar, também, um simulador de pulsares, elaborado pelo Nebraska Astronomy Applet Project (NAAP) da Universidade de Nebraska-Lincoln. Nesse simulador (Anexo 2) é possível simular pulsares em movimento circular, onde é mostrado de forma visual o efeito de deslocamento para o vermelho da onda de rádio emitida (*redshift*) e também o deslocamento para o azul (*blueshift*), ambas relacionadas ao Efeito Doppler³.

² *Prompt*. Um *prompt* de modelo de linguagem é uma instrução ou uma série de instruções dadas a um modelo de linguagem para gerar uma resposta. Ele serve como um ponto de partida para o modelo de linguagem, orientando-o sobre o tipo de texto que deve ser produzido. Portanto, o *prompt* desempenha um papel crucial na determinação da saída (resultado gerado) do modelo de linguagem.

³ Efeito Doppler: princípio físico utilizado em instrumentos de medição, caracterizado pela alteração da frequência medida pelo observador em virtude do movimento relativo de aproximação ou afastamento entre a fonte emissora e esse observador.

Portanto, o professor pode utilizar os recursos e técnicas citadas acima para envolver os estudantes numa investigação em sala de aula, desde a montagem do circuito, à captura de vídeos do LED piscando.

Em seguida, é possível utilizar o *software* livre *Tracker* para processar o vídeo gravado e adquirir dados do comportamento observado, para então, relacionar com o comportamento dos pulsares e sua detecção através da radioastronomia. É recomendado, também, utilizar uma ferramenta de linguagem baseada em inteligência artificial, como o ChatGPT, Copilot, Claude, Gemini, etc., para a realização de uma pesquisa estruturada e da interpretação dos dados coletados (Figuras 23 e 25).

5.3 SIMULAÇÃO INTERATIVA PULSAR 3D

A simulação Pulsar 3D representa um avanço significativo no uso de tecnologias interativas para o Ensino de Astronomia e Astrofísica, especialmente para a demonstração de objetos astronômicos exóticos, como os pulsares. Desenvolvida como um recurso didático para ser utilizado em sala de aula, essa simulação permite a visualização e a exploração de diversas características e dinâmicas dos pulsares e das estrelas de nêutrons. A partir do uso dessa simulação é possível compreender os aspectos físicos e dinâmicos desses corpos celestes, sendo possível promover uma experiência imersiva tanto para os estudantes quanto para os educadores.

A simulação Pulsar 3D pode ser acessada em <https://cometsinthesky.github.io/pulsar-3D/>.

Durante a Global Hands-on Universe Conference 2024 (GHOUC 2024), a simulação Pulsar 3D foi oficialmente lançada. A apresentação pode ser assistida na íntegra em https://www.facebook.com/watch/live/?ref=watch_permalink&v=1284263109605448&t=7150.

O simulador Pulsar 3D foi registrado junto ao Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI), em 1º de outubro de 2024, sob o processo de número BR512024003499-4, com o apoio do Centro de Desenvolvimento Tecnológico (CDT) da Universidade de Brasília (UnB) e do Núcleo de Propriedade Intelectual (Nupitec).

A interface do Pulsar 3D apresenta recursos sofisticados de renderização tridimensional, utilizando a biblioteca Three.js – a mesma utilizada pela NASA no [Eyes on the Solar System](#) - para criação de objetos em 3D, controle de câmera e imersão visual. A inclusão de um fundo estelar realista, baseado em fotografias reais e mapas estelares astrométricos e astrofotométricos da NASA, como os catálogos Hipparcos-2, Tycho-2 e Gaia Data Release 2, reforça o caráter autêntico da simulação. Esses mapas mostram a posição, o brilho e a cor de 1,7 bilhão de estrelas, o que acaba criando um ambiente virtual imersivo e interativo, em 3 dimensões, que facilita a contextualização científica e a didática em Astronomia e Astrofísica.

A utilização de um fundo composto por estrelas reais na simulação Pulsar 3D foi uma escolha estratégica para ampliar a imersão e o realismo científico do ambiente virtual. Esse cuidado com a fidelidade astronômica permite que os usuários não apenas explorem os pulsares em um espaço tridimensional imersivo, mas também consigam visualizá-los dentro de um ambiente próximo do real. Essa abordagem favorece uma experiência didática mais realista e conectada à realidade tecnológica atual.

O desenvolvimento da Simulação Pulsar 3D foi realizado com o uso de tecnologias e técnicas de programação, a fim de garantir eficiência e escalabilidade. O código foi escrito na linguagem *JavaScript*, utilizando a biblioteca Three.js para renderização 3D e construção de objetos, gerenciado no editor de código *Virtual Studio Code*, escolhido pela sua interface intuitiva e extensibilidade (Figura 26). O processo de versionamento e o controle de código foi feito através do ambiente Linux, que oferece ferramentas confiáveis para o uso através de um terminal, tornando as operações *git* como *push*, *pull* e *pull request* práticas, rápidas e eficientes. Essas operações favorecem o envio do código-fonte da simulação para um repositório *online* do GitHub, de forma remota, permitindo uma gestão prática e uma organização eficiente do projeto.

A decisão de hospedar a simulação Pulsar 3D no *GitHub Pages* foi fundamentada na praticidade, acessibilidade e custo zero da plataforma, características ideais para projetos educacionais e de divulgação científica. Além disso, o *GitHub Pages* oferece recursos de indexação que facilitam a visibilidade da simulação em pesquisas *online*, aumentando seu alcance e impacto educacional. Essa hospedagem gratuita e integrada ao fluxo de trabalho do repositório *GitHub*

também simplifica atualizações e manutenções, o que permite que melhorias sejam facilmente implementadas e acessadas por usuários em todo o mundo.

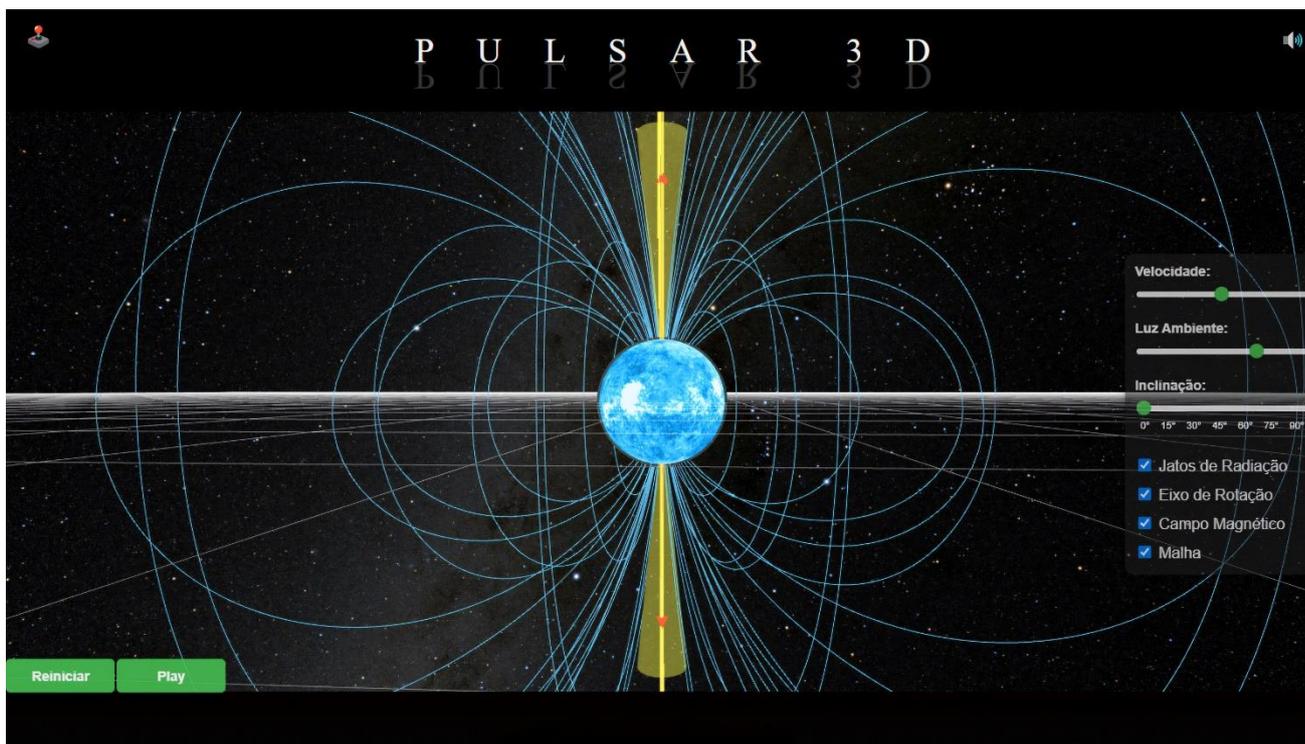
A página do *GitHub* da simulação, onde está alocado o código-fonte, imagens, informações e toda a documentação relacionada à Simulação Pulsar 3D pode ser acessada em <https://github.com/cometsinthesky/pulsar-3D>.

Figura 26 - Exemplo de parte do código Javascript, da seção particles.js para a criação das partículas dos jatos de radiação do pulsar na simulação Pulsar 3D.

```
1 // ADICIONA PARTÍCULAS NOS CONES COMO LINHAS
2 // Definir a quantidade de partículas
3 const quantidadeParticulas = 10000;
4
5 // Definir parâmetros do cone
6 const raioBaseInicial = 0.015;
7 const alturaCone = 2000;
8 const raioBaseFinal = 30; // Vértice do cone
9
10 // Criar a geometria das linhas
11 const particulasGeometry = new THREE.BufferGeometry();
12
13 // Criar arrays para armazenar as posições das linhas
14 const positions = new Float32Array(quantidadeParticulas * 3 * 2); // * 2 porque cada linha tem dois pontos
15
16 // Preencher os arrays com posições ao longo do cone
17 for (let i = 0; i < quantidadeParticulas; i++) {
18   // Gerar coordenadas cilíndricas aleatórias dentro do cone
19   const altura = Math.random() * alturaCone;
20   const alturaNormalizada = altura / alturaCone; // Normaliza a altura entre 0 e 1
21   const theta = Math.random() * Math.PI * 2; // Ângulo aleatório
22
23   // Calcula o raio usando uma função cônica para evitar aglomeração nas bordas
24   const raio =
25     raioBaseInicial + alturaNormalizada * (raioBaseFinal - raioBaseInicial);
26
27   // Converter coordenadas cilíndricas para cartesianas
28   const x = raio * Math.cos(theta);
29   const z = raio * Math.sin(theta);
30
31   // Definir a posição do início da linha
32   positions[i * 6] = x;
33   positions[i * 6 + 1] = altura;
34   positions[i * 6 + 2] = z;
35
36   // Definir a posição do fim da linha (um pouco deslocada)
37   positions[i * 6 + 3] = x;
38   positions[i * 6 + 4] = altura + 5; // Ajuste a altura para um pequeno deslocamento
39   positions[i * 6 + 5] = z;
40 }
41
42 // Adicionar as posições à geometria das linhas
43 particulasGeometry.setAttribute(
44   "position",
45   new THREE.BufferAttribute(positions, 3)
46 );
47
48 // Criar o material das linhas
49 const particulasMaterial = new THREE.LineBasicMaterial({ color: 0xfaed3a });
50
51 // Criar o objeto das linhas
52 const particulas = new THREE.LineSegments(
53   particulasGeometry,
54   particulasMaterial
55 );
```

Fonte: Virtual Studio Code/CodeSnap/Lucas Ferreira (UnB/IF/MNPEF).

Figura 27 - Tela do simulador Pulsar 3D, com o menu interativo no canto direito, botões de play, pausa e reiniciar no canto inferior esquerdo. No canto superior esquerdo está o botão de controles e no canto superior direito está o botão de ligar e desligar o som.



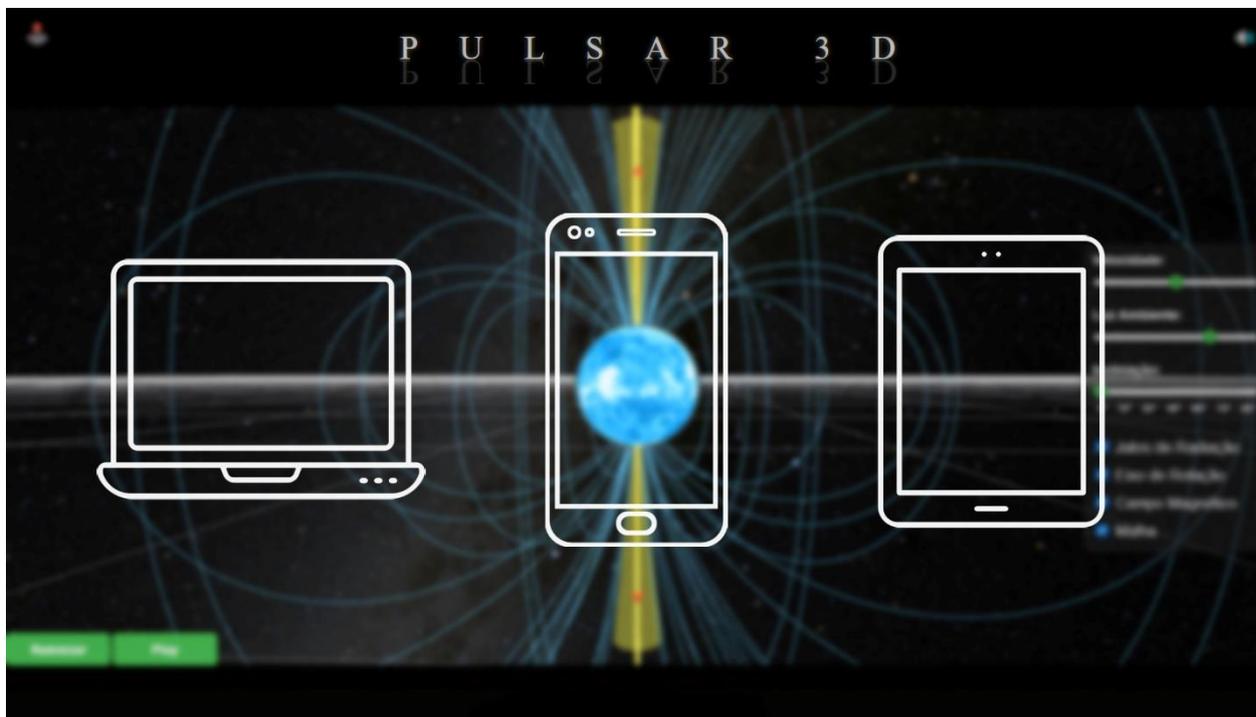
Fonte: [GitHub Pages: cometsinthesky/Lucas Ferreira \(UnB/IF/MNPEF\)](https://github.com/cometsinthesky/Lucas-Ferreira).

Além do fator estético a simulação oferece controles interativos (chamados na programação de sliders), que permitem ao usuário ajustar diversos parâmetros, como a velocidade de rotação do pulsar, a inclinação do eixo de rotação, a visualização dos feixes de radiação emitidos pelo pulsar, as linhas de campo magnético, a luz ambiente, etc. Esses recursos não apenas enriquecem a experiência, mas também possibilitam a criação de cenários customizáveis que ilustram diferentes fenômenos relacionados aos pulsares. A funcionalidade de grade 3D e de visualização do eixo de rotação, facilita a compreensão da escala e das propriedades do pulsar.

Os requisitos técnicos para a utilização da simulação Pulsar 3D, pelos estudantes e professores, foram planejados para maximizar a sua acessibilidade em uma ampla gama de dispositivos. Em computadores pessoais, a simulação é compatível com sistemas operacionais modernos, como Windows 7+, macOS 10.11+ e Linux, além de navegadores como Chrome, Firefox, Safari e Edge. O uso de WebGL 2.0 pelos navegadores e *hardware* de aceleração gráfica pelos dispositivos destaca a ênfase no desempenho visual e apresentação da simulação, ao mesmo tempo que é uma simulação leve e confiável. Para dispositivos móveis, como *smartphones* e

tablets, são necessários apenas sistemas atualizados, como iOS 11.0+ ou Android 7.0+, garantindo que a experiência imersiva da simulação se mantenha consistente em diferentes dispositivos.

Figura 28 - Dispositivos e responsividade do simulador Pulsar 3D, podendo ser acessada através de computadores, *smartphones* e *tablets*.



Fonte: [GitHub Pages: cometsinthesky/Lucas Ferreira \(UnB/IF/MNPEF\)](https://github.com/cometsinthesky/Lucas-Ferreira).

A implementação do Pulsar 3D reflete uma abordagem inovadora no ensino de física e de ciências, pois busca integrar aspectos de interatividade, conectividade e uso de tecnologias em sala de aula, como simulações interativas, que atendem às demandas e realidades da educação atual. A simulação não apenas facilita a compreensão de conceitos avançados de Astrofísica, como também incentiva o desenvolvimento de habilidades críticas, como o raciocínio espacial e a análise de fenômenos complexos. Ao possibilitar o aprendizado ativo e exploratório, a ferramenta contribui de forma significativa para a promoção da alfabetização científica e para o engajamento dos estudantes em temas relevantes para a compreensão de conceitos em Astronomia, Astrofísica, Universo, etc.

Essa simulação destaca o potencial das tecnologias digitais em transformar o ensino de física e de ciências, i. e. oferecendo recursos que vão além das limitações dos métodos e aulas tradicionais. Ao incorporar imagens descritivas e explicações detalhadas, o Pulsar 3D não é apenas uma ferramenta interativa, é também um

recurso didático para que professores possam utilizar em projetos multi e interdisciplinares e atividades em sala de aula. A simulação Pulsar 3D exemplifica como a integração entre tecnologia, *design* visual, uso de imagens, simulação 3D e métodos de ensino podem criar experiências de aprendizado significativas, conectando e trazendo os estudantes para o universo dos pulsares de maneira prática, acessível e relevante.

Um plano de aula detalhado em como utilizar o Pulsar 3D em sala de aula e em projetos pode ser acessado em <https://zenodo.org/records/13824696>.

Figura 29 - Plano de aula e atividades a partir do uso da simulação Pulsar 3D.

Pulsar 3D Simulation Lesson Plan (Class Activity)

FERREIRA, LUCAS (Researcher)¹; ANDRADE, VANESSA CARVALHO DE (Supervisor)¹

Description: This educational resource provides a comprehensive lesson plan for exploring the properties and behavior of pulsars using an interactive 3D simulation, both in English and Portuguese. Aimed at middle school, high school, and undergraduate students, the lesson offers a hands-on learning experience to understand how pulsars emit radiation, the role of their magnetic fields, and the effects of their rotation. The lesson is designed to last 50 minutes and includes engaging activities such as class discussions, a guided exploration of the Pulsar 3D simulation, and scenario-based learning.

Students will have the opportunity to visualize these complex concepts through an interactive 3D simulation accessible via computers, tablets, or smartphones. A set of evaluation questions and discussion prompts is also provided to assess student understanding and encourage deeper reflection on Pulsars.

Keywords: Pulsars; Neutron Stars; Pulsar 3D Simulation; 3D Simulation; Astronomy Education; Magnetic Fields; Pulsar Emissions; Science Education; Science Outreach; Interactive Learning.

Citation: FERREIRA, L.; ANDRADE, V. C. Pulsar 3D Simulation Lesson Plan (Class Activity). Zenodo, 2024. In: <https://zenodo.org/records/13824696>

Files

Plano de aula simulação Pulsar 3D (PT-BR).pdf

UnB **Plano de aula simulação Pulsar 3D**
Lucas Ferreira (UnB/IF/MNPEF); Prof.ª Dr.ª Vanessa Andrade (UnB/IF/MNPEF)

Tópico da aula: Explorando as características e o comportamento dos Pulsares através de uma simulação interativa em 3D.

Etapas: Ensino Fundamental II, Ensino Médio e Ensino Superior

Objetivo: Os estudantes explorarão as propriedades dos pulsares interagindo com uma simulação 3D. Eles aprenderão como os pulsares emitem radiação, entenderão seus campos magnéticos e observarão como sua rotação afeta esses fenômenos.

Details

DOI: [10.5281/zenodo.13824696](https://doi.org/10.5281/zenodo.13824696)

Resource type: Lesson

Publisher: Zenodo

Conference: Global Hands-On Universe Conference 2024 (G-HOU), Online, 24-27 September, 2024

Languages: English, Portuguese

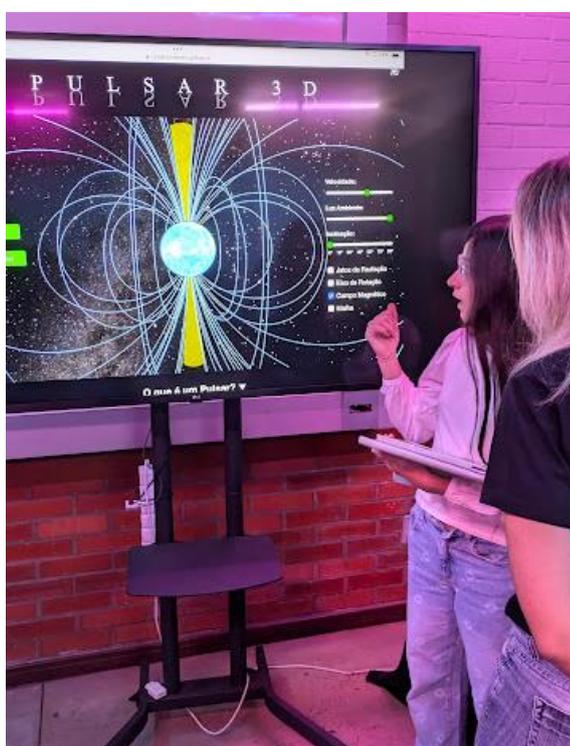
Fonte: [Zenodo](https://zenodo.org/records/13824696)/Lucas Ferreira (UnB/IF/MNPEF) e Vanessa C. Andrade (UnB/IF/MNPEF).

Através do plano de aula é possível explorar as propriedades e o comportamento dos pulsares, de forma direcionada e utilizando a simulação Pulsar 3D em sala de aula. O plano de aula está disponível em português e em inglês. Destinada a estudantes do ensino fundamental II, ensino médio e graduação, o plano de aula proporciona uma experiência prática de aprendizado para compreender como os pulsares emitem radiação, o papel de seus campos magnéticos e os efeitos de sua rotação. Com duração de 50 minutos, o plano de aula inclui atividades *hands-on*, uso de recursos digitais para o ensino de física, astronomia e ciências, bem como discussões em sala, uma exploração guiada da simulação 3D do Pulsar e

aprendizagem baseada em cenários. Os estudantes terão a oportunidade de visualizar esses conceitos complexos por meio de uma simulação 3D interativa, acessível em computadores, *tablets* ou *smartphones*. Um conjunto de perguntas avaliativas e sugestões de discussão também está disponível para verificar a compreensão dos estudantes e incentivar uma reflexão mais aprofundada sobre os pulsares, a descoberta realizada por Jocelyn Bell e os impactos da descoberta dos pulsares na Astronomia e na Ciência.

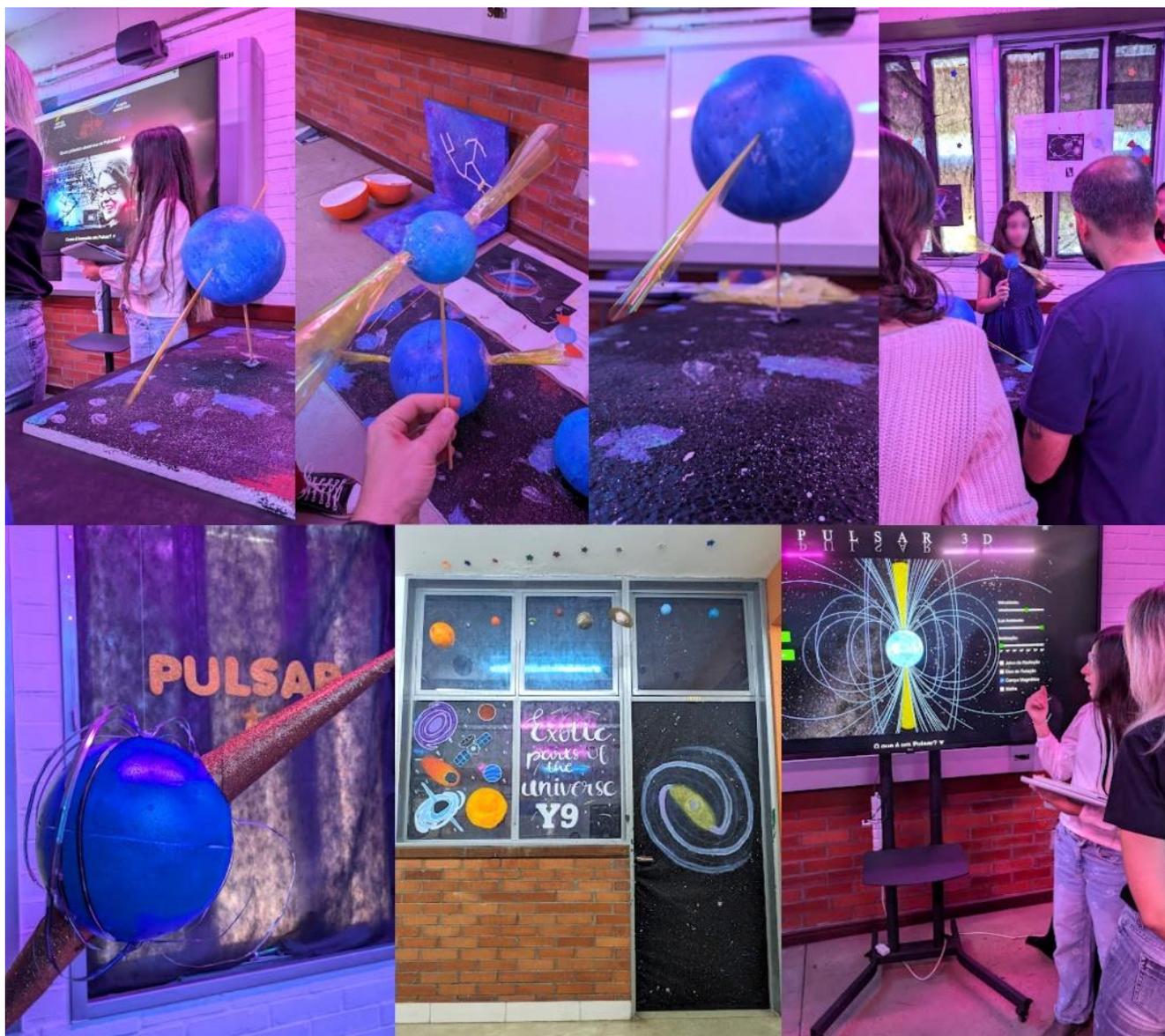
Durante o 2º trimestre de 2024, foi realizada uma feira de ciências bilíngue interdisciplinar em uma escola particular do Distrito Federal, intitulada “Knowledge Fair”, pelos estudantes do 6º ao 9º ano. Um projeto interdisciplinar que contou com a participação ativa de todos os professores do segmento, de Inglês à Ciências, de Matemática à Geografia. Entre as atividades da Knowledge Fair, os estudantes realizaram: Experimentos interativos, maquetes astronômicas, uso de simulações 3D em apresentações, mural de nebulosas coloridas em aquarela, imagens científicas com o auxílio de Inteligência Artificial, apresentação de vídeos em Realidade Virtual 360º, maquete de inclinação da Terra, desfile Astronômico dos estudantes e salas temáticas sobre Astronomia e Universo.

Figura 30 - Estudante do ensino fundamental utilizando um *tablet* para controlar a simulação Pulsar 3D em tempo real durante a apresentação para os participantes da feira de ciências bilíngue.



Fonte: Lucas Ferreira (UnB/IF/MNPEF).

Figura 31 - Uso da simulação Pulsar 3D para apresentação durante uma feira de ciências bilingue. Maquetes de pulsares elaboradas por estudantes do ensino fundamental.



Fonte: Registro e edição por Lucas Ferreira (UnB/IF/MNPEF).

6 SEQUÊNCIA DIDÁTICA E PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Nesta sequência didática (SD), os estudantes são imersos na história da descoberta dos pulsares por Jocelyn Bell, explorando sua contribuição para a ciência e refletindo sobre o papel das mulheres na pesquisa científica. Exploram, também, a importância científica da descoberta dos LEDs e suas aplicações no cotidiano. Em seguida, eles participam de uma atividade prática de montagem de um circuito LED *blinker* e experimentação livre para compreender os princípios básicos da eletrônica, em um ambiente fora da sala de aula convencional. Através de uma narrativa audiovisual, com o uso de imagens e de vídeos, os estudantes são introduzidos aos conceitos de estrelas de nêutrons e pulsares e exploram as características físicas desses objetos astronômicos exóticos através de um simulador 3D interativo, com o auxílio de computadores, *tablets* ou *smartphones*.

A SD continua com os estudantes realizando a análise dos vídeos capturados do funcionamento do circuito LED *blinker*, com o auxílio de um *smartphone*, utilizando o *software* livre de análise de vídeo *Tracker Online*, seguido do envio dos resultados – gráficos – obtidos no *Tracker Online*. Os estudantes utilizam IAs para realizar o processamento dos dados gerados no programa *Tracker Online*, que também são enviados como atividade avaliativa. Essa experiência multidisciplinar promove não apenas a compreensão de conceitos em Física, Astronomia, Astrofísica e Eletrônica, mas também o desenvolvimento de habilidades de pesquisa, experimentação e análise de dados, enquanto estimula a curiosidade e a criatividade dos estudantes.

A SD “Dos LEDs aos Pulsares” foi dividida em 5 momentos e sua aplicação ocorreu em um período de 3 semanas, em duas etapas, uma no ensino médio ao final do segundo semestre de 2023, outra no ensino fundamental no segundo semestre de 2024, contando com a participação de 33 estudantes do ensino fundamental e médio, sendo 10 estudantes da 2ª série, 8 estudantes do 8º ano e 15 estudantes do 9º ano. A estrutura da SD pode ser visualizada em maior detalhe no Quadro 3.

A SD foi apresentada à coordenação pedagógica da escola e estruturada para ser realizada em um formato de projeto multidisciplinar, o documento encaminhado à coordenação pedagógica pode ser visualizado no Apêndice C. Cada momento da SD teve duração de 50 minutos, sendo a duração de uma aula adotada pela escola.

Quadro 2 - Temas das apresentações dos grupos do 8º e 9º ano.

| Grupos | Temas |
|---------|---|
| Grupo A | Estudos Iniciais de um Pulsar e a Detecção de um Pulsar |
| Grupo B | História dos LEDs e Seus Impactos na Sociedade |
| Grupo C | História da Radioastronomia e o Pulsar Mais Longo Observado |
| Grupo D | História de Jocelyn Bell e a Detecção do Pulsar CP1919 |

Fonte: Autoria própria.

Quadro 3 - Estrutura geral da sequência didática e experimento “Dos LEDs aos Pulsares”.

| Sequência Didática “Dos LEDs aos Pulsares” | |
|--|--|
| Momento | Conteúdos e estratégias |
| Aula 1 | <ul style="list-style-type: none"> - Introdução ao espectro eletromagnético (EM) - Estrutura de uma onda EM - Regiões do EM - Exemplos e aplicações do EM no dia a dia |
| Aula 2 | <ul style="list-style-type: none"> - Introdução sobre circuitos elétricos - Introdução sobre componentes eletrônicos - Física dos capacitores - Montagem do circuito LED <i>blinker</i> em sala de aula com o auxílio do recurso <u>“Como montar um Circuito LED <i>blinker</i> em 6 passos”</u> |
| Aula 3 | <ul style="list-style-type: none"> - Contextualização histórica dos pulsares - Utilização do <u>vídeo sobre a carreira de Jocelyn Bell, a engenhosa detecção dos pulsares, produzido pelo The New York Times</u> - Composição e estrutura de um pulsar - Radioastronomia e como são detectados os pulsares |
| Aula 4 | <ul style="list-style-type: none"> - Funcionamento do circuito LED <i>blinker</i> - Captura dos vídeos com o <i>smartphone</i> em sala de aula - Introdução ao <i>software</i> livre <i>Tracker Online</i> - Funções e processamento de vídeo no <i>Tracker Online</i> - Utilização do recurso <u>“Roteiro passo a passo <i>Tracker Online</i> análise região RGB”</u> - Instruções para a entrega do trabalho final na plataforma <i>Google Classroom</i> |

Fonte: Autoria própria.

No Momento 1, os estudantes foram introduzidos ao contexto histórico dos pulsares e a contribuição da astrofísica Jocelyn Bell para a Astronomia e para a Ciência. Nesse momento, os estudantes foram divididos em quatro grupos e os temas foram distribuídos para cada grupo. Eles tiveram que elaborar *slides* com textos e

imagens para uma apresentação em inglês do tema (Figuras 32 e 33). Os temas podem ser visualizados no Quadro 2.

Ainda no Momento 1, os estudantes assistiram o documentário sobre a vida e descoberta de Jocelyn Bell, produzido pelo The New York Times, em seguida, realizaram um debate em sala de aula e como atividade avaliativa foi solicitado que respondessem um roteiro *online*, contendo 9 perguntas sobre os tópicos abordados no documentário (Quadro 4). Os estudantes enviaram a atividade avaliativa no formato Word e PDF.

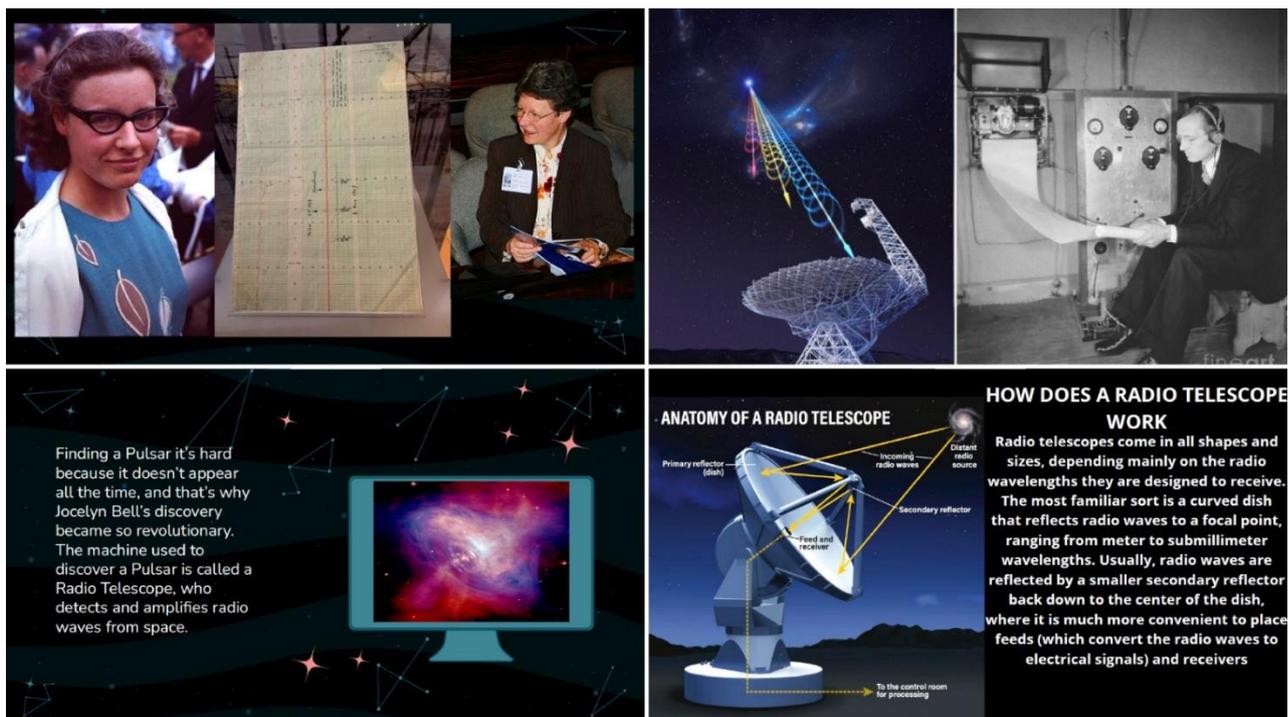
Quadro 4 – Perguntas da atividade avaliativa sobre o documentário da Jocelyn Bell realizada com o 8º e 9º ano do ensino fundamental.

| Questões | Perguntas |
|-----------|--|
| Questão 1 | Por que Jocelyn Bell decidiu estudar Astronomia? |
| Questão 2 | O que Jocelyn Bell estudou no seu doutorado? |
| Questão 3 | O que Jocelyn Bell descobriu? |
| Questão 4 | Como Jocelyn Bell detectou o Pulsar CP1919? |
| Questão 5 | Por que sua descoberta foi tão importante para a Astronomia? |
| Questão 6 | Qual é a sua opinião sobre a injustiça com Jocelyn em relação à nomeação do Prêmio Nobel pela descoberta dos pulsares? |
| Questão 7 | Você acredita que o professor dela mereceu o Prêmio Nobel? |
| Questão 8 | Quais foram os impactos na Astronomia após a descoberta dos pulsares por Jocelyn Bell? |
| Questão 9 | Descreva em detalhes o que é um Pulsar |

Fonte: Autoria própria.

No Momento 2, os estudantes foram introduzidos aos temas de circuitos elétricos, componentes eletrônicos e *protoboard*. Eles interagiram e tocaram nos componentes e manusearam a *protoboard*. Utilizaram, também, no *smartphone* o guia digital “Como montar um circuito LED *blinker* em 6 passos” e exploraram os princípios básicos de eletrônica, componentes de um circuito e o funcionamento do LED.

Figura 32 - Apresentações de *slides* elaboradas pelos estudantes do 8º ano.

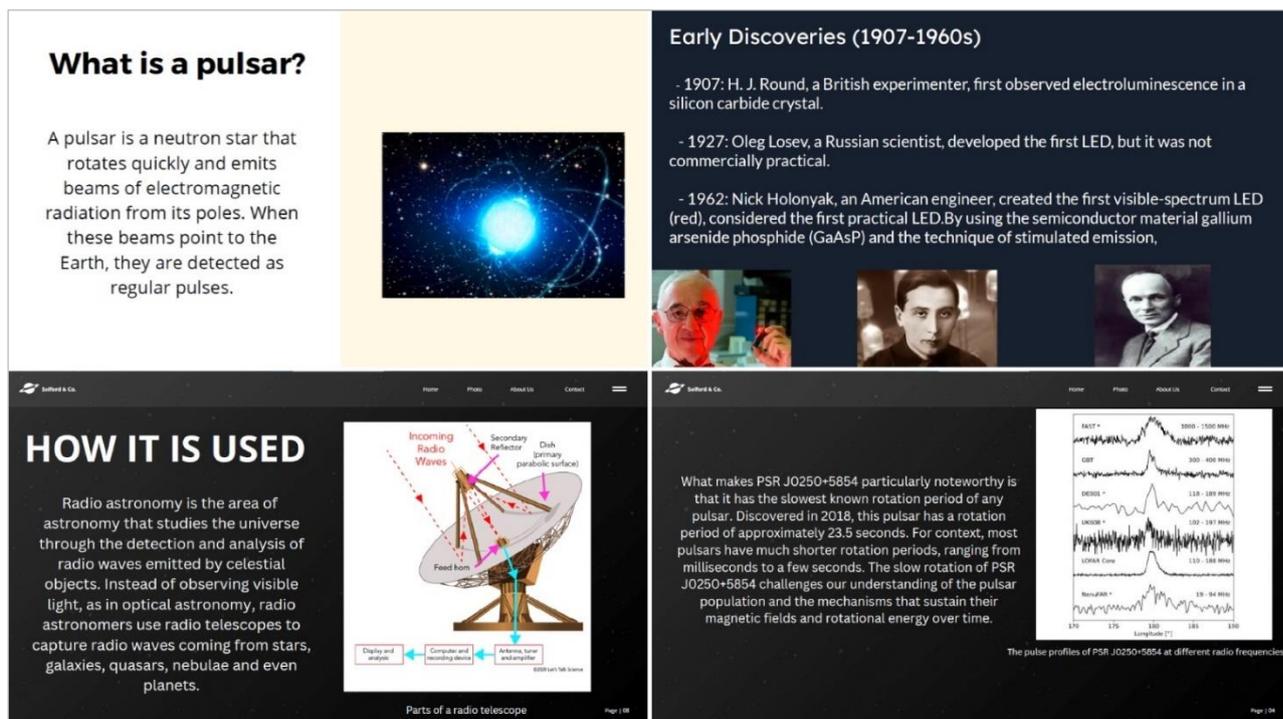


Fonte: Autoria própria.

No Momento 3, os estudantes se envolveram com a definição, estrutura e funcionamento dos pulsares e estrelas de nêutrons, através de um *site* e simulação 3D desenvolvida pelos autores, intitulado Pulsar 3D. No *site*, é possível clicar nos títulos e expandi-los, onde parágrafos e textos com definições aparecem próximos das imagens. A partir da simulação Pulsar 3D, os estudantes puderam visualizar e interagir de forma tridimensional e melhor compor a concepção de diversas características de um pulsar, como escala e dimensão, emissão de radiação, interação do campo magnético, superfície e atmosfera do pulsar, rotação, etc. O *site* e simulação Pulsar 3D foi desenvolvido de forma responsiva, de forma que os estudantes puderam acessar a simulação através de *smartphones*, *tablets*, *laptops* e computadores.

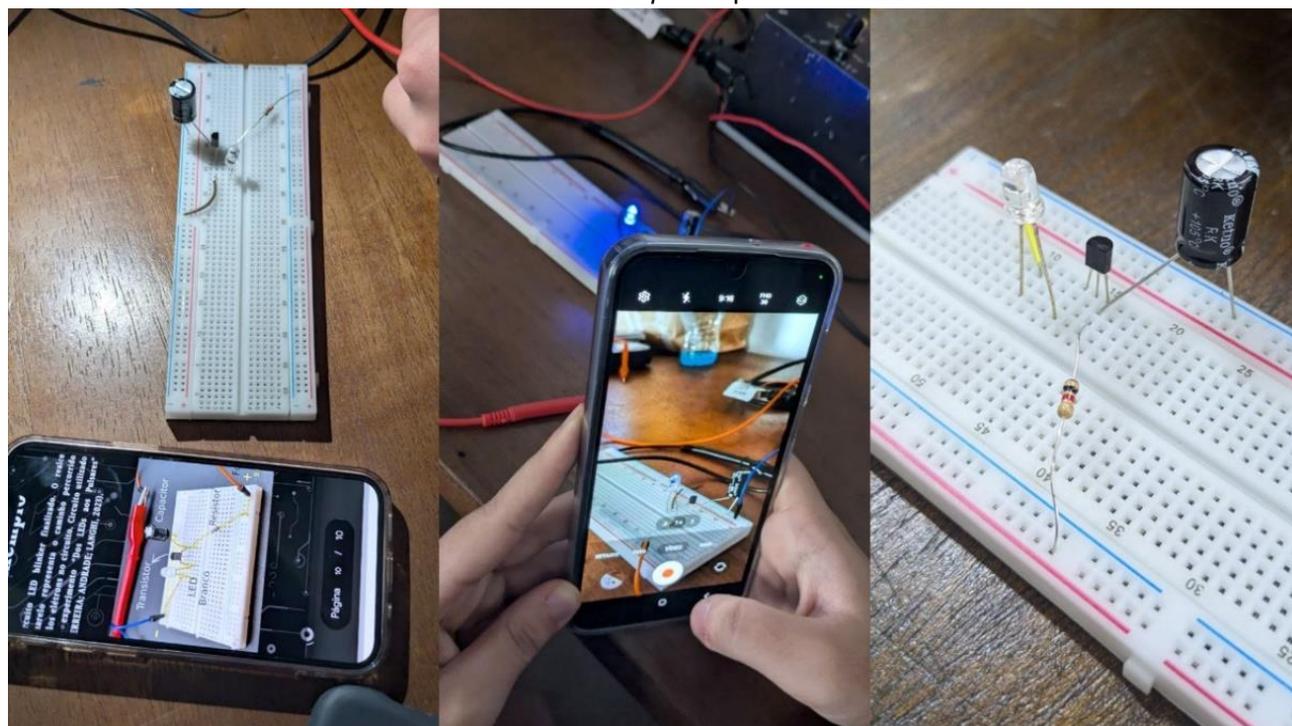
No Momento 4, os estudantes realizaram na Sala *Maker* o experimento prático para simular o comportamento dos pulsares, através da construção de um circuito LED *blinker*, com o auxílio do guia de montagem digital “Como montar um circuito LED blinker em 6 passos” no *smartphone*. Nesse momento, os estudantes realizaram a rotatividade entre os grupos. No final da atividade, realizaram a captura do vídeo do LED piscando, utilizando a câmera do próprio *smartphone* (Figura 34). O vídeo gravado, foi utilizado posteriormente no programa de análise de vídeo *Tracker Online* (Figura 35).

Figura 33 - Apresentações de *slides* elaboradas pelos estudantes do 9º ano.



Fonte: Autoria própria.

Figura 34 - Realização do Momento 4 na Sala *Maker*. Montagem dos circuitos LED *blinker* e captura dos vídeos com o *smartphone* pelos estudantes.



Fonte: Autoria própria.

No Momento 5, os estudantes realizam a análise dos vídeos capturados com os *smartphones* no *software* livre e analisador de vídeo *Tracker Online*. Através de um roteiro passo a passo de como utilizar o *Tracker Online*, elaborado pelos autores e disponibilizado na plataforma da escola, os estudantes seguiram um passo a passo de como carregar e analisar o vídeo do LED no programa *Tracker Online* (Figura 35). Em sequência, os estudantes analisaram os dados gerados pelo programa *Tracker Online* com o auxílio de inteligência artificial, como ChatGPT, Microsoft Copilot, Gemini, etc., para determinar a frequência do brilho do LED. Ao final da atividade, os estudantes enviaram os gráficos do *Tracker Online* e capturas de tela dos textos e respostas elaboradas pelos programas de inteligência artificial, na plataforma utilizada pela escola (Figura 38).

A culminância da SD se deu através de uma conversa e debate em sala de aula, sobre cada Momento e a percepção dos estudantes e grupos em relação às experiências e temas propostos, com foco: nas dificuldades encontradas por eles; no que mais chamou a atenção deles na realização da SD; se conseguiram entender a relação entre o circuito LED *blinker* com o comportamento e detecção de um pulsar; no manuseio do programa *Tracker Online*; interpretação dos dados com uso de inteligência artificial; no uso da simulação Pulsar 3D para compreender a estrutura e dinâmica dos pulsares; na importância de estudar as contribuições de Jocelyn Bell para a astronomia; nas questões de injustiça e sexismo sofrido por Jocelyn Bell; na experiência da SD como um todo, em especial como uma imersão em pulsares, circuitos eletrônicos e LEDs.

Figura 35 - Realização do Momento 5 em sala de aula. Análise dos vídeos capturados com o *smartphone* pelos estudantes através do *software* livre *Tracker Online*. Gráficos de tempo x brilho do LED, gerados pelos estudantes.



Fonte: Autoria própria.

7 ANÁLISE E DISCUSSÃO

7.1 Metodologia de análise

Esse estudo apresenta natureza quanti-quali, visto que almeja descrever e interpretar os dados construídos e não com a enumeração de dados e tratamentos estatísticos. Para a construção dos dados utilizou-se dois instrumentos: questionários estruturados, respondidos pelos estudantes durante o trabalho; documentos produzidos pelos estudantes durante a pesquisa e o diário de campo produzido pelo pesquisador.

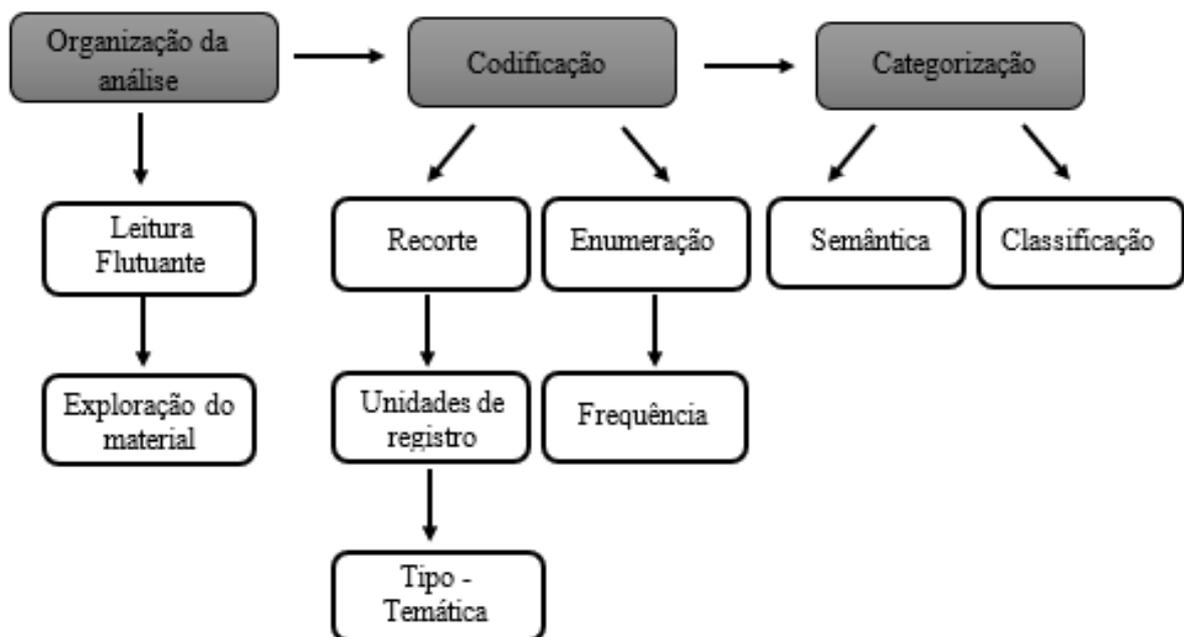
O corpus desta pesquisa foi construído em duas etapas: a primeira no segundo semestre de 2023, durante quatro aulas do componente curricular de Física da 2ª série do Ensino Médio de uma escola da rede privada de Brasília – DF. Para a construção dos dados foi desenvolvida uma sequência didática para a aplicação do experimento “Dos LEDs aos Pulsares”. A implementação da proposta contou com a participação voluntária de 10 estudantes e ocorreu no contraturno escolar; a segunda foi dividida em 5 momentos e sua aplicação ocorreu no turno regular em um período de 3 semanas, no ensino fundamental no segundo semestre de 2024, contando com a participação de 23 estudantes, sendo 8 estudantes do 8º ano e 15 estudantes do 9º ano.

A análise dos dados dessa pesquisa foi conduzida seguindo os preceitos metodológicos estabelecidos por Bardin (2004)(Figura 36), iniciando-se pela fase de pré-análise. Nessa etapa inicial, foi feita a organização sistemática do material coletado, que incluiu dados provenientes do questionário estruturado *online* aplicado aos estudantes (ao final da proposta e SD) e observações realizadas durante a execução do experimento e SD "Dos LEDs aos Pulsares".

Para a coleta dos dados foi utilizada a ferramenta *online* Formulários da empresa Google, contendo um questionário estruturado com perguntas de múltipla escolha acerca dos pulsares, do circuito LED *blinker* e da aplicação do experimento. A seguir serão exibidos gráficos elaborados a partir das respostas obtidas no questionário *online* aplicado aos estudantes. Link para o questionário aplicado: <https://forms.gle/oQL7D2YFfR3fcWKi6>.

O corpus analítico constituiu-se de um conjunto heterogêneo de documentos, abrangendo tanto dados quantitativos quanto qualitativos. Os dados quanti-quali, representados nos Gráficos 1 a 24, forneceram um panorama abrangente das percepções estudantis, enquanto as respostas às questões abertas, sistematizadas nos Quadros 5 a 8, possibilitaram uma compreensão mais aprofundada das experiências individuais dos participantes. Complementarmente, foram incorporados ao corpus os *feedbacks* espontâneos dos estudantes, coletados após a realização do experimento, os quais agregaram perspectivas não estruturadas e enriquecedoras à análise.

Figura 36 - Esquema das etapas da Análise de Conteúdo seguidas nesse trabalho.



Fonte: FLOR DA ROSA; BATISTA; SANTOS (2024, p. 198).

A etapa de leitura flutuante do material permitiu a formulação de hipóteses preliminares, fundamentadas tanto nas impressões iniciais quanto no referencial teórico de ensino de física, astronomia e astrofísica. As hipóteses levantadas indicaram três aspectos principais, sendo eles: a potencialidade da integração tecnológica e prática no engajamento dos estudantes do ensino fundamental e médio; a eficácia do uso de analogias entre fenômenos cotidianos e conceitos astronômicos como facilitadores para o aprendizado; e as implicações pedagógicas sobre o uso da inteligência artificial no processo de ensino-aprendizagem.

Essas hipóteses foram formuladas de acordo com as tendências contemporâneas em educação em ciências, conforme apontado por Osborne e Dillon (2010), que enfatizam a relevância da contextualização, experimentação e integração tecnológica no processo educacional. Essa fundamentação teórica, aliada à análise sistemática dos dados coletados, possibilitou uma investigação robusta e cientificamente embasada das questões de pesquisa propostas.

O processo de análise foi estruturado de forma a incluir tanto os aspectos quantitativos quanto qualitativos, o que permitiu uma compreensão geral dos fenômenos estudados. Essa abordagem metodológica mista proporcionou uma triangulação dos dados, que contribuiu para a validade e a confiabilidade dos resultados obtidos, além de mostrar uma perspectiva mais completa sobre a efetividade da SD e intervenção pedagógica proposta.

Na fase de exploração do material, foi realizada uma codificação dos dados coletados, incluindo as produções imagéticas e trabalhos desenvolvidos pelos estudantes, i. e. as apresentações de *slides* dos temas propostos na SD. Esse processo de codificação possibilitou a transformação dos dados brutos em unidades de registro significativas, que foi possível estabelecer bases para que a análise fosse realizada.

A partir do processo de codificação, foi possível elencar seis categorias de análise, que serviram como eixos estruturantes para a interpretação dos resultados. Essas categorias foram desenvolvidas através de um processo tanto indutivo, emergindo naturalmente dos dados coletados, quanto dedutivo, fundamentando-se nas hipóteses iniciais e no referencial teórico que embasa a pesquisa.

A primeira categoria, "Engajamento e Motivação", foi estabelecida para examinar o nível de interesse e participação ativa dos estudantes durante a SD e experimento, com foco específico no impacto que a abordagem prática e tecnológica teve no aprendizado de física, astronomia e astrofísica.

A segunda categoria, "Compreensão de Conceitos", concentrou-se na avaliação do entendimento dos estudantes sobre os conceitos físicos e astronômicos abordados, com ênfase na compreensão da relação da analogia entre o circuito LED *blinker* e os pulsares.

A terceira categoria, "Percepção sobre Tecnologias Educacionais", foi estruturada para analisar as atitudes e opiniões dos estudantes quanto ao uso de tecnologias no processo de ensino-aprendizagem, destacando especialmente a integração da inteligência artificial e o uso do *software Tracker Online*.

A quarta categoria, "Multidisciplinaridade", foi delineada para examinar a eficácia da SD e experimento proposto na interrelação com diferentes áreas do conhecimento, visando avaliar a capacidade em promover uma compreensão geral e contextualizada dos fenômenos estudados.

A quinta categoria, "Desafios e Limitações", deu-se no âmbito da identificação e análise dos obstáculos encontrados durante a realização da SD e do experimento proposto, considerando tanto a perspectiva dos estudantes quanto do professor.

Por último, a sexta categoria, "Perspectiva CTSA", foi estabelecida para analisar como o experimento foi capaz de promover conexões entre o conhecimento científico e suas implicações tecnológicas, sociais e ambientais.

É importante frisar que essas categorias não foram estabelecidas como unidades isoladas, mas como elementos que estão interconectados e que se sobrepõem, o que reflete a natureza complexa e multifacetada da SD e do experimento realizado. Essa interação entre as categorias permitiu analisar uma perspectiva mais rica e abrangente dos resultados, o que possibilitou uma compreensão mais profunda dos fenômenos observados. Ainda assim, a análise que segue busca compreender essas interrelações, através de uma visão detalhada e multidimensional dos resultados obtidos, contribuindo para uma compreensão geral do impacto educacional da SD e do experimento realizado.

Para a análise do engajamento e motivação, foram utilizados dados quantitativos vindos de questionários estruturados, somado às respostas qualitativas coletadas através de perguntas abertas. A interpretação desses dados foi fundamentada na teoria educacional de Gowin (1981), particularmente em sua perspectiva sobre a captação e compartilhamento de significados na tríade educativa. As respostas dos estudantes foram categorizadas em níveis de motivação, e as declarações qualitativas foram analisadas para identificar padrões de engajamento e evidências de compartilhamento de significados no processo de aprendizagem.

A avaliação da compreensão de conceitos foi realizada através da análise de dados quantitativos relacionados ao entendimento dos princípios físicos e astronômicos abordados na SD e experimento “Dos LEDs aos Pulsares”. Essa análise foi embasada na teoria da aprendizagem significativa de Ausubel (1968), focando especialmente na eficácia das analogias utilizadas e na capacidade dos estudantes de estabelecer conexões entre o modelo experimental e os fenômenos astronômicos reais.

A respeito da percepção sobre tecnologias educacionais, a metodologia incluiu a análise quantitativa do uso e familiaridade dos estudantes com ferramentas tecnológicas, particularmente o ChatGPT e *softwares* de análise de dados. Essa dimensão foi interpretada com base nas teorias sobre nativos digitais de Prensky (2001) e das competências essenciais para o século XXI definidas por Trilling e Fadel (2009).

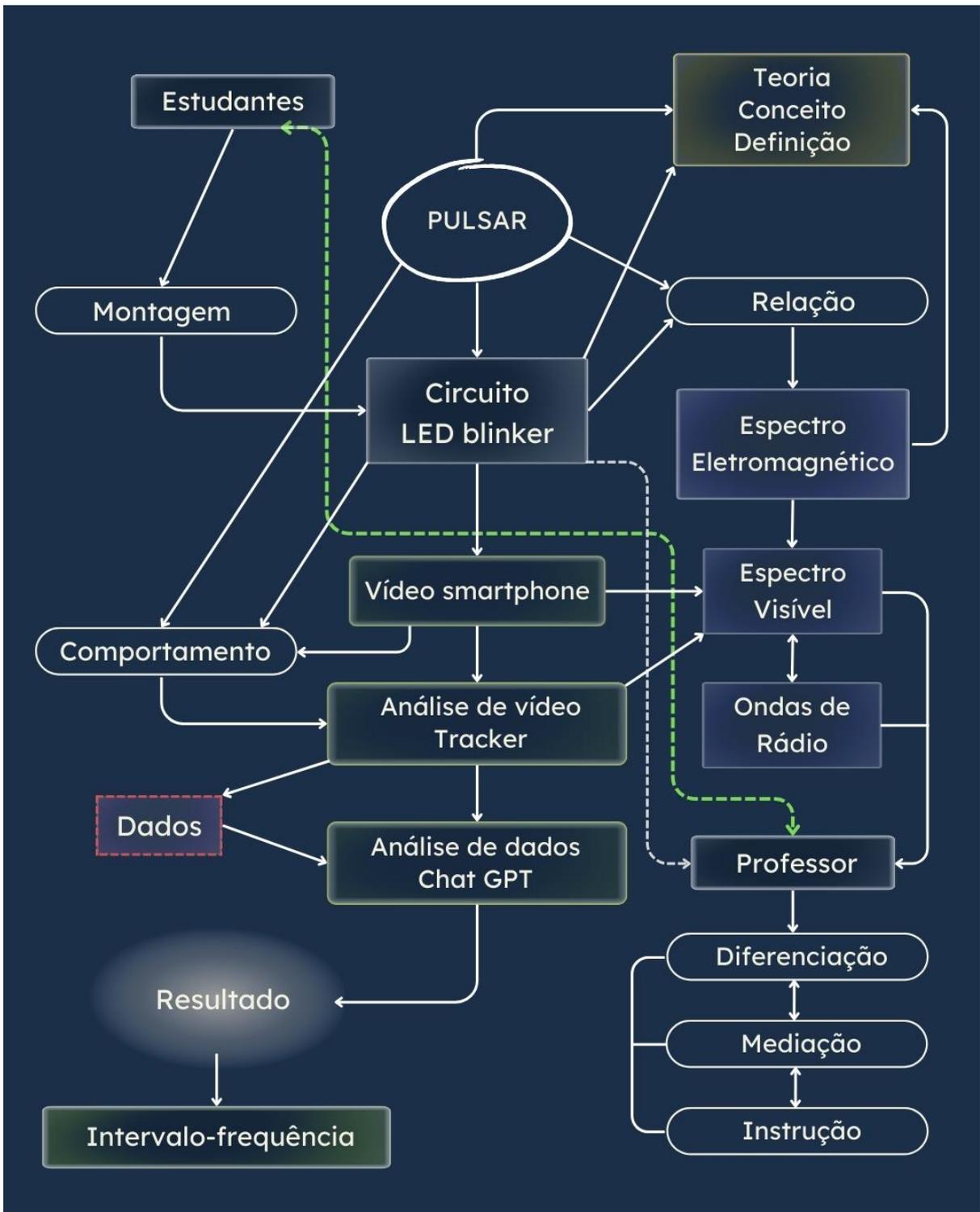
A análise da multidisciplinaridade foi conduzida principalmente através de métodos qualitativos, examinando as respostas dos estudantes quanto à integração de diferentes áreas do conhecimento no experimento. Essa análise foi fundamentada nas teorias de interdisciplinaridade de Klein (2006) e nas abordagens contemporâneas de educação STEAM.

Para a avaliação dos desafios e limitações, foi aplicada uma análise crítica dos dados quantitativos e qualitativos, com particular atenção aos conhecimentos prévios dos estudantes e às limitações específicas do modelo experimental utilizado. Essa análise foi contextualizada com base nas observações de Sadler e Zeidler (2009) sobre o currículo e educação em ciências.

Por fim, a análise sob a perspectiva CTSA foi realizada através de uma ótica mais abrangente, considerando as quatro dimensões (Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente) conforme estabelecido por Bourscheid (2014) e Pérez e Sierra (2013). Essa análise buscou identificar como a SD e experimento foi capaz de promover a compreensão das relações e interconexões entre Ciências, Tecnologia, Sociedade e Ambiente e o seu impacto na formação científica dos estudantes.

Para uma melhor compreensão das etapas, processos e relações envolvidas durante o experimento, foi elaborado um mapa mental a fim de representar visualmente a estrutura e principais características envolvidas na aplicação da atividade. Serve como um guia rápido para compreender a proposta da SD e experimento “Dos LEDs aos Pulsares” e pode ser visualizado através da Figura 37.

Figura 37 - Mapa mental dos processos e relações envolvidas nas etapas do experimento proposto.



Fonte: Autoria própria

7.2 Apresentação dos dados e apontamentos

Durante uma conversa com o professor Marco Antônio Moreira (UFRGS), ao término de sua apresentação na XV Conferência Inter-Americana de Ensino de Física (XV CIAEF), realizada na Universidade de Brasília (UnB) em julho de 2023, um dos autores levantou a seguinte questão: “Professor, o senhor comentou em sua apresentação sobre o uso de inteligências artificiais na Educação... Qual é a sua previsão do uso das IAs e do ChatGPT em sala de aula nos próximos anos?”. A resposta do Moreira foi a seguinte: “Agora é questão de tempo até que essas tecnologias sejam implementadas em sala de aula. Se usadas de forma correta, serão ferramentas poderosas para os professores”.

É válido ressaltar que a resposta do professor Moreira reflete a crescente integração das tecnologias educacionais, como o ChatGPT, no ambiente escolar. Quando utilizadas de forma apropriada, essas ferramentas – modelos de linguagem - têm o potencial de facilitar a personalização do ensino, fornecendo apoio individualizado aos estudantes e permitindo que os professores atuem de maneira mais eficiente na promoção de uma aprendizagem significativa.

A pesquisa conduzida no ChatGPT, por meio de interações individuais e em grupos, revelou-se como uma ferramenta valiosa na hora do processamento dos dados e obtenção de informações, em relação aos vídeos capturados do experimento (Figuras 23 e 25). Tal diversidade acerca da abordagem e participação ativa dos estudantes no processo, enriqueceram o processo de pesquisa e verificação cruzada⁴ (*cross-check*) entre os estudantes, processo esse incentivado e direcionado pelo professor em sala de aula.

A parte relevante de usar o ChatGPT como uma ferramenta educacional propriamente dita, para a revisão de conceitos que o estudante está tendo contato, por exemplo, é de ter a autonomia de poder pesquisar sobre a história e definição de conceitos diversos. O professor pode instigar o uso dessas ferramentas para uma pesquisa de conceitos científicos, no entanto, deixar claro aos estudantes que é uma fonte norteadora para o entendimento de conceitos básicos e uma breve introdução, mas que não se trata de uma fonte científica. Nesse contexto, o professor pode aproveitar o momento para realizar a introdução e conceito de pesquisa e método científico, bem como indicar bases de dados e repositórios como o Google Scholar, NASA/ADS, Zenodo, SciELO, Academia.edu, dentre outros, que são de fácil utilização

e que realiza a busca de trabalhos publicados a partir de palavras-chave, áreas temáticas e outros filtros.

Portanto, o uso de ferramentas de linguagem baseadas em inteligência artificial pode servir como complemento no processo de investigação científica e análise de dados pelos estudantes, além de proporcionar uma experiência diferenciada no ambiente escolar e em sala de aula (Figuras 36 e 37).

Ainda assim, a partir da janela de dados apresentada pelo *software* livre *Tracker*, como mostra a Figura 19, é possível copiar os dados da tabela em forma de texto e colar numa planilha ou bloco de notas, por exemplo. Ao clicar com o botão direito do mouse e selecionar a opção “Dados precisos”, é feita uma seleção dos dados processados, podendo ser transferidos para uma planilha. O professor pode solicitar aos estudantes que escrevam os valores da tabela no próprio caderno, por exemplo os valores quando o LED estiver próximo de luma 255 (RGB) e o instante que ocorreu no vídeo (tempo), como mostrado na Tabela 2.

A partir do Guia rápido “Como montar um Circuito LED *blinker* em 6 passos” (Figura 18) o professor pode utilizar em sala de aula, como ferramenta didática, para que os estudantes sigam o passo a passo e consigam realizar a montagem do circuito, bem como revistar conteúdos de componentes eletrônicos e circuitos elétricos.

O PDF em alta resolução do guia pode ser baixado em <https://zenodo.org/doi/10.5281/zenodo.10594691>, podendo ser impresso em folha A4 e distribuído fisicamente aos estudantes.

É interessante, também, baixar o PDF no *smartphone*, de modo que tal guia pode ser acessado facilmente em sala de aula, ou até mesmo projetado.

É possível apresentar algumas limitações observadas do modelo e experimento circuito LED *blinker*, quanto à sua semelhança com o fenômeno dos pulsares, aplicabilidade em sala de aula e requisitos básicos necessários para a montagem do circuito.

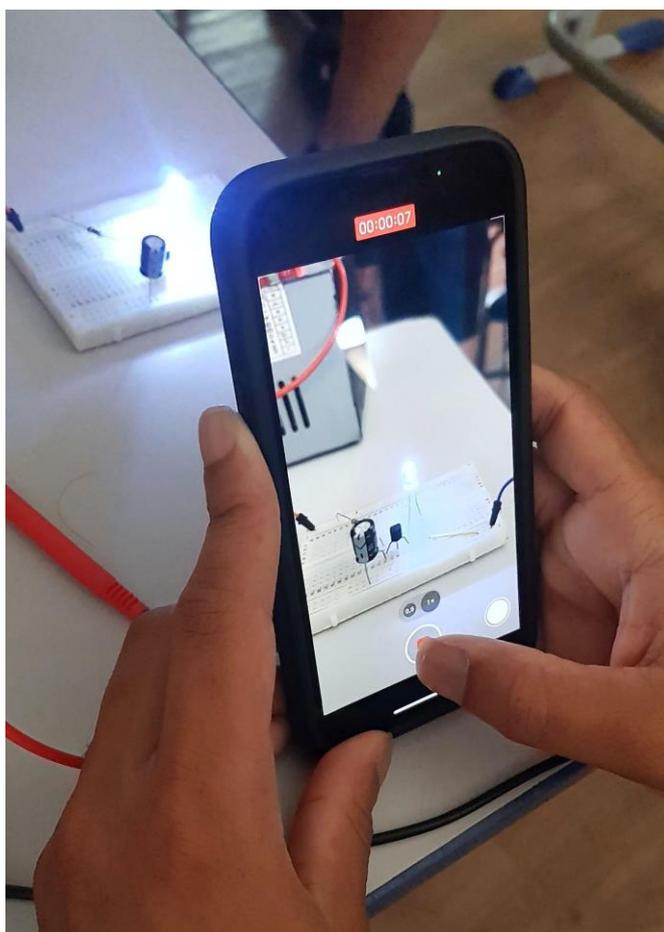
Limitações do modelo e experimento proposto:

- É um modelo estático;
- Opera em uma frequência diferente do objeto real;
- Requer conhecimentos básicos de eletrônica por parte do professor;
- Não apresenta uma estrutura física ou tridimensional para representar um pulsar.

Diante das limitações do experimento e do funcionamento do circuito LED *blinker*, é crucial usar analogias e simplificações para ajudar os estudantes a entenderem os conceitos envolvidos. Com a orientação cuidadosa dos professores sobre como apresentar os temas relacionados aos pulsares e ao circuito LED *blinker*, essa estratégia pode ser implementada com sucesso na sala de aula. Essa proposta e experimento são adequados para diferentes etapas educacionais, adaptando-se à complexidade de cada contexto educacional, série e ano.

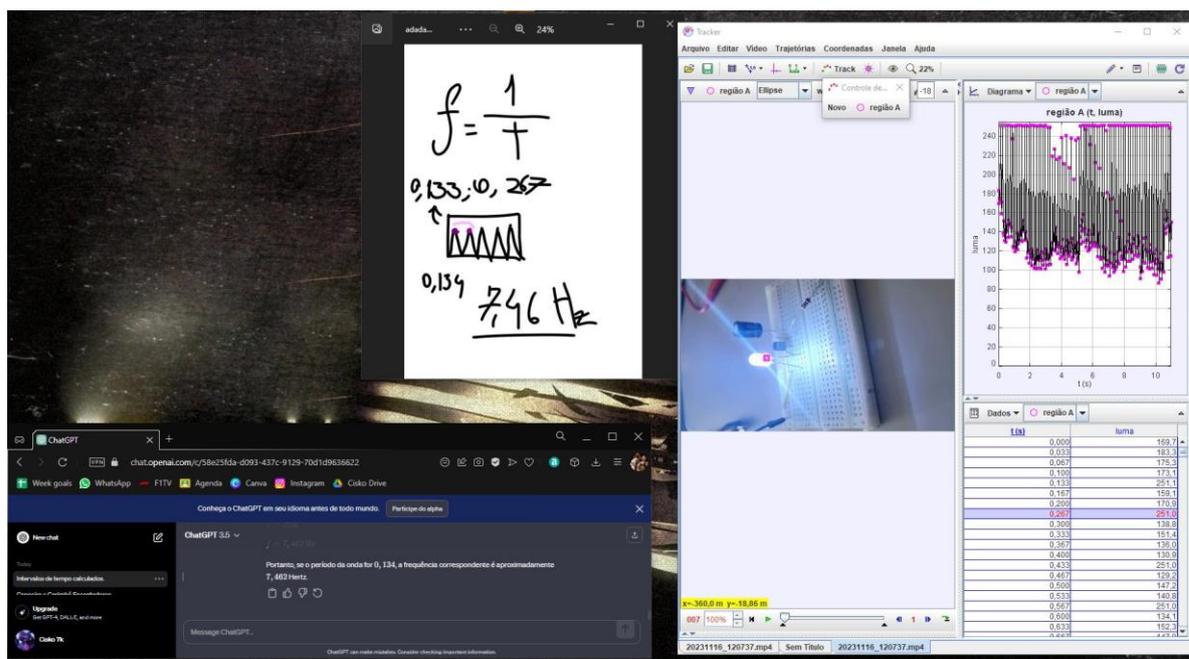
Promover a interação entre os estudantes durante o experimento, desempenha um papel fundamental em relação à sua aplicação e dinâmica em sala de aula. Por se tratar de uma proposta de baixo custo e acessível, traz ao experimento uma característica de fácil implementação e aplicabilidade. Além disso, também é capaz de promover a democratização do acesso ao conhecimento e reduzir barreiras de natureza financeira.

Figura 38 - Uso do *smartphone* para coletar dados do experimento LED *blinker*. Aplicação do experimento na 2ª série do Ensino Médio em uma escola do Distrito Federal. Estudante realizando a captura de vídeo com o *smartphone* apoiado na mesa para garantir maior estabilidade.



Fonte: Autoria própria

Figura 39 - Captura de tela da área de trabalho de um estudante da 2ª série do Ensino Médio, realizando o passo a passo descrito na página 65.



Fonte: Autoria própria

É possível apresentar, também, os pontos positivos e a aplicabilidade observados durante a aplicação da proposta de atividade e experimento circuito LED *blinker* em sala de aula.

Pontos positivos do modelo e experimento proposto:

- Promove a interação entre os estudantes;
- É de baixo custo e acessível;
- Envolve o uso de tecnologias em sala de aula;
- Simula o comportamento dos pulsares;
- Simula a captura de dados através de um *smartphone*;
- Envolve processamento de dados através de *softwares* livres;
- Trabalha noções de matemática, eletrônica, astrofísica, astronomia, radioastronomia, história, etc.;
- Utiliza linguagem baseada em inteligência artificial como ferramenta de ensino;
- Utiliza simuladores, vídeos e imagens para ensinar os conteúdos de forma multidisciplinar.

⁴ Verificação cruzada: termo utilizado para se referir a uma validação realizada por mais de uma fonte ou método para garantir a precisão e confiabilidade de informações ou dados.

A escolha de utilizar *softwares* livres para o processamento de dados não apenas reduz custos, mas também fomenta uma abordagem colaborativa e transparente. Além disso, a abrangência multidisciplinar do experimento, abordando conceitos de matemática, eletrônica, astrofísica, astronomia, radioastronomia, história, entre outros, evidencia sua capacidade de enriquecer o conhecimento dos estudantes em diversas áreas do saber, de maneira prática e dinâmica.

Destaca-se ainda a utilização de linguagens baseadas em inteligência artificial como ferramenta e estratégia de ensino, representando uma inovação educacional que se alinha com as demandas emergentes do período pós pandemia. A incorporação de simuladores, vídeos e imagens, de maneira multidisciplinar, demonstra a adaptabilidade do experimento proposto para atender a diferentes metodologias de ensino, tornando o processo mais atrativo e eficaz. Em conjunto, esses elementos convergem para formar um experimento abrangente e rico do ponto de vista educacional, pois engloba diversas áreas do saber, conteúdos e dinâmicas relevantes aos estudantes e ao contexto de sala de aula, além de proporcionar um contato direto com novas tecnologias para o aprendizado em física, astrofísica, astronomia, eletrônica, etc.

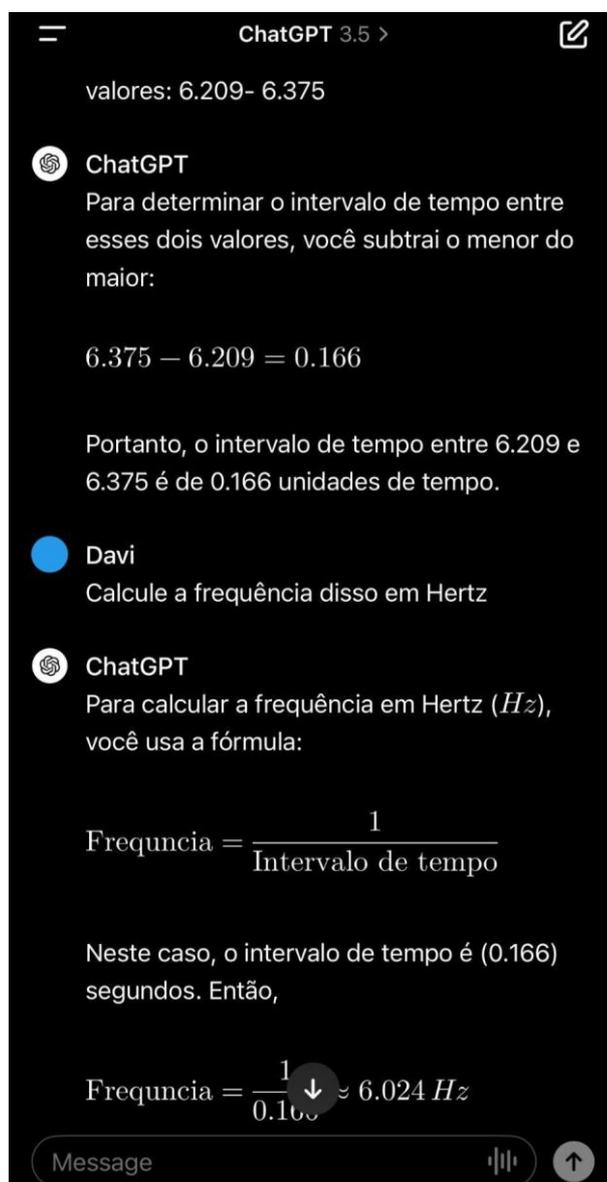
A comparação entre ondas de rádio e luz visível do LED oferece uma analogia valiosa para entender o comportamento de rotação dos pulsares. Como proposto no experimento, é possível ilustrar como os pulsares, que são estrelas de nêutrons, emitem pulsos regulares de ondas de rádio durante sua rotação. Assim como um circuito LED *blinker* demonstra um padrão previsível de emissão da luz na região do espectro visível, os pulsares emitem feixes de ondas de rádio em intervalos regulares, regularidade essa que é crucial para a detecção de ondas de rádio na radioastronomia. Nesse contexto, é importante que o professor realize essa diferenciação em sala de aula, destacando as características e diferenças entre as ondas de rádio e a luz visível, enquanto utiliza o próprio experimento como uma ferramenta didática para explicar os princípios fundamentais por trás do comportamento dos pulsares e sua importância na detecção de ondas de rádio.

Conforme mostrado na Figura 20, ao usar a técnica de ajuste de curvas (usando a função *fit*) é possível visualizar o padrão de uma onda senoidal com base nos dados obtidos pelo programa *Tracker*. Essa aplicação possibilita uma melhor compreensão de gráficos e funções matemáticas a partir de uma abordagem experimental real, partindo de fenômenos capturados e analisados pelos próprios

estudantes. Fazendo com que os estudantes sejam inseridos no processo e que os comportamentos observados sejam relevantes e significativos.

O canal do Manual do Mundo oferece um tutorial em formato de vídeo que aborda o processo de adaptação de uma fonte de computador para diversas saídas de tensão, disponível em <https://youtu.be/2Ou7MOVZeo4?si=14IECcXNnmvkAgDL>. É recomendado ao professor a visualização do vídeo para adquirir conhecimento acerca do funcionamento de uma fonte, dos componentes utilizados, dos materiais necessários para sua construção e o passo a passo de como montar uma fonte de bancada de baixo custo.

Figura 40 - Captura de tela da versão para *smartphone* do ChatGPT por um estudante da 2ª série do Ensino Médio, realizando os passos 10 e 11 descritos na página 53.



Fonte: Autoria própria.

Foi realizada, em dezembro de 2023, durante quatro aulas do componente curricular de Física da 2ª série do Ensino Médio de uma escola da rede privada de Brasília - DF, uma sequência didática para a aplicação do experimento “Dos LEDs aos Pulsares”, contendo uma população de estudo de 10 estudantes. A partir da aplicação do experimento foi observado e avaliado os seguintes aspectos: a interação entre os estudantes; o envolvimento em relação ao experimento; a facilidade na captura do vídeo; a destreza acerca do processamento dos dados e uso do programa *Tracker*; uso e domínio do *prompt* do ChatGPT; compreensão e análise dos dados gerados pelo ChatGPT; comparação dos dados escritos à mão no caderno pelos estudantes versus dados gerados pelo ChatGPT. Ainda foi solicitado aos estudantes que seguissem um roteiro passo a passo de como utilizar o *Tracker Online*.

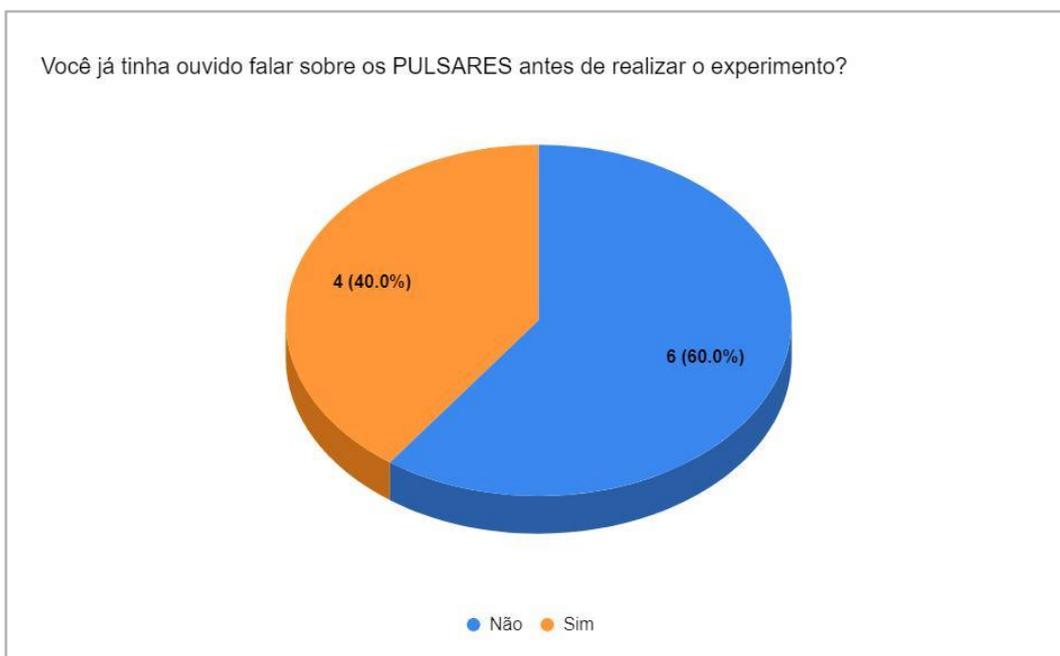
A partir dos Gráficos 1 a 24 é possível observar as percepções dos estudantes sobre a aplicação do experimento, do circuito LED *blinker*, do uso de tecnologias e da inteligência artificial em sala de aula.

Os Gráficos 1, 2, 13 e 14 ressaltam o pouco conhecimento dos estudantes sobre os pulsares, sua natureza, propriedades e características, fato esse facilmente notável nos currículos escolares de física do ensino médio e os documentos oficiais de educação. Sendo assim, é percebida certa carência na abordagem sobre objetos astronômicos exóticos, tanto no ensino médio quanto nos demais segmentos educacionais.

A partir do Gráfico 3, é percebido que mais da metade da turma já tinha utilizado o ChatGPT e que $\frac{3}{10}$ dos estudantes utilizam a ferramenta de forma recorrente. Isso exemplifica a presença do ChatGPT no ambiente escolar e em sala de aula, realidade presente atualmente no cotidiano escolar. Além disso, no gráfico da Figura 31 é possível notar a aceitação dos estudantes sobre o uso de inteligência artificial em sala de aula, de modo a representar uma opinião positiva de seu uso.

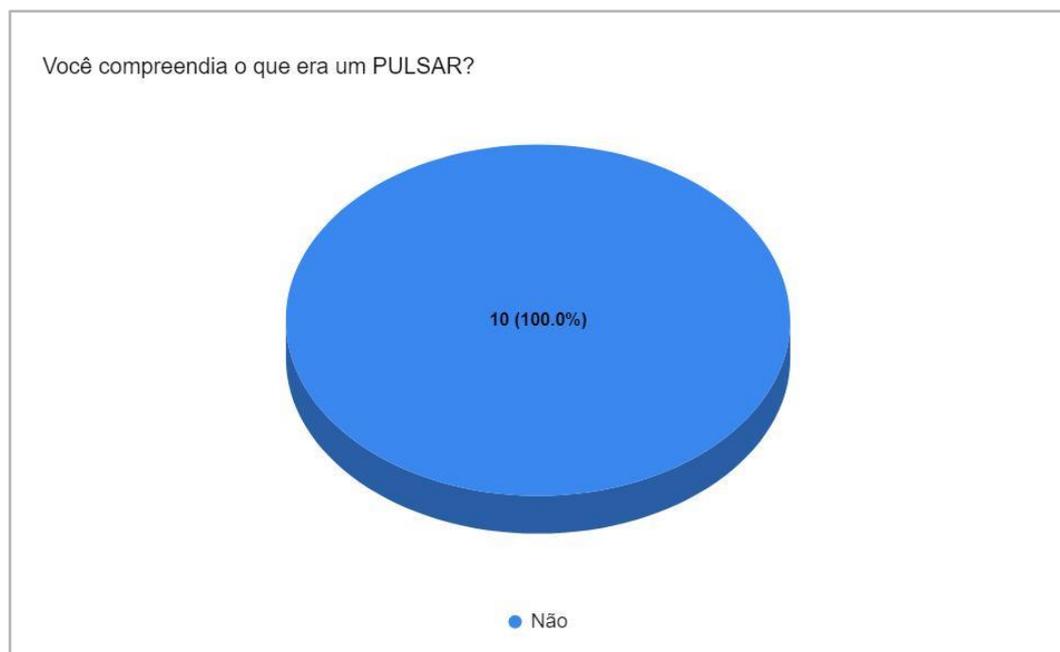
O Gráfico 4 exemplifica a percepção da turma sobre o uso do ChatGPT em sala de aula e para a realização do experimento, representando uma alta aprovação dos estudantes sobre o uso de inteligência artificial no contexto escolar e para realização de atividades, em especial no contexto da física, astrofísica e astronomia.

Gráfico 1 - Gráfico de pizza gerado a partir da análise das respostas dos estudantes.



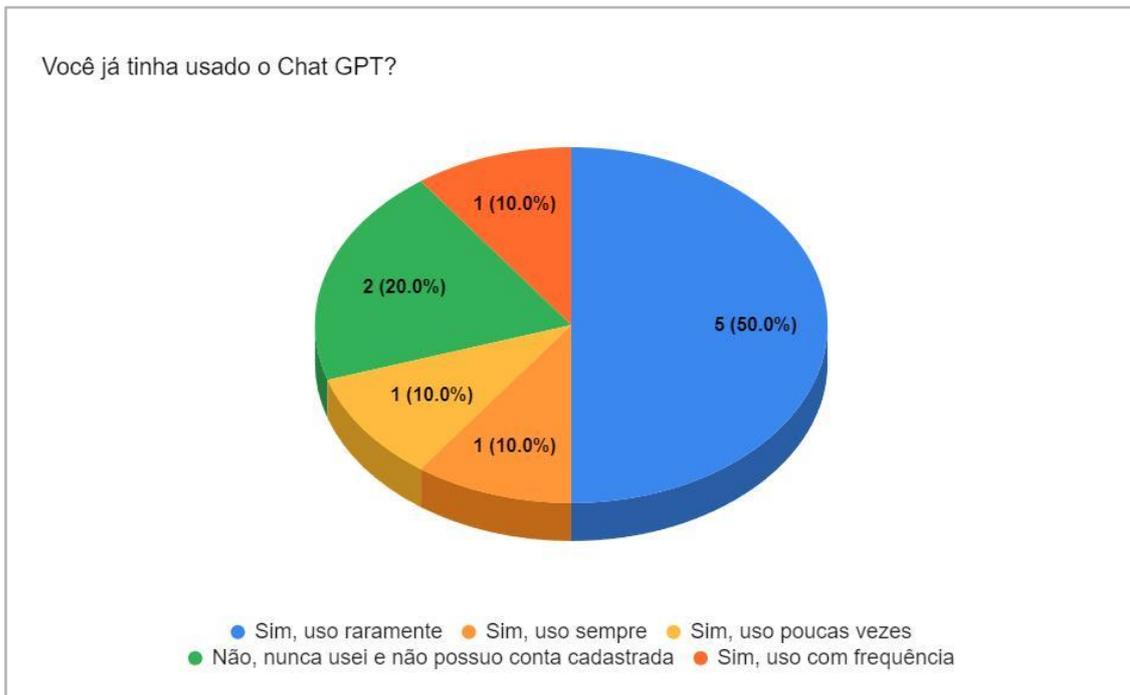
Fonte: Autoria própria

Gráfico 2 - Gráfico de pizza gerado a partir da análise das respostas dos estudantes.



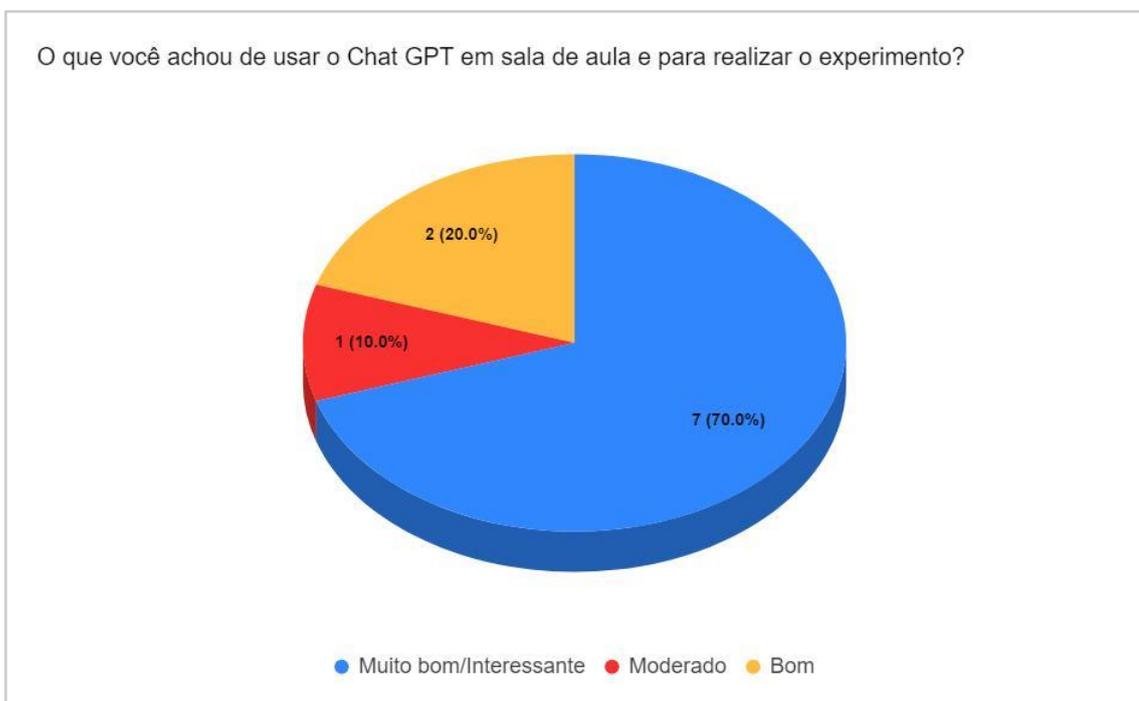
Fonte: Autoria própria

Gráfico 3 - Gráfico de pizza gerado a partir da análise das respostas dos estudantes.



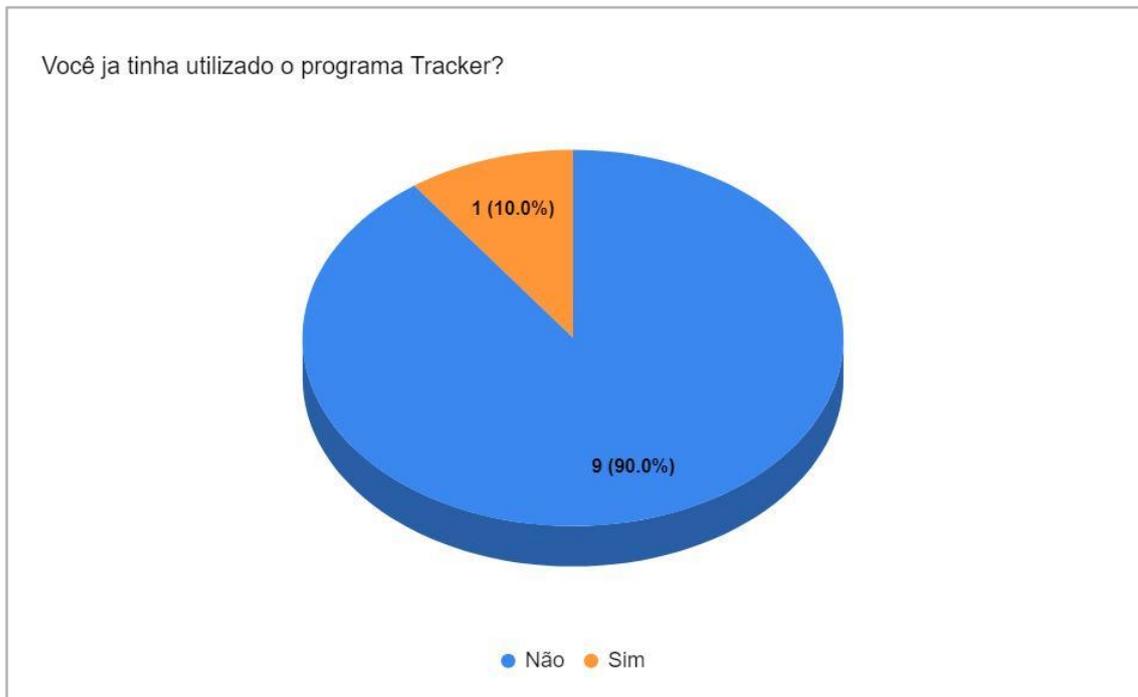
Fonte: Autoria própria

Gráfico 4 - Gráfico de pizza gerado a partir da análise das respostas dos estudantes. Foram apresentadas, também, as opções “ruim” e “muito ruim/desinteressante”, porém sem votos.



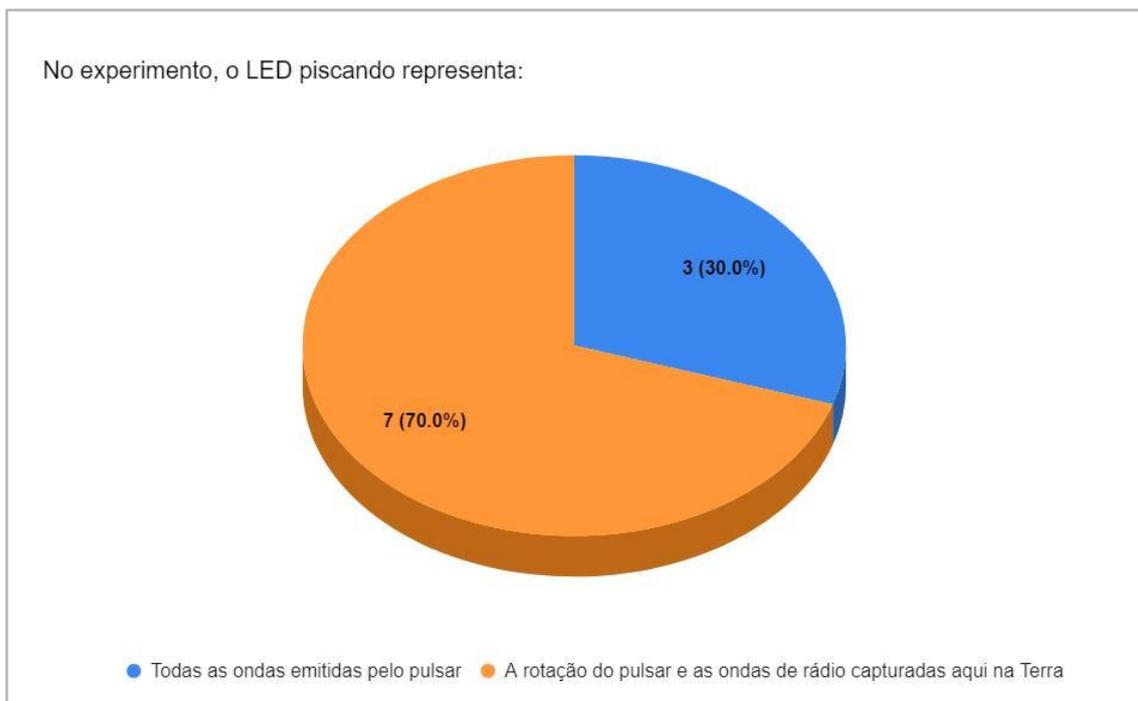
Fonte: Autoria própria

Gráfico 5 - Gráfico de pizza gerado a partir da análise das respostas dos estudantes.



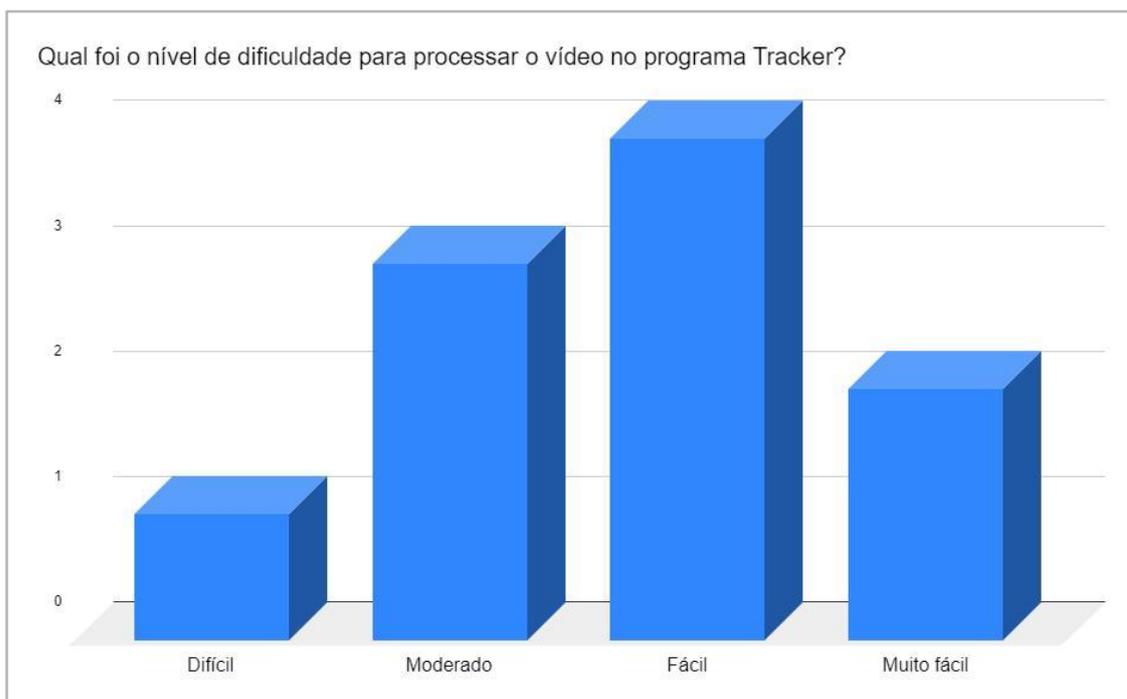
Fonte: Autoria própria

Gráfico 6 - Gráfico de pizza gerado a partir da análise das respostas dos estudantes. Foram apresentadas, também, as opções “a luz branca de um pulsar”, “os raios gama emitidos pelo pulsar” e “a gravidade causada pelo pulsar”, porém sem votos.



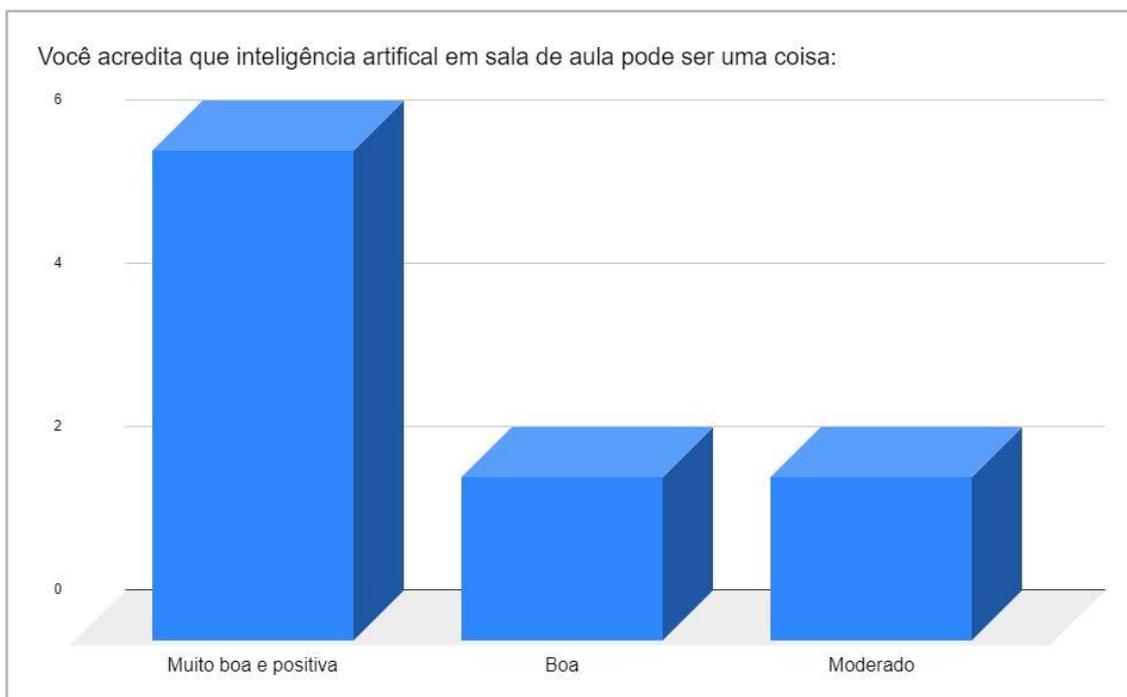
Fonte: Autoria própria

Gráfico 7 - Gráfico de barras gerado a partir da análise das respostas dos estudantes.



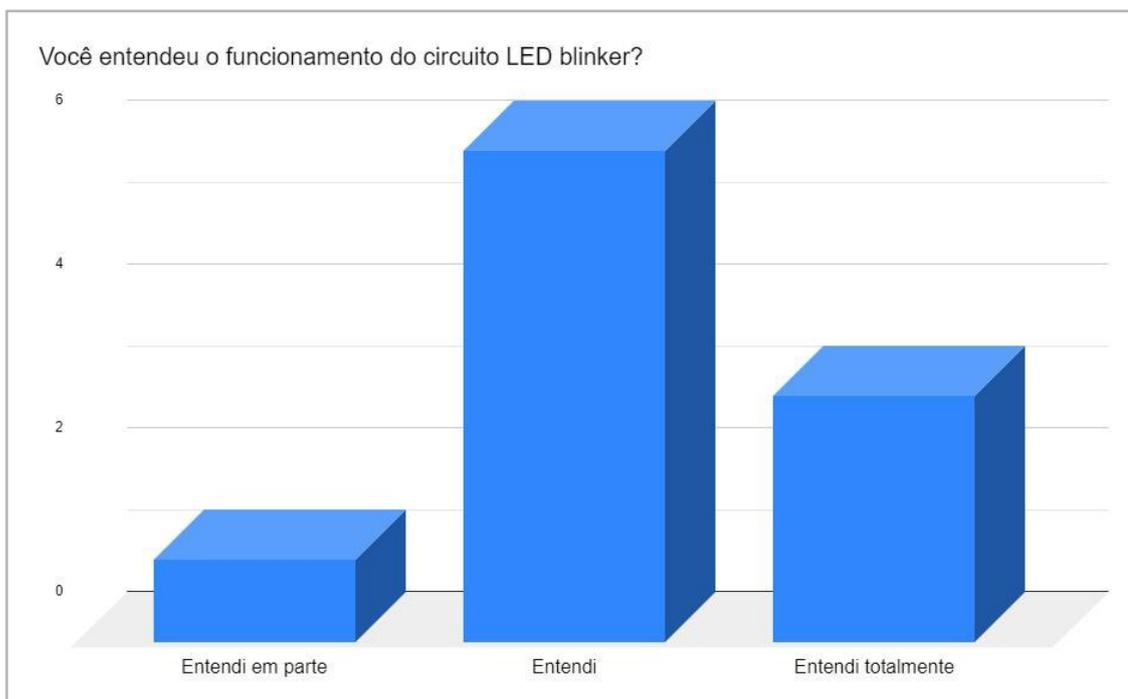
Fonte: Autoria própria

Gráfico 8 - Gráfico de barras gerado a partir da análise das respostas dos estudantes. Foram apresentadas, também, as opções “ruim” e “muito ruim/desinteressante”, porém sem votos.



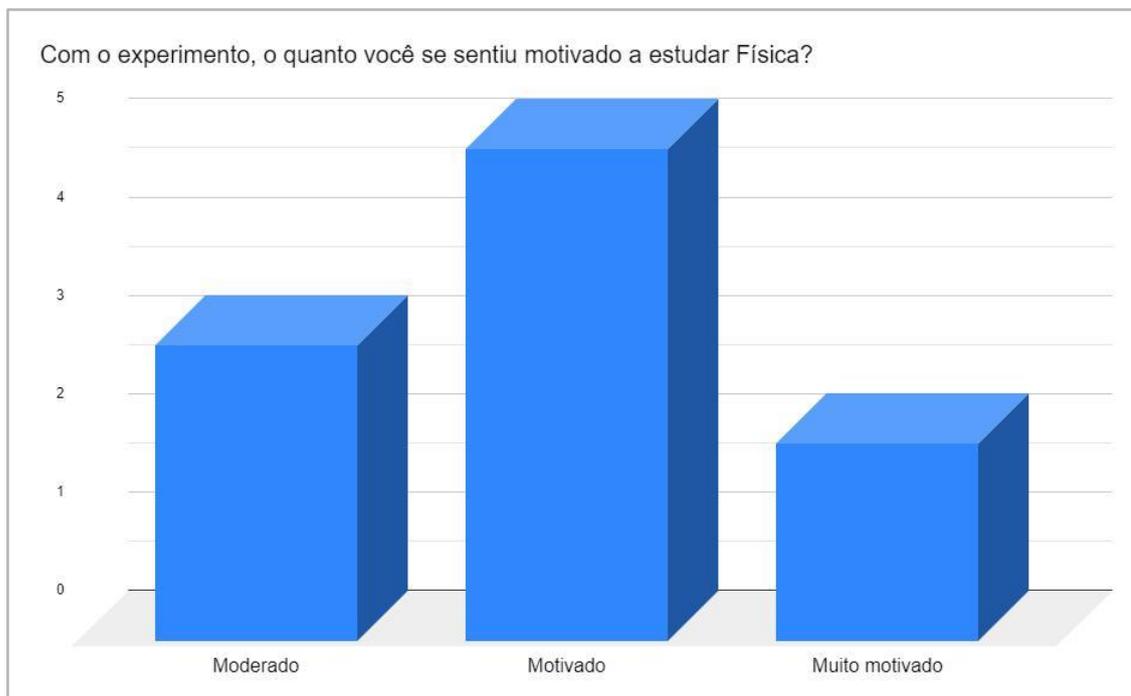
Fonte: Autoria própria

Gráfico 9 - Gráfico de barras gerado a partir da análise das respostas dos estudantes. Foi apresentada, também, a opção "não entendi", porém sem votos.



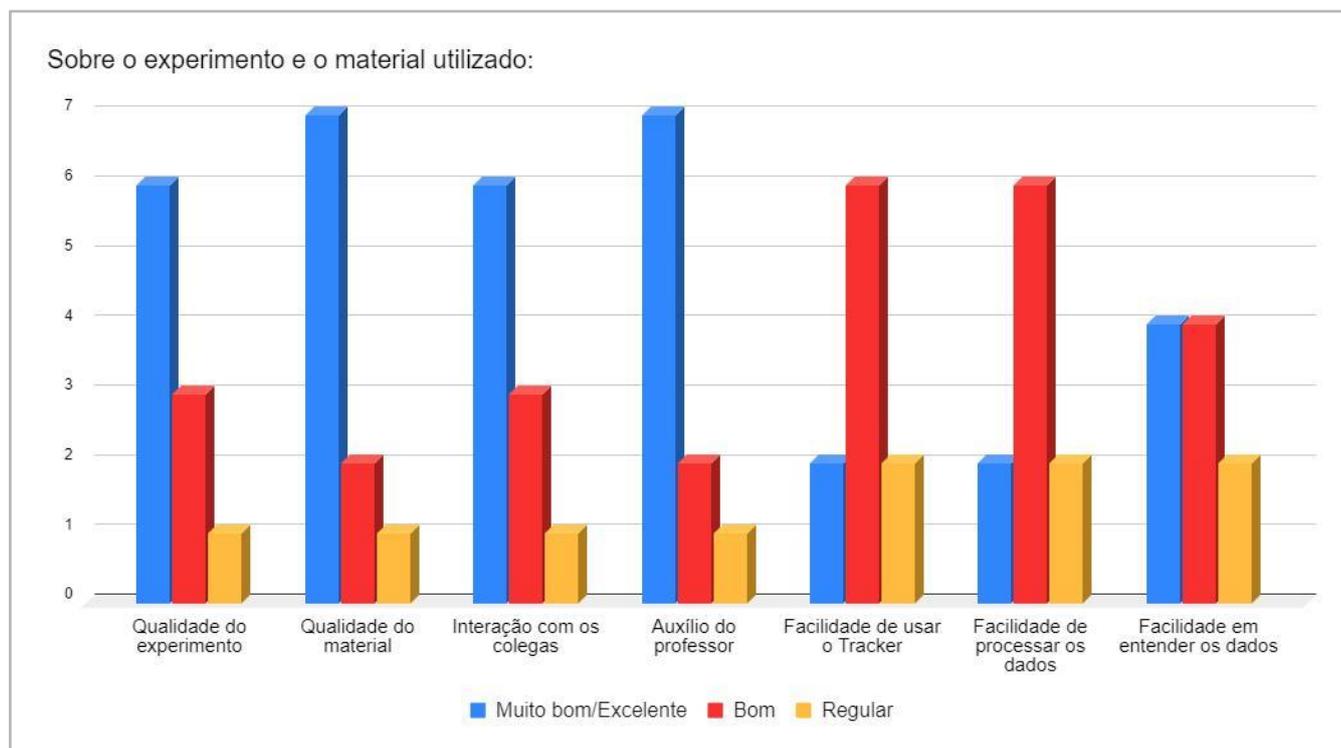
Fonte: Autoria própria

Gráfico 10 - Gráfico de barras gerado a partir da análise das respostas dos estudantes. Foram apresentadas, também, as opções "desmotivado" e "muito desmotivado", porém sem votos.



Fonte: Autoria própria

Gráfico 11 - Gráfico de barras comparativo gerado a partir da análise das respostas dos estudantes em diferentes tópicos sobre o experimento e material utilizados no experimento “Dos LEDs aos Pulsares”. Foram apresentadas, também, as opções “ruim” e “muito ruim”, porém sem votos.



Fonte: Autoria própria

Com base no Gráfico 6, é possível notar a percepção, por maior parte da turma, da relação proposta no experimento, que relaciona o intervalo de brilho do LED com o comportamento de rotação e emissão de feixes de radiação pelos pulsares. Esse gráfico mostra que uma parcela, mesmo que pequena da turma, compreendeu parcialmente a relação descrita anteriormente, bem como a proposta do experimento em si.

Analisando o Gráfico 9, podemos observar que a maioria dos estudantes da 2ª série do Ensino Médio compreendeu o funcionamento do circuito LED *blinker*. Esse resultado é especialmente significativo, considerando a complexidade dos componentes utilizados, os conceitos envolvidos e o próprio funcionamento do circuito.

Além disso, a partir dos dados apresentados no Gráfico 10, foi percebido que o experimento “Dos LEDs aos Pulsares” foi capaz de proporcionar uma motivação para o estudo de Física, Astrofísica e Astronomia nos estudantes, comportamento esse que geralmente não é encontrado de forma espontânea em sala de aula e na rotina escolar, especialmente em disciplinas da área de exatas.

Ademais, os estudantes ao final do questionário responderam perguntas abertas, envolvendo *feedback* e opiniões sobre o experimento. As respostas elaboradas pelos estudantes podem ser visualizadas integralmente através dos Quadros 4 e 5.

Quadro 5 - Respostas abertas dos estudantes da 2ª série ao final do formulário.

| O que você mais gostou de fazer durante o experimento? | |
|---|---------------------------------------|
| Estudante 1 | “Gravar a luz do LED” |
| Estudante 2 | “Conhecer um novo instrumento online” |
| Estudante 3 | “O uso do programa <i>Tracker</i> ” |
| Estudante 4 | “Processar os dados” |
| Estudante 5 | “Assistir” |
| Estudante 6 | “Aprender e assistir” |
| Estudante 7 | “Utilizar o programa <i>Tracker</i> ” |
| Estudante 8 | “Ver o LED” |
| Estudante 9 | “Utilizar o programa <i>Tracker</i> ” |
| Estudante 10 | “Gravar” |

Fonte: Autoria própria

Através das respostas apresentadas no Quadro 5, é visto que as preferências dos estudantes em relação às atividades durante o experimento variam. Diante disso, foi possível elaborar uma breve análise sobre as respostas dos estudantes:

- Estudante 1: Expressa satisfação em gravar a luz do LED, indicando uma apreciação pela parte prática e experimental da atividade;
- Estudante 2: Destaca o interesse em conhecer um novo instrumento *online*, sugerindo uma apreciação pela introdução de ferramentas tecnológicas ou recursos digitais durante o experimento;
- Estudantes 3, 7 e 9: Valorizam o uso do programa *Tracker*, indicando uma preferência por atividades relacionadas à análise e rastreamento de dados;
- Estudante 4: Mostra interesse na fase de processamento de dados, sugerindo uma apreciação pelos aspectos mais analíticos e de interpretação do experimento;

- Estudante 5: Simplifica sua resposta, indicando que gostou de assistir, o que pode sugerir uma preferência por observar as atividades ou experimentos realizados;
- Estudante 6: Expressa apreciação tanto pelo aprendizado quanto pela observação, destacando a participação ativa e passiva durante o experimento;
- Estudante 8: Mostra satisfação em ver o LED, sugerindo uma preferência por aspectos visuais ou demonstrativos do experimento;
- Estudante 10: Expressa gostar de atividades práticas que envolvam gravação, indicando uma apreciação pela captura de dados ou registros durante o experimento.

As respostas do Quadro 5 refletem a diversidade de interesses e preferências dos estudantes, em especial da 2ª série do Ensino Médio, que abrange desde a participação prática até a utilização de instrumentos online e ferramentas específicas, como o *Tracker Online* por exemplo, o que demonstra uma visão abrangente das experiências positivas durante a realização do experimento.

Quadro 6 - Respostas abertas dos estudantes da 2ª série ao final do formulário.

| No experimento o que mais chamou/prendeu sua atenção? | |
|--|--|
| Estudante 1 | “A repetição do pulsar” |
| Estudante 2 | “A analogia entre o LED e os pulsares” |
| Estudante 3 | “A ligação da ideia do pulsar com a projeção do LED” |
| Estudante 4 | “O circuito” |
| Estudante 5 | “ <i>Tracker</i> ” |
| Estudante 6 | “O LED e a gravação do vídeo! No momento que coloca no <i>site</i> ” |
| Estudante 7 | “A relação do LED com os pulsares” |
| Estudante 8 | “A facilidade de usar o <i>Tracker</i> ” |
| Estudante 9 | “O LED piscando conforme a frequência” |
| Estudante 10 | “A ideia de que um LED mostra algo da nossa galáxia” |

Fonte: Autoria própria

Com base no Quadro 6, as respostas dos estudantes indicaram diferentes aspectos do experimento, tais como:

- Estudante 1: Destaca a repetição do pulsar como um elemento que chamou sua atenção, sugerindo um interesse específico na natureza cíclica ou regular do fenômeno estudado;
- Estudante 2: Menciona a analogia entre o LED e os pulsares como algo que prendeu sua atenção, indicando uma apreciação pela conexão entre os conceitos abordados e a parte visual do experimento;
- Estudante 3: Enfatiza a ligação da ideia do pulsar com a projeção do LED, sugerindo que a representação visual do pulsar através do LED foi um ponto de destaque;
- Estudante 4: Indica que o circuito foi o aspecto mais chamativo durante o experimento, sugerindo um interesse particular na estrutura e funcionamento dos componentes eletrônicos;
- Estudante 5: Destaca o programa *Tracker* como algo que prendeu sua atenção, indicando um interesse pela ferramenta de análise utilizada durante o experimento;
- Estudante 6: Expressa interesse tanto no LED quanto na gravação do vídeo, especialmente no momento em que é colocado no *site Tracker Online*, indicando também um interesse pela ferramenta de análise utilizada durante o experimento;
- Estudante 7: Destaca a relação do LED com os pulsares como algo que chamou sua atenção, sugerindo um interesse na associação entre o experimento prático e o fenômeno astronômico;
- Estudante 8: Elogia a facilidade de usar o programa *Tracker* como o aspecto mais notável, indicando a praticidade e eficiência da ferramenta de análise de dados;
- Estudante 9: Observa que a intermitência do LED, conforme varia a tensão, foi o que mais chamou sua atenção, sugerindo um interesse específico na relação entre a frequência de um pulsar e a resposta visual do LED;
- Estudante 10: Destaca a ideia de um LED poder representar algo da nossa galáxia, um objeto astronômico exótico (i.e. um pulsar) como o aspecto mais marcante, indicando uma apreciação pela relevância astronômica do experimento.

As respostas apresentadas pelos estudantes fornecem *insights* sobre os diferentes elementos do experimento que cativaram os estudantes, abordando desde aspectos visuais e analógicos até a facilidade de uso de ferramentas específicas e a importância dos conceitos explorados, por exemplo.

Adicionalmente, em um campo destinado a relatos (*feedback*) e opiniões sobre a sequência didática e experimento realizados, os seguintes estudantes responderam:

- Estudante 1: “Produtivo, aprendi bastante”;
- Estudante 3: “Muito bom recomendo em todas as escolas”;
- Estudante 7: “Achei muito interessante, não conhecia sobre os pulsares e agora tenho um conhecimento melhor sobre. Ótimo experimento e ótimas instruções dadas pelo professor”;
- Estudante 9: “Um experimento muito intuitivo e interativo entre os estudantes e o professor, utilizando novos procedimentos para a aula”.

O Estudante 9 expressou uma avaliação positiva em relação ao experimento, destacando a natureza intuitiva e interativa da atividade entre os estudantes e o professor. A menção a "novos procedimentos para a aula" sugere que pode ter havido inovação ou métodos diferenciados utilizados durante a experiência.

Já o Estudante 7 demonstrou entusiasmo em relação ao experimento, destacando o aprendizado sobre pulsares e manifestando agradecimento pelas instruções fornecidas pelo professor. A afirmação de que agora possui um "conhecimento melhor" sobre o tema, pode sugerir um aumento na autoeficácia em transmitir informações relevantes e adaptadas à realidade dos estudantes. Trata-se de uma resposta positiva e destaca a qualidade das instruções do professor.

O Estudante 3 indica que o experimento é valioso o suficiente para ser implementado em diferentes instituições educacionais. Isso pode sugerir que o estudante percebe benefícios educacionais e potenciais para outros estudantes, em diversos contextos escolares. Ao expressar a recomendação para todas as escolas, o estudante parece enfatizar a importância de disseminar e compartilhar a experiência e o experimento realizado pelo professor. Isso pode indicar um interesse do estudante em ampliar o acesso ao tipo de aprendizado proporcionado pelo experimento.

A resposta do Estudante 1 é sucinta, indicando que a experiência foi percebida como produtiva e resultou em um aprendizado significativo. Embora a resposta seja breve, o termo "aprendi bastante" indica uma experiência positiva.

No geral, os relatos dos estudantes sugerem uma experiência positiva durante o experimento, com destaque para a interatividade, instruções eficazes do professor e aprendizado substancial sobre o experimento proposto.

Por fim, para futuras aplicações, um circuito LED simples pode ser colocado dentro de uma esfera móvel, feita numa impressora 3D, de modo que dois LEDs fiquem rentes à superfície através de pequenos orifícios, em posições opostas na esfera, de modo a simular a rotação e a emissão de radiação nos polos dos pulsares. Um projeto inicial, apresentado no Apêndice D, pode servir como inspiração para professores que fazem uso de impressoras 3D e projetos avançados em prototipagem e impressão em camadas. Assim, através de uma base que sustenta a esfera, com manivelas e engrenagens, por exemplo, é possível ajustar os ângulos de visada e a inclinação da esfera, para um melhor entendimento dos fenômenos e características dos pulsares no espaço.

Através da ferramenta Formulários da empresa Google, um questionário estruturado foi elaborado contendo 25 questões, de caráter quanti-quali, para aferir a eficiência, o impacto e a qualidade da SD "Dos LEDs aos Pulsares". A análise de dados foi realizada com base nas respostas do formulário, em observações e anotações realizadas em sala de aula através de um diário de bordo, dos registros fotográficos capturados no ambiente escolar e dos trabalhos enviados e realizados pelos estudantes. Toda a aplicação da SD, a coleta de dados e registros foi criteriosamente detalhada no Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE)(Apêndices 10 e 11), termo que foi assinado prontamente por todos os responsáveis dos estudantes do 8º e 9º ano. Link para o questionário aplicado: <https://forms.gle/oQL7D2YFfR3fcWKi6>.

Apesar dos temas dos grupos serem iguais, o enfoque em cada ano foi diferente, pois no 8º ano os conteúdos estudados no 2º trimestre se deram no campo da Ótica, incluindo Espectro Eletromagnético, Radiação, Luz, Som, Lentes, Espelhos, Visão, Audição e aplicações no dia a dia. Já no 9º ano, os conteúdos se deram no campo da Astronomia e Astrofísica, incluindo Sistema Solar, Características dos Planetas e Corpos Celestes, Missões Espaciais, Eclipses, Fases da Lua, Estações do

Ano, Constelações, Estrelas, Galáxias, Ciclo de Vida Estelar, Diagrama HR e Objetos Exóticos na Astronomia.

No Momento 4, especificamente, foi percebida uma maior interação entre os estudantes e grupos, pois além de estarem envolvidos na montagem dos circuitos, estavam interagindo com o *smartphone*, vendo o passo a passo de como montar o circuito LED *blinker*. Os estudantes estavam interessados e preocupados se o circuito e LED elaborados pelos respectivos grupos iriam funcionar e acender. Uma espécie de competição tomou conta da Sala *Maker*, o que promoveu um maior engajamento e participação dos estudantes.

O fato de os estudantes estarem fora da sala de aula, na Sala *Maker*, foi um fator crucial e decisivo para uma imersão na aplicação e temas da SD, pois os estudantes relataram que poucos professores utilizam a Sala *Maker* ao longo da vivência escolar do segmento do ensino fundamental anos finais, especialmente para a realização de experimento de física ou de ciências, que geralmente são realizados no laboratório de ciências e que boa parte das vezes se concentram em experimentos na área de química ou biologia. Fato esse que indica que a Sala *Maker* foi um ambiente propício para promover a imersão das atividades da SD. Além disso a Sala *Maker* é abarcada com mesas grandes e espaçosas, assim os grupos puderam se alocar de forma confortável e setorizada.

Caso a escola não possua Sala *Maker*, indicamos o uso de uma outra sala ou um ambiente diferente da sala de aula comum que os estudantes estão habituados.

Foi percebido que o envolvimento dos estudantes, ao utilizar o *smartphone* para utilizar o guia de montagem “Como montar um circuito LED *blinker* em 6 passos” para montar o circuito LED *blinker* foi satisfatório, pois todos os grupos conseguiram montar o circuito e fazer com que o LED acendesse. Todos os estudantes participaram e acabaram dividindo as tarefas de forma autônoma, uns auxiliando os outros, especialmente aplicando *zoom* no PDF do guia de montagem, comentando o lugar correto de encaixar os conectores dos componentes eletrônicos na *protoboard*, segurando a *protoboard* e verificando todas as conexões do circuito.

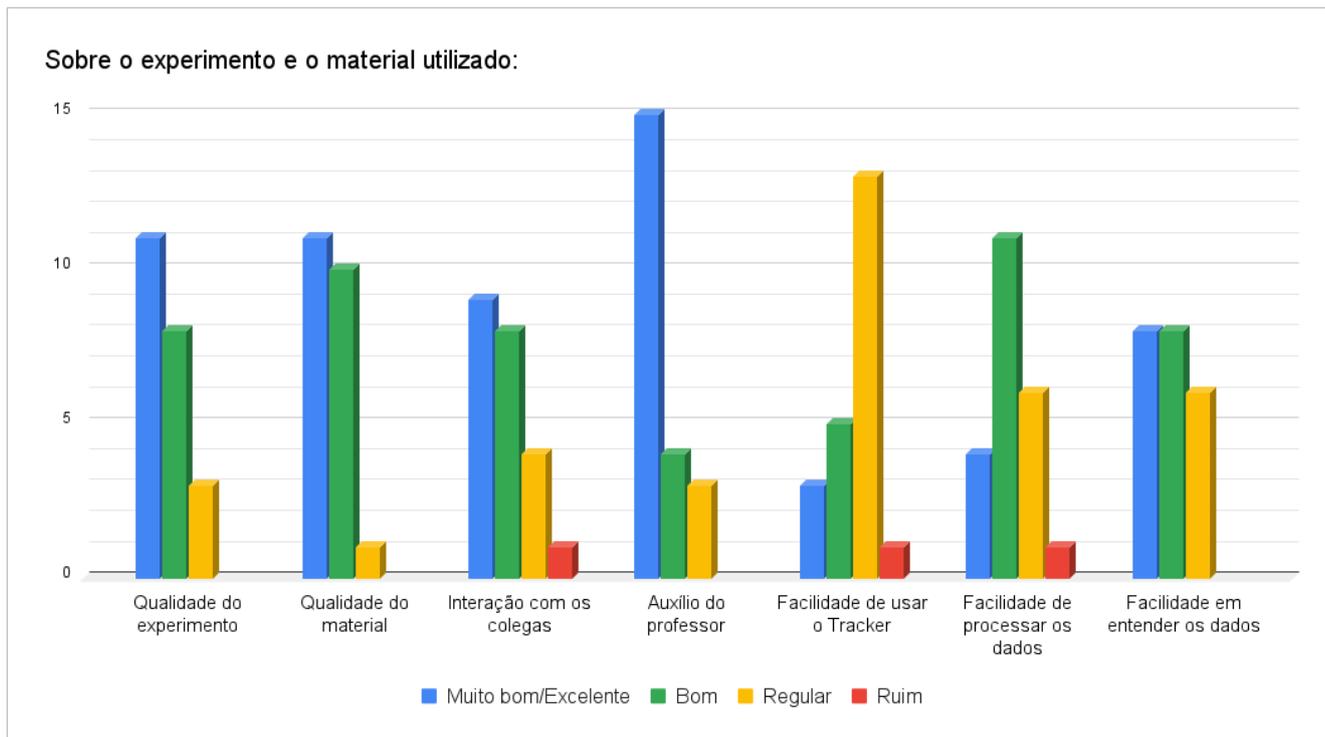
Na gravação do vídeo com o uso do *smartphone*, também foi percebido um maior envolvimento dos estudantes, pois através de uma fonte de bancada adaptada fixa num local específico da Sala *Maker*, os grupos levavam a *protoboard* com o circuito LED *blinker* montado para ser testado. O professor instruiu os estudantes para selecionar um membro do grupo para realizar a gravação de um vídeo de 10 segundos

para todo o grupo, de forma que o *smartphone* ficasse apoiado na mesa para garantir maior estabilidade e que o LED ficasse no meio da tela do *smartphone* no momento da gravação, para que o vídeo fosse melhor aproveitado e ficasse mais fácil de ser analisado pelo programa *Tracker Online*.

No geral, os estudantes não tiveram dificuldade em utilizar o *Tracker Online* e analisar os vídeos do LED gravados na Sala *Maker*, pois seguiram um roteiro passo a passo de análise de Região RGB elaborado pelo professor.

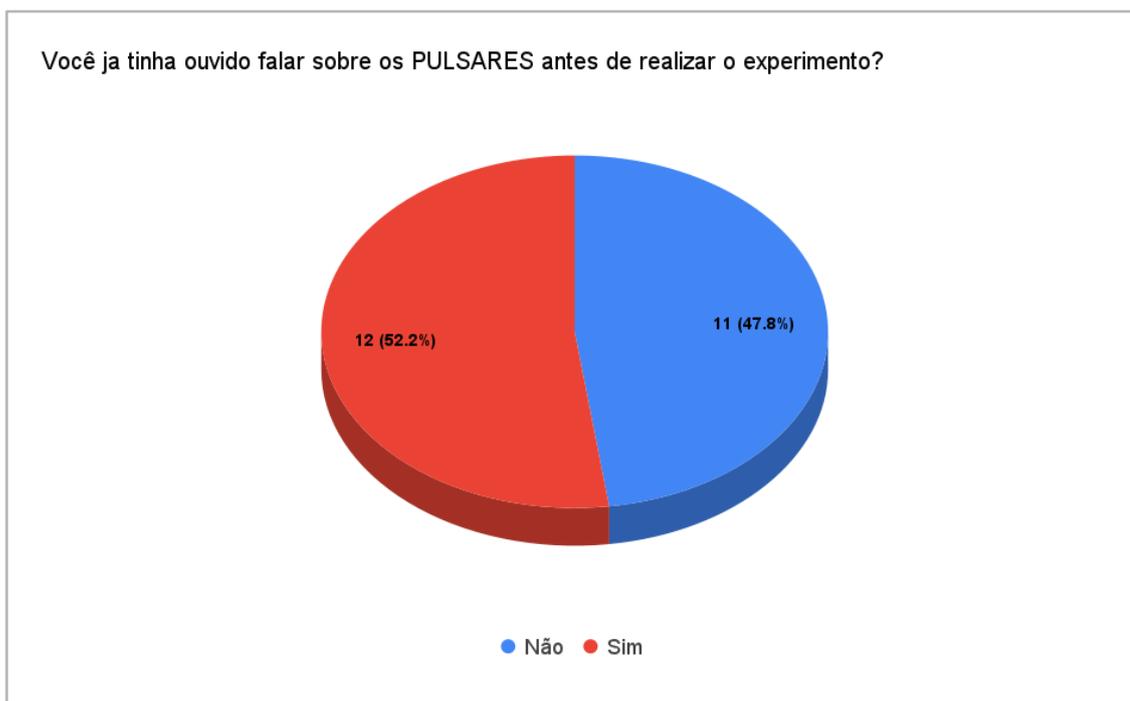
O Gráfico 12 representa uma visão geral da SD “Dos LEDs aos Pulsares”, englobando diversos fatores como qualidade, interação com os colegas e facilidade de utilização e aplicação do circuito LED *blinker* em sala de aula. Num contexto geral, com base nos dados apresentados, o circuito LED *blinker* e o experimento “Dos LEDs aos Pulsares” foram avaliados de forma positiva pelas turmas do 8º e 9º ano, indicando uma aceitação pelos estudantes em questão, após terem realizado a sequência didática.

Gráfico 12 - Gráfico de barras comparativo gerado a partir da análise das respostas dos estudantes em diferentes tópicos sobre o experimento e materiais utilizados na SD “Dos LEDs aos Pulsares”. Foi apresentada, também, a opção “Muito ruim”, porém sem votos.



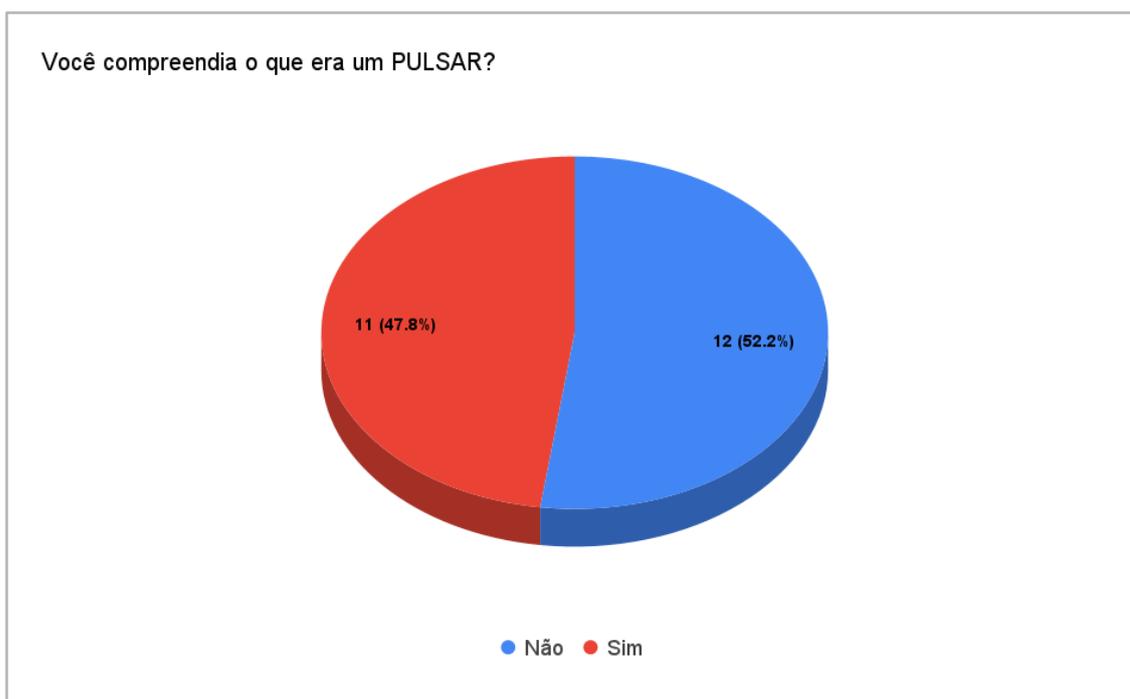
Fonte: Autoria própria.

Gráfico 13 - Gráfico de pizza gerado a partir da análise das respostas dos estudantes.



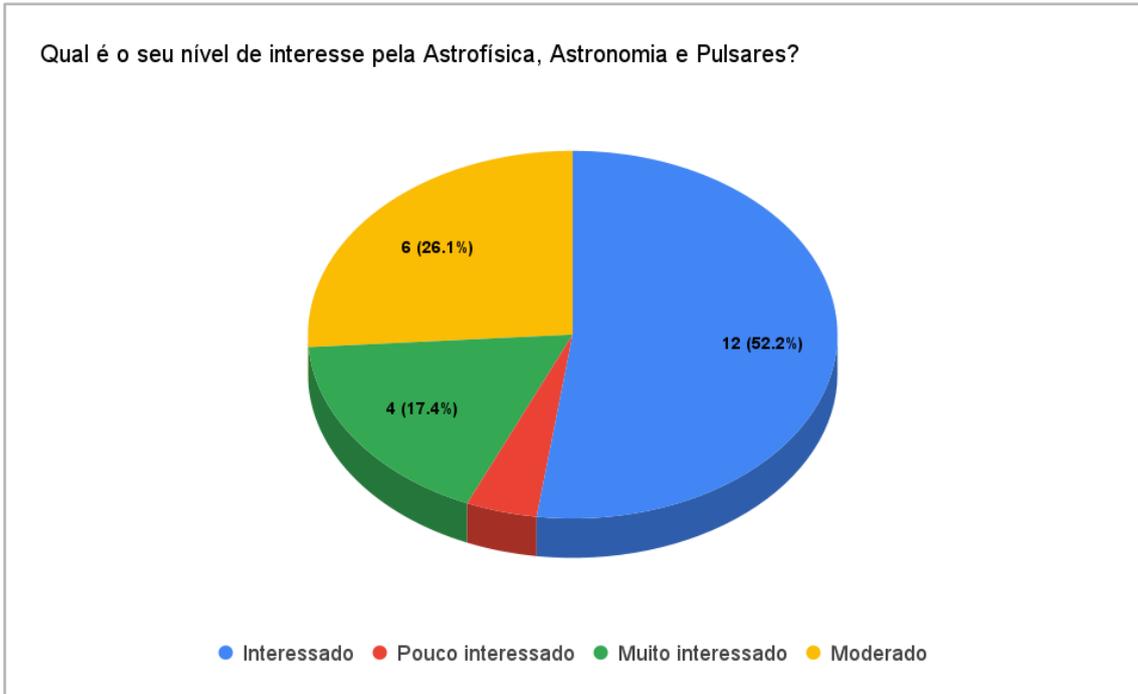
Fonte: Autoria própria

Gráfico 14 - Gráfico de pizza gerado a partir da análise das respostas dos estudantes.



Fonte: Autoria própria

Gráfico 15 - Gráfico de pizza gerado a partir da análise das respostas dos estudantes. Foi apresentada, também, a opção "Desinteressado", porém sem votos.



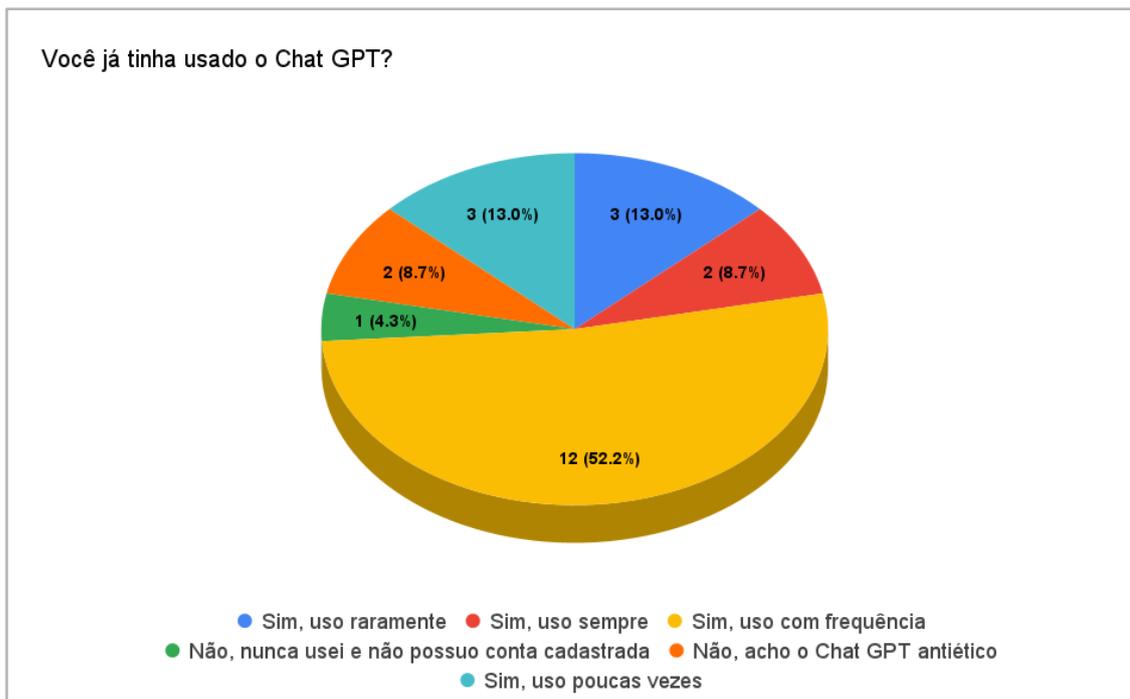
Fonte: Autoria própria

Gráfico 16 - Gráfico de pizza gerado a partir da análise das respostas dos estudantes. Foi apresentada, também, a opção "Desmotivado", porém sem votos.



Fonte: Autoria própria

Gráfico 17 - Gráfico de pizza gerado a partir da análise das respostas dos estudantes.



Fonte: Autoria própria

Gráfico 18 - Gráfico de pizza gerado a partir da análise das respostas dos estudantes. Foram apresentadas, também, as opções “ruim” e “muito ruim/desinteressante”, porém sem votos.



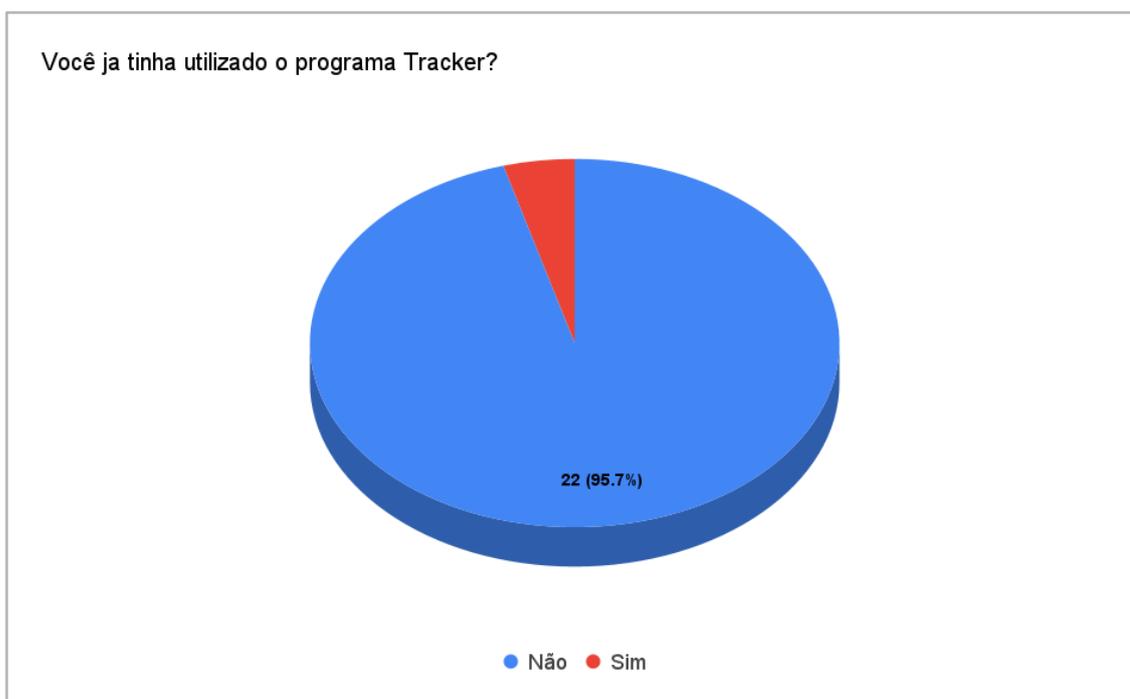
Fonte: Autoria própria

Gráfico 19 - Gráfico de pizza gerado a partir da análise das respostas dos estudantes. Foram apresentadas, também, as opções "Ruim" e "Muito ruim e negativa", porém sem votos.



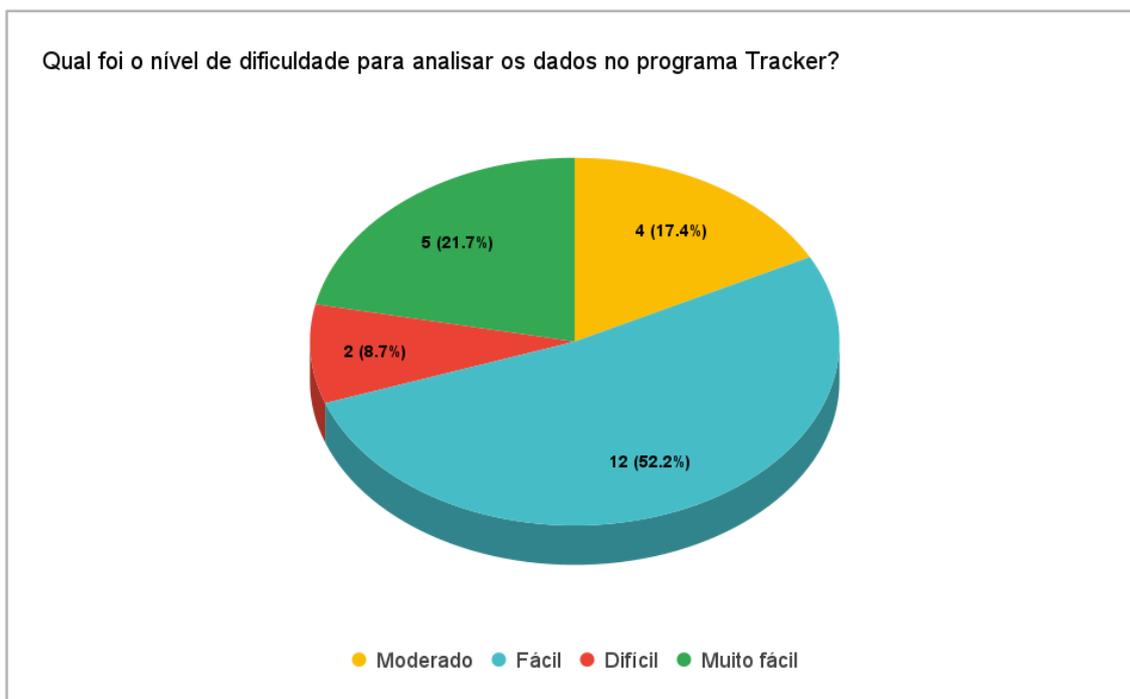
Fonte: Autoria própria

Gráfico 20 - Gráfico de pizza gerado a partir da análise das respostas dos estudantes.



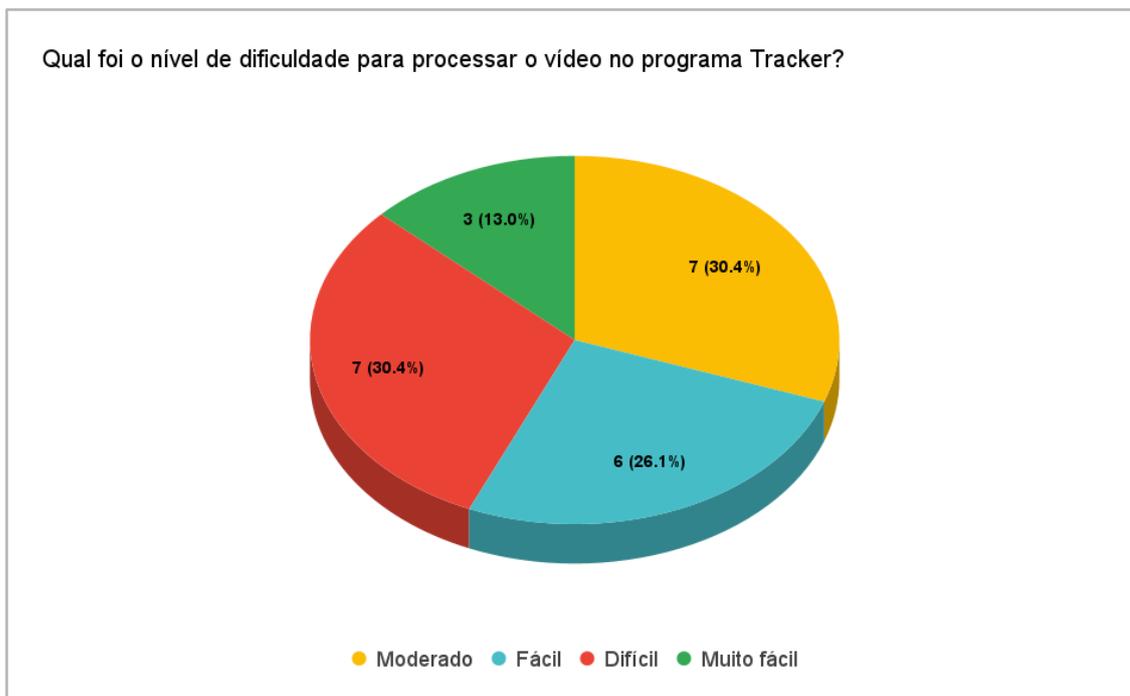
Fonte: Autoria própria

Gráfico 21 - Gráfico de barras gerado a partir da análise das respostas dos estudantes. Foi apresentada, também, a opção "Muito difícil", porém sem votos.



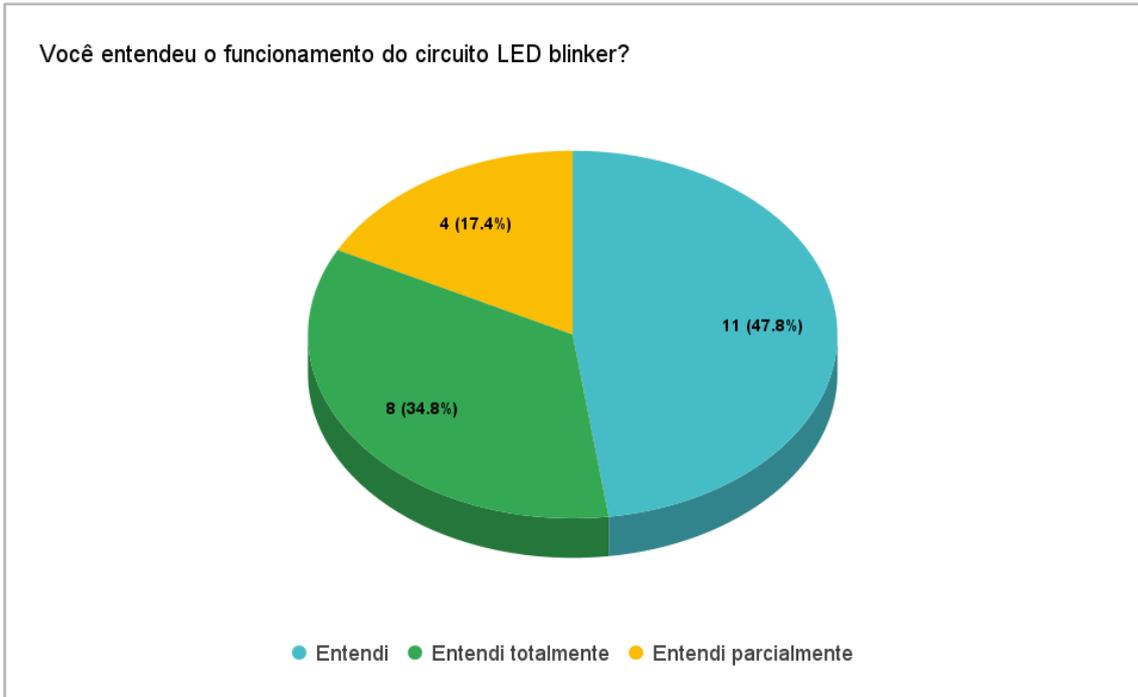
Fonte: Autoria própria

Gráfico 22 - Gráfico de barras gerado a partir da análise das respostas dos estudantes. Foi apresentada, também, a opção "Muito difícil", porém sem votos.



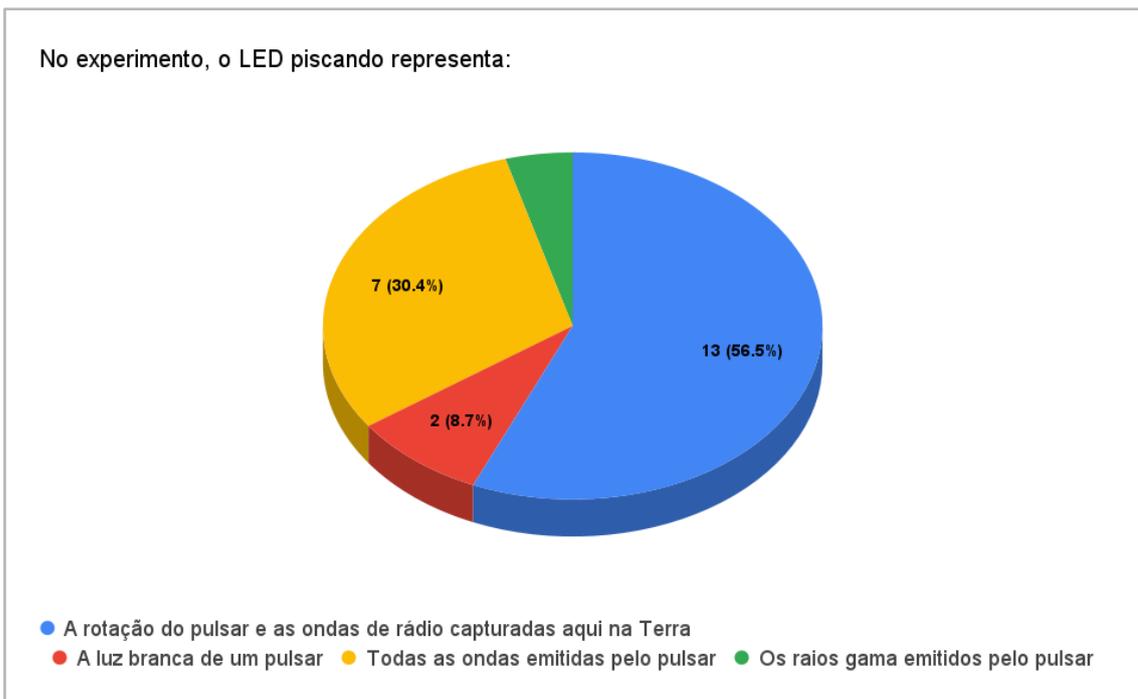
Fonte: Autoria própria

Gráfico 23 - Gráfico de pizza gerado a partir da análise das respostas dos estudantes. Foi apresentada, também, a opção "Não entendi", porém sem votos.



Fonte: Autoria própria

Gráfico 24 - Gráfico de pizza gerado a partir da análise das respostas dos estudantes.



Fonte: Autoria própria

Quadro 7 - Respostas abertas dos estudantes do 8º e 9º ano ao final do formulário.

| O que você mais gostou de fazer durante o experimento? | |
|---|--|
| Estudante 11 | Eu gostei de montar os LEDs <i>blinkers</i> |
| Estudante 12 | De sair de sala |
| Estudante 13 | Construir o circuito |
| Estudante 14 | Eu gostei de utilizar o <i>Tracker</i> |
| Estudante 15 | Eu gostei muito de montar o circuito LED |
| Estudante 16 | Experimentos envolvendo circuitos LEDs |
| Estudante 17 | A parte que eu mais gostei foi de montar a estrutura para fazer o LED piscar |
| Estudante 18 | Eu sou uma pessoa que adora física, como as coisas funcionam além dos nossos olhos, então, o experimento foi divertido e interessante. Eu gostei mais da parte de montar |
| Estudante 19 | Montar o sistema na protoboard |
| Estudante 20 | Light |
| Estudante 21 | Como não fiz o circuito pois estava viajando, gostei de estudar sobre a Jocelyn! Se eu tivesse feito o circuito acredito que teria sido minha parte favorita |
| Estudante 22 | Analisar os dados do vídeo do LED no <i>Tracker Online</i> , e a continuidade no chat GPT |
| Estudante 23 | As pesquisas |
| Estudante 24 | Interagir com o circuito com meus colegas e utilizar um equipamento de eletrônica de verdade |
| Estudante 25 | Montar o circuito |
| Estudante 26 | Montar o circuito na sala <i>maker</i> e ver funcionando |
| Estudante 27 | Circuito LED |
| Estudante 28 | Fazer o circuito do LED |
| Estudante 29 | eu gostei muito de montar o circuito e tentar encaixar as “peças” na placa pra fazer o LED ligar depois |
| Estudante 30 | Montar o circuito elétrico e ver o LED funcionar |
| Estudante 31 | Gostei bastante de montar o circuito e no final ver o resultado, tipo o LED acendendo de primeira |
| Estudante 32 | Conectar a fonte no circuito LED |
| Estudante 33 | Durante o experimento, eu gostei muito de montar e interagir fazendo o circuito LED. Gosto de mexer nos materiais e me sentir no controle |

Fonte: Autoria própria

A análise das respostas dos estudantes revela perspectivas significativas sobre o impacto de experimentos interativos e o uso de tecnologias digitais no ensino de física, com particular foco na astrofísica. Primeiramente, destaca-se a predominância de comentários relacionados ao ato de montar circuitos, especialmente os LEDs *blinkers*. Isso sugere que atividades práticas que envolvem a manipulação de componentes eletrônicos despertam alto engajamento. Estudantes frequentemente mencionam a satisfação em ver o LED funcionar como um momento culminante. Isso está alinhado com estudos que mostram como a integração de elementos *hands-on* no ensino de ciências promove aprendizagem ativa, motivação intrínseca e maior retenção de conceitos teóricos.

A diversidade de respostas também aponta para diferentes dimensões do aprendizado proporcionadas pela abordagem. Alguns estudantes demonstraram um apreço pela interatividade e pelo trabalho colaborativo, destacando o valor social do aprendizado em grupo, enquanto outros enfatizaram a importância do uso de ferramentas de análise de dados, como o *software Tracker*, ou a exploração conceitual através de plataformas de IA, como o ChatGPT. Essas respostas indicam que, ao oferecer uma variedade de atividades, o experimento atendeu a diferentes estilos de aprendizagem e interesses, uma característica essencial para o ensino inclusivo e eficaz.

O uso do *software Tracker* e a integração de IAs como o ChatGPT merecem atenção especial. Estudantes que apreciaram essas ferramentas destacaram tanto o suporte técnico quanto o investigativo proporcionado por essas tecnologias. Ferramentas digitais como o *Tracker* são amplamente reconhecidas por suas contribuições ao desenvolvimento de habilidades analíticas, permitindo que os estudantes conectem fenômenos experimentais a representações matemáticas. Por outro lado, o uso do ChatGPT parece ter fomentado uma extensão do aprendizado além do experimento físico, promovendo a pesquisa autônoma e o aprofundamento conceitual. Tais recursos reforçam a alfabetização científica e digital, indispensáveis no século XXI.

Os comentários também evidenciam o papel transformador de abordagens interdisciplinares no ensino de astrofísica. A menção à cientista Jocelyn Bell Burnell, juntamente com a prática experimental, demonstra que a inclusão de contextos históricos e científicos relevantes no planejamento pedagógico enriquece a experiência de aprendizagem. Essa abordagem não só inspira os estudantes, mas

também conecta conceitos teóricos a histórias reais de descobertas científicas, promovendo um senso de pertencimento e relevância. O interesse por figuras como Jocelyn Bell sugere que o ensino de astrofísica pode ser uma via para engajar estudantes em questões mais amplas, como a representação de gênero e o papel das mulheres na ciência.

Outro aspecto notável é a valorização dos espaços *makers* e da experimentação em sala de aula. Estudantes destacaram o impacto de utilizar equipamentos de "verdade" e trabalhar em ambientes onde podem manipular materiais concretos. Tais espaços têm sido defendidos por especialistas em educação como catalisadores para o aprendizado significativo, pois permitem que os estudantes explorem conceitos de forma tátil e visual. A sensação de controle mencionada por alguns estudantes ao montar circuitos reflete uma experiência de empoderamento que transcende o conteúdo acadêmico, desenvolvendo competências como resolução de problemas, trabalho em equipe e criatividade.

Por fim, a análise revela a efetividade de uma abordagem integrativa que combina experimentação prática, ferramentas digitais e apoio conceitual via IA. A pluralidade de respostas sugere que tal abordagem não apenas melhora a compreensão dos conceitos de física e astrofísica, mas também cria uma experiência educacional memorável e transformadora. Isso reforça a importância de incluir metodologias inovadoras e tecnológicas no currículo, com vistas a preparar os estudantes para desafios acadêmicos e profissionais em um mundo cada vez mais interconectado e tecnologicamente avançado.

Os comentários dos estudantes sobre o experimento interativo com circuitos LEDs, o uso do *software Tracker* e a integração do ChatGPT mostram como essas atividades impactaram de forma significativa suas experiências de aprendizado. Muitos mencionaram que gostaram de montar os circuitos e ver o LED piscar. Por exemplo, o Estudante 17 comentou: "A parte que eu mais gostei foi montar a estrutura para fazer o LED piscar", enquanto o Estudante 29 destacou: "Eu gostei muito de montar o circuito e tentar encaixar as 'peças' na placa pra fazer o LED ligar depois". Esse tipo de resposta evidencia a satisfação de trabalhar com as mãos, montar algo do zero e, no final, ver o resultado funcionando. Essa prática não apenas reforça conceitos de física, mas também dá aos estudantes um senso de realização.

Por outro lado, a interação com ferramentas digitais também chamou atenção. O Estudante 14 mencionou: "Eu gostei de utilizar o *Tracker*", e o Estudante 22 complementou: "Analisar os dados do vídeo do LED no *Tracker Online* e a continuidade no ChatGPT". Isso mostra como a integração de tecnologias modernas no ensino torna o aprendizado mais dinâmico e conectado com a realidade dos estudantes. Ferramentas como o *Tracker* ajudam a explorar a física por trás do experimento, enquanto o ChatGPT parece ter servido como um apoio para aprofundar questões e tirar dúvidas. Esse equilíbrio entre o prático e o digital cria um ambiente de aprendizado completo e envolvente.

Houve também respostas que ressaltaram a importância do contexto histórico e do papel inspirador da ciência. O Estudante 21, que não pôde participar do experimento, escreveu: "Gostei de estudar sobre a Jocelyn! Se eu tivesse feito o circuito acredito que teria sido minha parte favorita". Esse comentário mostra como a inclusão de figuras importantes na ciência, como Jocelyn Bell Burnell, amplia o impacto do experimento ao trazer histórias que inspiram. Isso ajuda a conectar os conceitos de física e astrofísica com a trajetória humana, tornando o aprendizado mais significativo.

A colaboração e o trabalho em grupo também se destacaram como fatores importantes para muitos estudantes. O Estudante 24 mencionou: "Interagir com o circuito com meus colegas e utilizar um equipamento de eletrônica de verdade". Essa fala enfatiza o quanto o aprendizado prático em grupo pode ser enriquecedor, tanto no aspecto técnico quanto social. Além disso, a utilização de ambientes como a sala *maker* foi destacada por alguns, como o Estudante 26: "Montar o circuito na sala *maker* e ver funcionando". Espaços assim permitem que os estudantes se sintam em um ambiente de descoberta e experimentação, o que aumenta o engajamento.

Alguns comentários vão além do aspecto técnico e mostram como o experimento despertou um encantamento pela física. O Estudante 18 escreveu: "Eu sou uma pessoa que adora física, como as coisas funcionam além dos nossos olhos, então, o experimento foi divertido e interessante. Eu gostei mais da parte de montar". Esse tipo de reflexão demonstra como atividades práticas e bem planejadas podem despertar a curiosidade natural dos estudantes e até mesmo incentivar o gosto pelas ciências.

No geral, o experimento parece ter gerado uma experiência rica e diversa. Enquanto alguns valorizaram o desafio de montar o circuito, outros apreciaram as ferramentas digitais ou o contexto histórico-científico. A combinação dessas abordagens fez com que os estudantes explorassem a física de diferentes formas, conectando teoria e prática, colaboração e individualidade, ciência e tecnologia. Esses elementos juntos criaram um ambiente que não só ensinou conceitos importantes, mas também engajou, inspirou e encantou os estudantes.

A partir do Gráfico 7, os comentários dos estudantes sobre o experimento destacam aspectos variados e ricos que refletem diferentes interesses e aprendizagens. Muitos deles, como o Estudante 11, mencionaram a satisfação de ver o LED funcionando corretamente após montarem o circuito: "Ver os LEDs funcionando perfeitamente depois da gente mesmo ter montado". Essa sensação de realização é um aspecto crucial de atividades práticas, pois permite que os estudantes experimentem a aplicação direta dos conceitos que aprenderam, promovendo um aprendizado mais significativo e empoderador.

Outros estudantes valorizaram o trabalho em equipe como um ponto alto da experiência. O Estudante 12 afirmou: "De trabalhar em equipe". Essa percepção ressalta como a colaboração desempenha um papel central no desenvolvimento de habilidades socioemocionais e técnicas. Trabalhar juntos para resolver problemas e construir os circuitos fortalece não apenas a compreensão científica, mas também a comunicação e o espírito de cooperação.

Vários estudantes demonstraram fascínio pelos detalhes técnicos e conceituais do experimento. O Estudante 15 destacou: "O que mais prendeu minha atenção foi o que é cada material usado para montar o circuito LED" e o Estudante 24 comentou: "Como uma protoboard realmente funcionava e como um capacitor funcionava". Isso indica que atividades práticas não só despertam a curiosidade, mas também incentivam os estudantes a explorarem além da superfície, investigando o funcionamento interno dos componentes e suas aplicações.

Quadro 8 - Respostas abertas dos estudantes do 8º e 9º ano ao final do formulário.

| No experimento o que mais chamou sua atenção? | |
|--|--|
| Estudante 11 | Ver os LED funcionando perfeitamente depois da gente mesmo ter montado |
| Estudante 12 | De trabalhar em equipe |
| Estudante 13 | Os gráficos |
| Estudante 14 | O aplicativo |
| Estudante 15 | O que mais prendeu minha atenção foi o que é cada material usado para montar o circuito LED |
| Estudante 16 | As aulas práticas (que nós fazemos os circuitos) |
| Estudante 17 | Quando fomos na <i>maker</i> montar o circuito do LED |
| Estudante 18 | O próprio circuito LED e talvez coisas elétricas |
| Estudante 19 | A protoboard |
| Estudante 20 | Lights |
| Estudante 21 | Como algo tão comum como Radio pode detectar um pulsar |
| Estudante 22 | A própria criação/funcionamento do LED |
| Estudante 23 | o <i>Tracker</i> , aplicativo muito interessante |
| Estudante 24 | Como que uma protoboard realmente funcionava e como um capacitor funcionava |
| Estudante 25 | Saída de sala, mudança de ares |
| Estudante 26 | O gráfico feito pelo <i>Tracker</i> bem detalhado e mostrando como um site pode ter precisão |
| Estudante 27 | Quando acabamos de fazer o circuito, e colocamos o LED para acender, e podemos controlar a velocidade que brilhava |
| Estudante 28 | A luz ligando e desligando do LED durante o experimento |
| Estudante 29 | tentar fazer o circuito certo pro LED ligar depois |
| Estudante 30 | Ver o LED piscar quando arrumamos o circuito |
| Estudante 31 | O LED, achei legal ver os negócios dentro, os ferrinhos |
| Estudante 32 | O LED começar a piscar, esperava que ficaria ligado em uma potência só |
| Estudante 33 | O que mais chamou minha atenção foi a parte de ligar o LED e ver se meu circuito funcionava |

Fonte: Autoria própria

A luz emitida pelo LED foi um elemento marcante para muitos estudantes. O Estudante 28 descreveu: "A luz ligando e desligando do LED durante o experimento", enquanto o Estudante 30 mencionou: "Ver o LED piscar quando arrumamos o circuito". Esses comentários demonstram como o elemento visual, especialmente quando ligado a um resultado tangível, tem um impacto profundo na aprendizagem. O fato de os estudantes controlarem a velocidade da luz piscando, como destacado pelo Estudante 27: "Podemos controlar a velocidade que brilhava", também reforça a ideia de que dar controle aos estudantes sobre o experimento aumenta seu engajamento e compreensão.

Além dos aspectos técnicos e visuais, o uso de tecnologias complementares como o *Tracker* foi valorizado por outros estudantes. O Estudante 26 mencionou: "O gráfico feito pelo *Tracker* bem detalhado e mostrando como um site pode ter precisão", e o Estudante 23 comentou: "O *Tracker*, aplicativo muito interessante". Esses exemplos mostram que a integração de ferramentas digitais não apenas auxilia na análise de dados, mas também surpreende os estudantes pela precisão e aplicabilidade no mundo real.

Adicionalmente, em um campo destinado a relatos (*feedback*) e opiniões sobre a sequência didática e experimento realizados, os seguintes estudantes responderam:

- Estudante 11: "Achei muito legal montar o circuito LED, mas a parte dos pulsares eu não gostei muito";
- Estudante 16: "Espero ter mais vezes esse tipo de aula";
- Estudante 17: "Eu achei muito bom termos feito o sistema do LED na *maker*";
- Estudante 19: "Uma atividade muito interativa, e legal, pois ela diferente das outras atividades monótonas";
- Estudante 25: "Poderíamos fazer mais experimentos fora da sala de aula, com todos os estudantes, como um grupo";
- Estudante 27: "Eu achei que esse trabalho me ensinou bastante, e gostei dos grupos que eu fiquei. Também gostei das etapas do trabalho e como várias delas eram bem interativas, e gostei de como saímos de sala para realizar";
- Estudante 29: "Eu gostei muito de realizar esse trabalho, de mudar os grupos a cada passo, ir na *maker* e construir o circuito. acho que além de ter sido um projeto legal me ensinou muito e prendeu a atenção de muitos estudantes que em uma aula normal não entenderiam o conteúdo tão facilmente";

- Estudante 30: “Achei o projeto bem interessante, ainda mais porque foi na sala *maker*, que fazia muito tempo que nossa turma não usava”;
- Estudante 31: “Trabalhos assim são bem melhores do que ter que escrever e fazer apresentações”;
- Estudante 32: “Eu achei interessante estudar os circuitos led e os pulsares, gostei de saber do programa *Tracker*”;
- Estudante 33: “Eu gostei de aprender mais sobre a história dos pulsares e dos LEDs. Gosto e aprendo mais quando faço coisas práticas e me diverti muito com este projeto”.

Os relatos apresentados oferecem uma rica base para análise de como práticas pedagógicas interativas e o uso de tecnologias, como circuitos eletrônicos e *softwares* de análise de dados, podem impactar a experiência de aprendizagem no ensino médio. A metodologia ativa aplicada, ao integrar experimentos *hands-on* com circuitos LED e atividades em um ambiente *maker*, despertou um alto nível de engajamento entre os estudantes. A mudança de cenário da sala de aula convencional para um espaço *maker* foi destacada positivamente por diversos estudantes, que ressaltaram a novidade e o impacto motivacional dessa abordagem. Comentários como os dos estudantes 17 e 30, que elogiaram o uso do espaço *maker*, indicam que a novidade do ambiente e a prática experimental são eficazes em combater a monotonia percebida nas aulas tradicionais. Essa dinâmica também promoveu uma ruptura positiva com as práticas consideradas monótonas, como explicitado pelo Estudante 19. Além disso, o uso de grupos rotativos e tarefas colaborativas foi apreciado, demonstrando como a interação social potencializa a construção coletiva do conhecimento.

Os relatos também indicam que os experimentos realizados não apenas tornaram os conteúdos mais acessíveis, mas aprofundaram a compreensão conceitual e a capacidade dos estudantes de conectar diferentes áreas do conhecimento. A integração de tópicos de astrofísica, como pulsares, com conceitos práticos de eletrônica básica, como LEDs, forneceu um contexto significativo para o aprendizado. Comentários como o do Estudante 33, que destacou o valor de aprender a história dos pulsares enquanto realizava atividades práticas, revelam a importância da interdisciplinaridade no ensino de ciências. A inclusão do *software Tracker*, por sua vez, representa um avanço no letramento digital e científico, mostrando como

ferramentas tecnológicas podem conectar o aprendizado teórico com aplicações práticas. Contudo, a experiência com conteúdos mais abstratos, como pulsares, nem sempre foi igualmente valorizada, como aponta o Estudante 11, o que sugere a necessidade de estratégias adicionais para abordar conceitos menos tangíveis, como simulações ou jogos interativos.

O uso de tecnologias, como *softwares* de análise de vídeo, e a potencial integração de IAs, como o ChatGPT, oferecem oportunidades significativas para personalizar o aprendizado e promover investigações mais profundas. Ferramentas como a IA podem facilitar a compreensão de conceitos complexos, oferecendo explicações adaptadas às necessidades dos estudantes, além de estimular o pensamento crítico por meio de prompts que incentivem a formulação de hipóteses e análise de dados. Embora os relatos diretos sobre o uso de IA não estejam presentes, a receptividade dos estudantes a novas tecnologias, como o *Tracker*, sugere que a introdução de ferramentas baseadas em IA seria bem recebida e potencialmente transformadora. O comentário do Estudante 31, que destacou a preferência por trabalhos interativos em relação a tarefas tradicionais como redações ou apresentações, reflete o impacto motivacional de práticas pedagógicas que combinam experimentação prática e inovação tecnológica.

Outro ponto relevante nos relatos é o impacto emocional positivo das atividades práticas e tecnológicas. Comentários como o do Estudante 31, que mencionou preferir "trabalhos assim" a "escrever e fazer apresentações", evidenciam como a prática ativa pode reduzir barreiras emocionais associadas a métodos tradicionais de avaliação e aprendizado. Essa preferência pelo aprendizado experimental, em que os estudantes constroem, testam e refletem sobre os resultados, demonstra a importância de diversificar as estratégias pedagógicas para incluir abordagens que favoreçam diferentes estilos de aprendizado.

Os relatos analisados demonstram que práticas interativas e o uso de tecnologias no ensino de física e astrofísica aumentam o engajamento dos estudantes, promovem a interdisciplinaridade e facilitam uma aprendizagem significativa. Essas estratégias conectam ciência, tecnologia e inovação, posicionando os estudantes como protagonistas de sua aprendizagem e cidadãos cientificamente alfabetizados. A partir desses resultados, sugere-se que futuras implementações aprofundem a integração de tecnologias de IA para personalizar o aprendizado e explorar novos modelos de investigação científica, ao mesmo tempo em que equilibram a abordagem

de conteúdos abstratos com atividades mais concretas e sensoriais. Assim, reforça-se a importância de metodologias que transformem a educação científica em um processo envolvente, relevante e acessível a todos.

Finalmente, os relatos indicam uma tendência clara de valorização de práticas que conectam ciência, tecnologia e inovação. A experiência vivenciada pelos estudantes nesta atividade posiciona-os como protagonistas de sua própria aprendizagem, além de capacitá-los a se tornarem cidadãos cientificamente alfabetizados em um mundo cada vez mais dependente de tecnologias avançadas. Para o futuro, é essencial ampliar a integração de tecnologias emergentes, como IA e simulações computacionais, enquanto se busca equilibrar conteúdos mais abstratos com experiências práticas e sensoriais. A continuidade e a expansão dessas práticas não apenas fortalecem o ensino de física e astrofísica, mas também transformam a maneira como os estudantes interagem com o conhecimento científico, tornando-o mais acessível, relevante e inspirador.

7.3 Pré-análise

A fase inicial de pré-análise, conforme preconizada por Bardin (2004), no contexto desse estudo, envolveu a compilação e organização dos dados obtidos através do questionário *online* aplicado aos estudantes, bem como das observações realizadas durante a execução do experimento "Dos LEDs aos Pulsares".

A leitura flutuante desse material, permitiu a emergência de hipóteses iniciais que nortearam as análises subsequentes. Essas hipóteses, fundamentadas nas primeiras impressões e na literatura pertinente ao ensino de física e astronomia, foram formuladas da seguinte maneira:

- A integração de tecnologias e abordagens práticas no ensino de física e astronomia tem o potencial de aumentar significativamente o engajamento dos estudantes da 2ª série do ensino médio, promovendo uma aprendizagem mais ativa e significativa?
- O uso de analogias entre fenômenos cotidianos (como o LED piscando) e conceitos astronômicos complexos (como os pulsares) pode atuar como um facilitador cognitivo, permitindo uma compreensão mais profunda e duradoura de conteúdos avançados em física e astronomia?

- A incorporação de inteligência artificial no processo de ensino-aprendizagem é percebida positivamente pelos estudantes, e quais são as implicações pedagógicas dessa integração tecnológica?
- Essas hipóteses, além de orientarem a análise, também se alinham com as tendências contemporâneas em educação em ciências, que enfatizam a importância da contextualização, da experimentação e da integração tecnológica no ensino (OSBORNE; DILLON, 2010)?

7.4 Exploração do material

A fase de exploração do material, envolveu a codificação sistemática dos dados coletados, incluindo as imagens e trabalhos enviados pelos estudantes. Este processo de codificação, fundamentado nos princípios metodológicos de Bardin (2004) e adaptado às especificidades desse estudo, permitiu a transformação dos dados brutos em unidades de registro significativas.

A partir dessa codificação, emergiram categorias analíticas que serviram como eixos estruturantes para a interpretação dos resultados. Essas categorias, derivadas tanto indutivamente dos dados quanto dedutivamente das hipóteses iniciais e do referencial teórico, são:

- a) Engajamento e Motivação: Essa categoria abrange aspectos relacionados ao interesse, participação ativa e entusiasmo dos estudantes durante o experimento. Analisa-se aqui como a abordagem prática e tecnológica impactou a disposição dos estudantes para o aprendizado de física e astronomia;
- b) Compreensão de Conceitos: Foca-se na avaliação do entendimento dos estudantes sobre os conceitos físicos e astronômicos abordados, especialmente a relação analógica entre o circuito LED *blinker* e os pulsares;
- c) Percepção sobre Tecnologias Educacionais: Analisa as atitudes e opiniões dos estudantes em relação ao uso de tecnologias no processo de ensino-aprendizagem, com ênfase especial na integração de inteligência artificial e *softwares* específicos como o *Tracker Online*;

- d) Multidisciplinaridade: Examina como o experimento conseguiu integrar diferentes áreas do conhecimento, promovendo uma compreensão global, contextualizada e multidisciplinar dos fenômenos estudados;
- e) Desafios e Limitações: Identifica e analisa os obstáculos enfrentados durante a implementação do experimento, bem como as limitações percebidas pelos estudantes e pelo professor;
- f) Perspectiva CTSA: Reflete o objetivo de analisar como o experimento promoveu conexões entre o conhecimento científico e suas implicações tecnológicas, sociais e ambientais.

Essas categorias não são mutuamente exclusivas, mas interagem e se sobrepõem, refletindo a complexidade do processo educativo e a natureza multifacetada do experimento realizado. A análise subsequente buscará explorar essas interações, fornecendo uma compreensão mais profunda e detalhada dos resultados obtidos.

7.5 Tratamento dos resultados, inferência e interpretação

7.5.1 Engajamento e motivação

A análise quantitativa dos dados, particularmente os resultados apresentados no Gráfico 16, revela um padrão notável de engajamento e motivação entre os estudantes participantes do experimento "Dos LEDs aos Pulsares". A ausência de respostas indicando desmotivação, aliada às respostas dos estudantes que se declararam "muito motivados" ou "motivados", sugere que a abordagem experimental e analógica adotada foi bem sucedida em capturar o interesse e estimular o envolvimento ativo dos estudantes no processo de aprendizagem.

Esse resultado alinha-se com a teoria educacional de Gowin (1981), que enfatiza a importância da relação entre materiais educativos significativos e a captação de significados pelos estudantes. A natureza *hands-on* do experimento, funcionando como um evento/objeto de estudo concreto no Vê epistemológico, combinada com a analogia entre um fenômeno cotidiano (LED piscando) e um conceito astronômico complexo (pulsares), parece ter criado um ambiente de

aprendizagem que favorece o compartilhamento de significados, transcendendo a tradicional percepção das disciplinas de exatas como abstratas ou desinteressantes.

Além disso, as respostas qualitativas (abertas) coletadas ao final do formulário, corroboram e enriquecem tal interpretação. Declarações como "Produtivo, aprendi bastante" (Estudante 1) e "Achei muito interessante, não conhecia sobre os pulsares e agora tenho um conhecimento melhor sobre. Ótimo experimento e ótimas instruções dadas pelo professor" (Estudante 7) não apenas reforçam o engajamento percebido, mas também sugerem que esse engajamento se traduziu em uma percepção de aprendizagem efetiva.

Inferência: O experimento demonstrou eficácia em romper barreiras perceptivas comumente associadas às disciplinas de ciências exatas, promovendo um engajamento ativo e uma motivação entre os estudantes. Esse resultado é particularmente significativo considerando o contexto do ensino médio, onde muitas vezes se observa um declínio no interesse pelas áreas e disciplinas exatas (OSBORNE *et al.*, 2003).

7.5.2 Compreensão de conceitos

A análise dos dados quantitativos, especialmente os resultados apresentados nas Figuras 26 e 29, fornece evidências substanciais de que o experimento foi eficaz em promover a compreensão de conceitos físicos e astronômicos complexos. A maioria dos estudantes demonstrou entendimento da relação entre o intervalo de brilho do LED e o comportamento dos pulsares, assim como do funcionamento do circuito LED *blinker*. Esse resultado é particularmente notável considerando a complexidade inerente aos fenômenos astronômicos em questão e o nível educacional dos participantes.

A eficácia da abordagem analógica é corroborada por respostas qualitativas como "A analogia entre o LED e os pulsares" (Estudante 2) e "A ligação da ideia do pulsar com a projeção do LED" (Estudante 3). Essas declarações sugerem que os estudantes não apenas compreenderam os conceitos individuais, mas também foram capazes de estabelecer conexões significativas entre o modelo experimental e o fenômeno astronômico real.

Essa constatação alinha-se, também, com a teoria da aprendizagem significativa de Ausubel (1968), que enfatiza a importância de conectar novos conhecimentos a conceitos já familiares ao aprendiz. A analogia entre o circuito LED *blinker* e os pulsares parece ter funcionado como um "organizador prévio", facilitando a assimilação de conceitos astronômicos complexos ao relacioná-los com um fenômeno observável e manipulável.

Inferência: A abordagem analógica e prática demonstrou ser um método eficaz para tornar conceitos astronômicos complexos mais acessíveis e compreensíveis para estudantes do ensino médio. Esse resultado tem implicações significativas para o ensino de física e astronomia, sugerindo que o uso de analogias e experimentos práticos pode superar barreiras conceituais e facilitar a aprendizagem de tópicos e conceitos avançados, incluindo astrofísica e radioastronomia, por exemplo.

7.5.3 Percepção sobre tecnologias educacionais

A análise dos dados quantitativos, particularmente os resultados apresentados nas Figuras 23 e 24, revela um cenário interessante e promissor na integração de tecnologias educacionais avançadas no processo de ensino-aprendizagem. O fato de que mais da metade da turma já havia utilizado o ChatGPT, com $\frac{3}{10}$ fazendo uso recorrente, indica uma familiaridade significativa dos estudantes com ferramentas de inteligência artificial. Essa constatação alinha-se com as observações de pesquisadores como Prensky (2001) sobre os "nativos digitais" e sugere uma predisposição dos estudantes para a incorporação de tecnologias emergentes em sua jornada educacional.

Mais notável ainda é a alta aprovação do uso de IA em sala de aula, evidenciada na Figura 24. Esse resultado sugere não apenas uma aceitação passiva, mas um entusiasmo ativo por parte dos estudantes em relação à integração de tecnologias de ponta no ambiente educacional. Tal receptividade pode ser interpretada à luz das teorias de aprendizagem do século XXI, que enfatizam a importância da fluência digital e da adaptabilidade tecnológica como competências essenciais para o futuro (TRILLING; FADEL, 2009).

As respostas qualitativas dos estudantes corroboram e enriquecem essa interpretação. Declarações como "Conhecer um novo instrumento *online*" (Estudante 2) e "O uso do programa *Tracker*" (Estudante 3) não apenas demonstram interesse nas ferramentas tecnológicas utilizadas, mas também sugerem uma percepção de valor agregado à experiência educacional através dessas tecnologias.

Inferência: Os estudantes demonstram uma abertura significativa e entusiasmo em relação à integração de novas tecnologias, particularmente a inteligência artificial, no processo de ensino-aprendizagem. Essa receptividade oferece um terreno fértil para inovações pedagógicas que incorporem o uso de tecnologias em sala de aula de forma significativa e pedagogicamente fundamentada. No entanto, faz-se necessário que essa integração seja realizada de maneira criteriosa e eticamente responsável, considerando as implicações éticas e sociais do uso de IA na Educação (PEREIRA, 2021).

A integração de tecnologias em sala de aula é evidenciada como um fator-chave do experimento, pois proporciona aos estudantes uma experiência prática e alinhada com o contexto digital atual. A simulação do comportamento dos pulsares e a captura de dados através de *smartphones* adicionam uma dimensão prática e interativa ao processo de aprendizagem, estimulando o interesse e a participação ativa dos estudantes.

A escolha de utilizar *softwares* livres para o processamento de dados não apenas reduz custos, mas também fomenta uma abordagem colaborativa e transparente. Além disso, a abrangência multidisciplinar do experimento, abordando conceitos de matemática, eletrônica, astrofísica, astronomia, radioastronomia, história, entre outros, evidencia sua capacidade de enriquecer o conhecimento dos estudantes em diversas áreas do saber, de maneira prática e dinâmica.

Destaca-se ainda a utilização de linguagens baseadas em inteligência artificial como ferramenta e estratégia de ensino, representando uma inovação educacional que se alinha com as demandas do período pós pandemia. A incorporação de simuladores, vídeos e imagens, de maneira multidisciplinar, demonstra a adaptabilidade do experimento proposto para atender a diferentes metodologias de ensino, tornando o processo mais atrativo e eficaz. Em conjunto, esses elementos convergem para formar um experimento abrangente e rico do ponto de vista educacional, pois engloba diversas áreas do saber, conteúdos e dinâmicas relevantes aos estudantes e ao contexto de sala de aula, além de proporcionar um contato direto

com novas tecnologias para o aprendizado em física, astrofísica, astronomia, eletrônica, etc.

7.5.4 Multidisciplinaridade

A análise das respostas dos estudantes revela uma apreciação pela natureza multidisciplinar do experimento "Dos LEDs aos Pulsares". As declarações dos estudantes abrangem uma gama diversificada de aspectos do experimento, desde elementos práticos e técnicos até considerações teóricas e conceituais mais abstratas. Essa diversidade de perspectivas sugere que o experimento foi bem sucedido em abordar o tema de maneira global, integrada e contextualizada, alinhando-se com as abordagens educacionais contemporâneas que enfatizam a importância da interdisciplinaridade na construção do conhecimento (KLEIN, 2006).

Respostas como "Gravar a luz do LED" (Estudante 1) e "Processar os dados" (Estudante 4) indicam um envolvimento com aspectos práticos e metodológicos da investigação científica. Essas experiências *hands-on* não apenas reforçam habilidades técnicas, mas também proporcionam aos estudantes uma compreensão mais profunda do processo científico, alinhando-se com o ensino de ciências por investigação.

Por outro lado, reflexões como "A ideia de que um LED mostra algo da nossa galáxia" (Estudante 10) demonstram uma capacidade de abstração e conexão entre o experimento concreto e fenômenos astronômicos em larga escala.

Inferência: A abordagem multidisciplinar do experimento demonstrou ser eficaz em atender a diferentes estilos de aprendizagem e interesses, proporcionando aos estudantes uma experiência educacional rica e diversificada. Essa multidimensionalidade não apenas enriquece a experiência de aprendizagem, mas também reflete mais fielmente a natureza interdisciplinar da ciência moderna, particularmente em campos como a astrofísica.

A capacidade do experimento de integrar aspectos práticos, teóricos e analíticos sugere um potencial significativo para o desenvolvimento de habilidades transversais, como pensamento crítico, resolução de problemas e alfabetização científica. Essas são competências cruciais não apenas para o sucesso acadêmico

em ciências, mas também para a formação de cidadãos cientificamente letrados, críticos e capazes de navegar por um mundo cada vez mais tecnológico.

Além disso, a abordagem multidisciplinar parece ter sido bem-sucedida em superar algumas das barreiras tradicionais entre diferentes áreas do conhecimento, como física, astronomia e tecnologia da informação. Essa integração alinha-se com as tendências contemporâneas em educação STEAM (*Science, Technology, Engineering, Arts, and Mathematics*), que enfatizam a importância de abordagens integradas para o ensino de ciências e tecnologia (BACICH; HOLANDA, 2020).

7.5.5 Desafios e limitações

A análise dos dados, particularmente os resultados apresentados nas Figuras 21 e 22, revela um desafio significativo: o limitado conhecimento prévio dos estudantes sobre os pulsares. Esse cenário não é surpreendente, considerando a natureza especializada e avançada dos tópicos abordados no experimento, mas destaca uma lacuna importante no currículo tradicional de física do ensino médio.

Essa constatação alinha-se com as observações de pesquisadores como Sadler e Zeidler (2009), que argumentam que o currículo de ciências muitas vezes falha em incorporar desenvolvimentos científicos contemporâneos, criando uma desconexão entre a ciência ensinada nas escolas e a ciência praticada nos laboratórios e observatórios modernos.

Além disso, o experimento apresenta limitações inerentes ao modelo utilizado, como sua natureza estática e a operação em uma frequência diferente do objeto astronômico real. Essas limitações, embora esperadas por ser um modelo didático, apresentam tanto desafios quanto oportunidades pedagógicas.

Como inferência, tal análise revela duas áreas principais de desafio e oportunidade:

- Necessidade de atualização curricular: Há uma clara necessidade de revisar e atualizar os currículos escolares de física e astronomia para incluir tópicos mais contemporâneos e avançados, como objetos astronômicos exóticos, incluindo os pulsares. Essa atualização não apenas enriqueceria o conteúdo

- educacional, mas também poderia aumentar o engajamento dos estudantes ao conectar o aprendizado escolar com descobertas científicas reais e atuais;
- Aprimoramento da compreensão sobre modelos científicos: As limitações do modelo experimental oferecem uma oportunidade pedagógica valiosa para discutir a natureza dos modelos científicos, suas aplicações e limitações. Isso pode contribuir para o desenvolvimento de uma compreensão mais sofisticada da natureza da ciência e do processo de pesquisa e metodologia científica entre os estudantes.

7.5.6 Perspectiva CTSA

A análise da SD e experimento "Dos LEDs aos Pulsares" sob a lente da abordagem CTSA revela dimensões importantes, sendo elas:

- Ciência: O experimento proporcionou aos estudantes uma compreensão mais profunda de conceitos científicos avançados em física e astronomia, como pulsares e ondas eletromagnéticas. A abordagem *hands-on* e analógica facilitou a construção de conhecimento científico de maneira acessível e envolvente;
- Tecnologia: A integração de tecnologias como LEDs, *software* de análise de dados e uso de inteligência artificial no experimento não apenas familiarizou os estudantes com ferramentas tecnológicas relevantes, mas também ilustrou como a tecnologia é fundamental para a pesquisa em astronomia atualmente;
- Sociedade: O experimento ofereceu oportunidades para discutir as implicações sociais da pesquisa astronômica, como seu papel na compreensão do Universo e no desenvolvimento de tecnologias com aplicações cotidianas. Respostas como "A ideia de que um LED mostra algo da nossa galáxia" (Estudante 10) sugerem que os estudantes começaram a fazer conexões entre fenômenos astronômicos distantes e sua relevância para a sociedade. Além disso, ressalta a importância de se debater sobre o sexismo na ciência e o papel de figuras femininas na área da pesquisa e experimentação em física, astronomia, ciências, etc.;
- Ambiente: A dimensão ambiental pode ser explorada através da discussão dos impactos das ondas eletromagnéticas em sistemas ecológicos, no

comportamento dos animais e habitats, como a influência direta da poluição luminosa e a interferência eletromagnética, em diversas faixas de frequência, abrangendo das ondas de rádio às micro-ondas, por exemplo.

A integração dessas quatro dimensões no experimento alinha-se com os objetivos da educação CTSA de promover uma compreensão mais holística e contextualizada da ciência. Conforme argumentado por Bourscheid (2014) e Pérez e Sierra (2013) essa abordagem pode aumentar a relevância percebida da ciência para os estudantes, promovendo não apenas a alfabetização científica, mas também o desenvolvimento de habilidades de pensamento crítico e tomada de decisão.

Inferência: A incorporação da perspectiva CTSA no experimento "Dos LEDs aos Pulsares" demonstrou potencial significativo para enriquecer a experiência educacional dos estudantes, promovendo uma compreensão mais contextualizada e socialmente relevante da Física e da Astronomia. Essa abordagem não apenas facilitou a aprendizagem de conceitos científicos complexos, mas também começou a desenvolver nos estudantes uma consciência das interconexões entre ciência, tecnologia, sociedade e ambiente, alinhando-se com os objetivos mais amplos da alfabetização científica no século XXI (BOURSCHEID, 2014; PÉREZ; SIERRA, 2013).

Essas inferências sugerem a necessidade de uma abordagem mais abrangente e contemporânea no ensino de física e astronomia no ensino médio, que não apenas atualize o conteúdo curricular, mas também promova uma compreensão mais profunda do processo científico e da natureza dos modelos em ciências, especialmente através de novos experimentos, técnicas e recursos pedagógicos.

7.6 Percepções e perspectivas

A análise de conteúdo realizada, fundamentada na metodologia de Bardin (2004) e enriquecida por perspectivas contemporâneas em educação em ciências, revela que o experimento "Dos LEDs aos Pulsares" foi bem sucedido em múltiplas dimensões, ao mesmo tempo em que dá luz a áreas potenciais para desenvolvimento futuro.

Primeiramente, o experimento demonstrou eficácia em promover o engajamento e a motivação dos estudantes. A abordagem *hands-on*, representando um evento concreto no Vê epistemológico de Gowin, combinada com a analogia entre um fenômeno cotidiano e um conceito astronômico complexo, parece ter criado um ambiente de aprendizagem que transcende as percepções tradicionais das disciplinas de ciências exatas como abstratas ou desinteressantes. Esse resultado alinha-se com a teoria educacional de Gowin (1981) sobre a tríade educativa e o compartilhamento de significados, sugerindo que abordagens similares, que integram materiais educativos significativos com eventos concretos, podem ser aplicadas em outros contextos do ensino de física e astronomia.

Na análise de conteúdo, o experimento revelou-se eficaz ao facilitar a compreensão de conceitos complexos por meio de analogias práticas, evidenciando a recorrência de relações estabelecidas entre o circuito LED *blinker* e os pulsares. Esse padrão sugere que as analogias atuam como categorias organizadoras na aprendizagem de conceitos astronômicos avançados. As unidades de registro indicam que o uso de analogias tem implicações significativas para o desenvolvimento curricular e para as práticas pedagógicas em física e astronomia, favorecendo a compreensão de conceitos abstratos pelos estudantes do ensino médio.

A integração bem sucedida de novas tecnologias, particularmente a inteligência artificial, no processo de ensino-aprendizagem é outro resultado notável. A receptividade e o entusiasmo dos estudantes em relação a essas ferramentas sugerem um bom campo para inovações pedagógicas que incorporem essas tecnologias. No entanto, esse resultado também aponta para a necessidade de desenvolver abordagens que promovam não apenas o uso instrumental dessas tecnologias, mas também uma compreensão crítica de suas implicações éticas e sociais (PEREIRA, 2021).

A abordagem multidisciplinar do experimento, integrando aspectos de física, astronomia, eletrônica e análise de dados, demonstrou ser eficaz em atender a diferentes estilos de aprendizagem e interesses dos estudantes. Essa multidimensionalidade não apenas enriquece a experiência educacional, mas também reflete mais fielmente a natureza interdisciplinar da ciência moderna, alinhando-se com as tendências contemporâneas em Educação STEAM (BACICH; HOLANDA, 2020).

Ainda assim, a análise também revelou desafios importantes, principalmente relacionados ao limitado conhecimento prévio dos estudantes sobre tópicos astronômicos avançados e às limitações inerentes aos modelos didáticos utilizados. Esses desafios apontam para a necessidade de revisar e atualizar os currículos de física do ensino médio, para incluir temas mais contemporâneos da astrofísica e da astronomia.

Ao adotar uma abordagem que integra tecnologia, experimentação prática e analogias conceituais, esse estudo procurou demonstrar o potencial de métodos inovadores para superar barreiras tradicionais no ensino de ciências exatas, incluindo física, astrofísica e astronomia. Os resultados sugerem que essas abordagens podem não apenas aumentar o engajamento e a compreensão dos estudantes, mas também promover uma visão mais completa e contextualizada do método e da prática científica.

A implementação da SD permitiu concluir que os alunos desenvolveram uma compreensão significativa dos conceitos físicos associados aos pulsares. Evidenciou-se que eles assimilaram adequadamente termos fundamentais como: pulsares e seu mecanismo de emissão; as etapas do ciclo de vida estelar que levam à formação destes objetos; os princípios da radiação eletromagnética e sua detecção; as propriedades magnéticas intensas presentes nestas estrelas de nêutrons; conceitos de densidade extrema e volume reduzido característicos destes corpos celestes; a relação entre velocidade de rotação e emissão de pulsos; e princípios de eletricidade aplicados no experimento. Os estudantes demonstraram proficiência no manuseio de componentes eletrônicos como *protoboard*, capacitores e resistores, compreendendo suas funções no circuito construído. Particularmente notável foi a facilidade com que relacionaram o funcionamento do LED ao comportamento de um pulsar, estabelecendo conexões significativas entre o fenômeno astrofísico e o experimento LED blinker. A análise de vídeo utilizando o *software* livre *Tracker Online* revelou que os estudantes não apenas captaram o comportamento periódico dos pulsares, mas também foram capazes de interpretar quantitativamente os dados referentes aos pulsos de radiação simulados no experimento. Essa experiência demonstrou-se extremamente positiva para o desenvolvimento do pensamento científico dos estudantes, confirmando que a abordagem multidisciplinar adotada favoreceu a construção de conhecimentos físicos complexos de maneira integrada, contextualizada e relevante.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo buscou integrar as tecnologias emergentes, tais como *smartphones*, inteligência artificial e experimentos interativos, no contexto educacional para promover uma abordagem inovadora no ensino de astronomia e astrofísica. A proposta do experimento "Dos LEDs aos Pulsares" revelou-se como uma ferramenta educacional multifacetada, capaz de envolver ativamente os estudantes no processo de aprendizagem e proporcionar uma experiência prática de caráter multidisciplinar.

A análise dos dados coletados, tanto quantitativos quanto qualitativos, demonstrou que o experimento foi eficaz em despertar o interesse dos estudantes, promover a compreensão de conceitos astronômicos complexos e estimular a participação ativa no processo educacional. A diversidade de preferências e percepções dos estudantes, em relação às diferentes etapas da atividade proposta, reflete a adaptabilidade e o potencial do experimento "Dos LEDs aos Pulsares".

A interação entre estudantes, tecnologia e professor durante o experimento, proporcionou um ambiente dinâmico e motivador, evidenciando a receptividade positiva dos estudantes à utilização de inteligência artificial e modelos de linguagem em sala de aula. O experimento "Dos LEDs aos Pulsares" não apenas oferece uma proposta prática e acessível para o ensino de astronomia e astrofísica, mas também abre caminhos para a incorporação de tecnologias emergentes no contexto educacional, alinhando-se às novas realidades e demandas do cenário tecnológico atual.

A implementação de uma SD que integra tecnologias modernas e práticas experimentais, mostrou-se eficaz no ensino de conceitos complexos de física, astronomia e astrofísica. Através de atividades interativas e colaborativas, os estudantes puderam explorar e compreender temas como pulsares, circuitos eletrônicos e a contribuição histórica de figuras importantes como Jocelyn Bell.

Os momentos planejados permitiram uma imersão nos conteúdos, como a contextualização histórica e a elaboração de apresentações em inglês, o que não só reforçou o aprendizado dos conceitos, mas também desenvolveu nos estudantes habilidades de comunicação e trabalho em equipe. Já a introdução aos circuitos eletrônicos e o uso de *protoboards* proporcionaram uma experiência prática para a compreensão dos princípios básicos de eletrônica.

A utilização do *site* e simulação Pulsar 3D foi um momento importante da sequência didática, permitindo aos estudantes uma visualização tridimensional e interativa dos pulsares, o que facilitou a compreensão das características e do funcionamento de um pulsar. Além disso, a construção do circuito LED *blinker* na Sala *Maker* e a análise dos vídeos capturados com o *software Tracker Online* integraram de forma eficiente teoria e prática, sendo capaz de promover um aprendizado ativo e investigativo.

A culminância da sequência didática, com a análise dos vídeos no *software Tracker Online* e a análise dos dados gerados com o uso de inteligência artificial, destacou a importância da multidisciplinaridade e do uso de tecnologias inovadoras no processo educacional. Ademais, a discussão final em sala de aula permitiu uma reflexão crítica sobre as experiências vivenciadas, as dificuldades encontradas ao longo da SD e as aprendizagens adquiridas pelos estudantes.

A interação entre estudantes, tecnologia e professor durante o experimento, proporcionou um ambiente dinâmico e motivador, evidenciando a receptividade positiva dos estudantes à utilização de inteligência artificial e modelos de linguagem em sala de aula. O experimento “Dos LEDs aos Pulsares” não apenas oferece uma proposta prática e acessível para o ensino de física, astrofísica e astronomia, mas também abre caminhos para a incorporação de novas tecnologias no contexto educacional, alinhando-se às novas realidades e demandas do cenário tecnológico atual.

Por fim, a SD “Dos LEDs aos Pulsares” demonstrou ser uma abordagem potencialmente inovadora e eficaz para o ensino de física, astronomia e astrofísica nos anos finais do ensino fundamental e no ensino médio, pois foi capaz de promover uma experiência de aprendizagem significativa e imersiva aos estudantes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACEVEDO, J. F. et al. **Warming nuclear pasta with dark matter: kinetic and annihilation heating of neutron star crusts**. Journal of Cosmology and Astroparticle Physics, v. 2020, n. 03, p. 038, 2020. Disponível em <https://arxiv.org/abs/1911.06334>, acesso em 05 set de 2024.
- ALBUQUERQUE, M. A. S.; BICALHO, F. S. **Ensino de Física por Investigação: uma revisão de literatura**. Revista Comunicação Universitária, v. 4, p. 1-18, 2024. Disponível em: <https://periodicos.uepa.br/index.php/comun/article/view/9154>. Acesso em: 1 dez. 2024.
- ALMEIDA, F. R. **A ficção científica na ficção escolar: potencialidades dos gêneros no ensino de Física**. Dissertação (Mestrado em Educação para Ciência e o Ensino da Matemática). UEM Maringá, 2008.
- ALVES, B. W. D. F. **Uma proposta metodológica de uma oficina de Astrofísica no ensino médio**. Universidade Federal do Ceará - UFC, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/48309>. Acesso em: 15 nov. 2023.
- ANDRADE, A. P. R. **O uso das tecnologias na educação: computador e Internet**. Monografia Consórcio Setentrional de Educação a Distância, Universidade de Brasília - UnB, Universidade Estadual de Goiás - UEG, Brasília, 2011. Disponível em: <https://bdm.unb.br/handle/10483/1770>. Acesso em: 25 ago. 2024.
- AULER, D.; DELIZOICOV, D. **Ciência-Tecnologia-Sociedade: relações estabelecidas por professores de ciências**. Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias, v. 5, n. 2, p. 337-355, 2006.
- AUSUBEL, D. P. **Facilitating meaningful verbal learning in the classroom**. The Arithmetic Teacher, v. 15, n. 2, p. 126-132, 1968.
- AZEVEDO, M. C. P. S. **Ensino por investigação: problematizando as atividades em sala de aula**. In: CARVALHO, A. M. P. (Org.). Ensino de Ciências: unindo a pesquisa e a prática. São Paulo: Thomson, 2004. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/item/002777950>. Acesso em: 1 dez. 2024.
- BACICH, L.; HOLANDA, L. **STEAM em sala de aula: a aprendizagem baseada em projetos integrando conhecimentos na educação básica**. Penso Editora, 2020. Disponível em: <https://tinyurl.com/55rzu5k2>. Acesso em: 25 ago. 2024.
- BACICH, L.; MORAN, J. **Metodologias ativas para uma educação inovadora: uma abordagem teórico-prática**. Penso Editora, 2017. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/7722229/mod_resource/content/1/Metodologias-Ativas-para-uma-Educacao-Inovadora-Bacich-e-Moran.pdf. Acesso em: 25 ago. 2024.
- BARDIN, Laurence. **Análise de conteúdo**. 3ª ed. Lisboa: Edições, v. 70, n. 1, p. 223, 2004. Disponível em: <https://shorturl.at/MBcxE>. Acesso em: 25 ago. 2024.
- BEIRA, D.; NAKAMOTO, P. **A Formação docente inicial e continuada prepara os Professores para o Uso das Tecnologias de Informação e Comunicação (TICs) em sala de aula?** In: Anais do XXII Workshop de Informática na Escola. SBC, 2016. p. 825-834. Disponível em: <https://shorturl.at/whSBI>. Acesso em: 25 ago. 2024.

BELL BURNELL, J. **The past, present and future of pulsars**. Nature Astronomy, v. 1, n. 12, p. 831-834, 2017. Disponível em <https://www.nature.com/articles/s41550-017-0323-x>, acesso em 05 set de 2024.

BITTENCOURT, P. A. S.; ALBINO, J. P. **O uso das tecnologias digitais na educação do século XXI**. Revista Ibero-Americana de Estudos em Educação, Araraquara, p. 205–214, 2017. Disponível em: <https://shorturl.at/Fb0iv>. Acesso em: 25 ago. 2024.

BORDIN, G. D. et al. **Uma Revisão Sistemática de Literatura sobre a Utilização do Software de Videoanálise Tracker em Alguns Periódicos Brasileiros**. 2022. Disponível em: <https://www.academia.edu/download/91136307/19706.pdf>. Acesso em: 01 dez. 2024.

BOURSCHEID, J. L. W. **A convergência da educação ambiental, sustentabilidade, ciência, tecnologia e sociedade (CTS) e ambiente (CTSA) no ensino de ciências**. Revista Thema, Pelotas, v. 11, n. 1, p. 24–36, 2014. Disponível em: <https://periodicos.ifsul.edu.br/index.php/thema/article/view/183>. Acesso em: 25 ago. 2024.

BRASIL. **Base Nacional Comum Curricular**. Ministério da Educação, 2018. Disponível em: <https://tinyurl.com/f39hnry9>. Acesso em: 15 nov. 2023.

BRETONES, P. S.; MEGID NETO, J. **Tendências de teses e dissertações sobre educação em astronomia no Brasil**. Boletim da Sociedade Astronômica Brasileira, v. 31, n. 1, p. 35-43, 2011.

CARVALHO, A. M. P. (Org.). **Ensino de Ciências por Investigação: condições para implementação em sala de aula**. São Paulo: Cengage Learning, 2013. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/item/002777950>. Acesso em: 1 dez. 2024.

CARVALHO, A. M. P.; SASSERON, L. H. **Ensino de Física por Investigação: referencial teórico e as pesquisas sobre as sequências de ensino investigativas**. Ensino em Re-vista, v. 22, n. 2, p. 249-266, 2015. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/item/002777950>. Acesso em: 1 dez. 2024.

CHAMEL, N.; HAENSEL, P. **Physics of neutron star crusts**. arXiv. Astrophysics. 2008. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/0812.3955>, acesso em 05 set de 2024.

CHASSOT, A. **Alfabetização científica: uma possibilidade para a inclusão social**. Revista Brasileira de Educação, n. 22, p. 89-100, 2003.

COELHO, P. M. F.; COSTA, M. R. M.; MOTTA, E. L. O. **Formação de professores e integração pedagógica das Tecnologias da Informação e da Comunicação (TIC): da usabilidade técnica ao letramento digital**. Eccos Revista Científica, n. 58, 2021. Disponível em: http://educa.fcc.org.br/scielo.php?pid=S1983-92782021000300103&script=sci_arttext. Acesso em: 15 nov. 2023.

CONDON, J. J.; RANSOM, S. M. **Essential Radio Astronomy. Chapter 6: Pulsars**. National Radio Astronomy Observatory, 2018. Disponível em: <https://www.cv.nrao.edu/~sransom/web/Ch6.html#S1>. Acesso em: 06 nov. 2023.

DE JESUS, J. J.; DE OLIVEIRA, A. F.; DA SILVA, A. P. **Espectrômetro digital. Uma proposta de construção de um experimento de Física Moderna para o ensino remoto**. Research, Society and Development, v. 10, n. 8, p. e51410817786-e51410817786, 2021. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/17786>. Acesso em: 01 dez. 2024.

DE OLIVEIRA RODRIGUES, F. L.; TOMÉ, A. F. **O estado da arte do software Tracker aplicado ao Ensino de Física**. Essentia - Revista de Cultura, Ciência e Tecnologia da UVA, v. 23, n. 1, 2022. Disponível em: <https://essentia.uvanet.br/index.php/ESSENTIA/article/view/414/357>. Acesso em: 01 dez. 2024.

FANTINEL, J. A.; RAMOS, M. G. **Experimentos interativos como motivadores para o ensino pela pesquisa**. Contribuições de um museu interativo: à educação em ciências e matemática, 2015. Disponível em: <https://tinyurl.com/zudvh8c>. Acesso em: 15 nov. 2023.

FARIAS, S. C. **Os benefícios das tecnologias de informação e comunicação (TIC) no processo de educação a distância (EAD)**. RDBCI: Revista Digital de Biblioteconomia e Ciência da Informação, v. 11, n. 3, p. 15-29, 2013. Disponível em: <https://shorturl.at/pa2i1>. Acesso em: 25 ago. 2024.

FERREIRA, L. **Pulsar 3D Simulation: An Introduction to an Interactive 3D Environment of Pulsar Characteristics**. In: Global Hands-On Universe Conference, 2024. Apresentação disponível em: <https://tinyurl.com/3axwe2wc>. Acesso em: 15 nov. 2024.

FERREIRA, L. **Pulsares e o Ensino de Física: Uma Sequência Didática Imersiva para os Anos Finais do Ensino Fundamental**. In: Simpósio Nacional em Ensino de Física – SNEF 2025, no prelo.

FERREIRA, L.; ANDRADE, V. C. **Pulsar 3D**. Nº de registro: BR 512024003499-4. Data do Depósito: 23/09/2024. In: Revista Da Propriedade Industrial. Brasília, DF: Instituto Nacional Da Propriedade Industrial (INPI), n. 2804, p. 17, 1 out. 2024. Seção VII: Programas de Computador. Fundação Universidade De Brasília (Titular). Disponível em: https://revistas.inpi.gov.br/pdf/Programa_de_computador2804.pdf. Acesso em: 5 out. 2024.

FERREIRA, L.; ANDRADE, V. C.; BATISTA, M. C.; LANGHI, R. **Dos LEDs aos Pulsares: um experimento interativo de baixo custo para o ensino de astronomia e astrofísica na escola**. Cuadernos de Educación y Desarrollo, [S. l.], v. 16, n. 13, p. e6734, 2024. DOI: 10.55905/cuadv16n13-011. Disponível em: <https://ojs.cuadernoseducacion.com/ojs/index.php/ced/article/view/6734>. Acesso em: 1 dez. 2024.

FILHO, K. S. O.; SARAIVA, M. F. O. **Astronomia & Astrofísica**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2020.

FRANCO, M. L. P. B. **Análise de conteúdo**. Vol. 6. Brasília: Líber Livro, 2008. Disponível em https://www.academia.edu/43456414/Franco_Maria_Laura_P_P_An%C3%A1lise_de_conte%C3%BAdo. Acesso em 05 set de 2024.

FREITAS, B. S. et al. **Meninas na astrofísica: uma experiência de iniciação científica no ensino médio**. Anais dos Seminários de Iniciação Científica, (24), 2020. Disponível em: <https://bit.ly/47JNUS8>. Acesso em: 15 nov. 2023.

FROSST, M. **Physics of Degenerate Matter**. 2019. Disponível em https://www.judithirwin.com/uploads/9/7/2/4/97241160/phys815_densematterphysics_frosst.pdf, acesso em 05 set de 2024.

FONTES, A. S.; BATISTA, M. C.; SCHWERZ, R. C.; RAMOS, F. P. **A utilização do *smartphone* como recurso didático no ensino de Física – uma possibilidade de inclusão.** Revista Formação Docente, v. 11, n. 2, p. 1-25, 2019a.

FONTES, A. S.; BATISTA, M. C.; SCHWERZ, R. C.; NEVES, M. C. D. **A utilização das Tecnologias Digitais de Informação e Comunicação como ferramenta potencializadora no ensino do conceito de Queda Livre.** Ensino, Saúde e Ambiente, v. 12, n. 3, p. 40-63, 2019b.

GASPI, S.; MARON, L. H. P.; MAGALHÃES JÚNIOR, C. A. O. **Análise de conteúdo numa perspectiva de Bardin.** In: MAGALHÃES JÚNIOR, C. A. O.; BATISTA, M.C. (org.). Metodologia da Pesquisa em Educação e Ensino de Ciências. Maringá: Massoni, 2021. p. 288- 300.

GIBNEY, E. **Neutron stars to open their heavy hearts.** Nature Astrophysics: News In Focus, vol. 546, 2017. Disponível em <https://www.nature.com/articles/546018a>, acesso em 05 set de 2024.

GÓES, D.; PORTO, C. M. **O Chat GPT: a tecnologia a serviço do aluno e do professor em sala de aula.** Simpósio Internacional de Educação e Comunicação - SIMEDUC, 2023. Disponível em: <https://eventos.set.edu.br/simeduc/article/download/16300/14705/61252>. Acesso em: 05 dez. 2023.

GOWIN, D. B. **Educating.** 1ª ed. Ithaca: Cornell University Press, 1981. 210 p.

GUIMARÃES, U. A.; BRANDÃO, C. A.; DAITX, M. A.; DUTRA, A. F. G. A.; LOPES, V. R. B. **As mídias digitais no campo educacional: um olhar pelas aplicações do Chat GPT na educação.** RECIMA21 - Revista Científica Multidisciplinar, v. 4, n. 7, 2023. Disponível em: <https://tinyurl.com/v4hbv7zf>. Acesso em: 05 dez. 2023.

HAENSEL, P.; POTEKHIN, A. Y.; YAKOVLEV, D. G. **Neutron Stars 1.** New York, NY: Springer New York, 2007. Disponível em: http://www.ift.uni.wroc.pl/~blaschke/vorles/Haensel_NeutronStars.pdf. Acesso em: 01 nov. 2023.

JONES, F. **Geophysics foundations: Physical properties: Density.** University of British Columbia Earth and Ocean Sciences. 2018. Disponível em: <https://www.eoas.ubc.ca/courses/eosc350/content/foundations/properties/density.htm>. Acesso em: 05 set de 2024.

KENSKI, V. M. **Tecnologias e tempo docente.** Papirus Editora, 2014.

KLEIN, J. T. **A platform for a shared discourse of interdisciplinary education.** Journal of Social Science Education, v. 5, n. 2, p. 10-18, 2006. Disponível em: <https://www.jsse.org/index.php/jsse/article/view/344>. Acesso em: 01 nov. 2023.

LANGHI, R.; NARDI, R. **Educação em Astronomia: repensando a formação de professores.** 2. ed. São Paulo: Livraria da Física, 2022.

LEAL, G. C. **Revisão de literatura sobre o uso de vídeos no ensino de Física.** Trabalho de Conclusão de Curso Graduação Licenciatura em Física – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017. Disponível em: <https://core.ac.uk/reader/84613820>. Acesso em: 01 dez. 2024.

LENZ, A. L. **Tracker.** Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), 2023. Disponível em: <http://paginapessoal.utfpr.edu.br/lenz/Tracker>. Acesso em: 10 nov. 2023.

LETA, J. **Mulheres na ciência brasileira: desempenho inferior?** Revista Feminismos, v. 2, n. 3, p. 139-152, 2014.

LÉVY, P. **Cibercultura**. Editora 34, 2010. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4707826/mod_glossary/attachment/27300/Cibercultura_Pierre%20Levy.pdf. Acesso em: 15 nov. 2023.

LIMA, B. S.; BRAGA, M. L. S.; TAVARES, I. **Participação das mulheres nas ciências e tecnologias: entre espaços ocupados e lacunas**. Revista Gênero, v. 16, n. 1, p. 11-31, 2015.

MACÊDO, L. A. D. **Física Moderna e Astrofísica: uma proposta metodológica para o Ensino Médio**. 2022. Dissertação (Mestrado) -Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/47182>. Acesso em: 15 nov. 2023.

MAGRON, A. A.; BATISTA, M. C.; SANTOS, O. R.; SCHIAVON, G. J. **Proposta para o ensino de astrofísica a partir da teoria da aprendizagem significativa**. Revista do Professor de Física, v. 6, p. 233-238, 2022. Disponível em: <https://tinyurl.com/yya2a2yh>. Acesso em: 25 out. 2024.

MOREIRA, M. A. **A área de ensino de ciências e matemática na CAPES: panorama 2001/2002 e critérios de qualidade**. Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências, v. 2, n. 1, p. 36-59, 2006.

MOREIRA, M. A. **Uma análise crítica do ensino de Física**. Estudos avançados, v.32, n. 94, 2018. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ea/a/3JTLWqQNsFWPqr6hjzyLQzs/>. Acesso em: 15 nov. 2023.

MOREIRA, M. A. **Teorias de Aprendizagem**. 3ª Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2023.

MOURÃO, R. R. F. **Dicionário Enciclopédico de Astronomia e Astronáutica**. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1987.

MORTIMER, E. F. **Linguagem e formação de conceitos no ensino de ciências**. UFMG, 2000. Disponível em: <https://tinyurl.com/yckbupdf>. Acesso em: 1 dez 2024.

NAPOLEÃO, T. A. J. **Astrofísica Estelar para o Ensino Médio: uma abordagem empírica baseada na observação visual das estrelas variáveis**. 2018. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/14/14134/tde-11072018-075714/en.php>. Acesso em: 15 nov. 2023.

NASA. **NASA's NICER Delivers Best-ever Pulsar Measurements, 1st Surface Map**. NASA Universe, 2019. Disponível em: <https://www.nasa.gov/universe/nasa-nicer-delivers-best-ever-pulsar-measurements-1st-surface-map/>, acesso em 05 set de 2024.

NASA. Stars. **Imagine The Universe!** 2014. Disponível em <https://imagine.gsfc.nasa.gov/science/objects/stars1.html>, acesso em 05 set de 2024.

NUNES, E. T. et al. **As potencialidades da experimentação através da videoanálise para o ensino de física no ensino médio por meio do software Tracker**. 2020. Disponível em: <https://www.repositorio.ufal.br/handle/riufal/7245>. Acesso em: 01 dez. 2024.

OSBORNE, J.; DILLON, J. **Good practice in science teaching: What research has to say**. 2. ed. New York: Open University Press, 2010. Disponível em: <https://tinyurl.com/ytxwahj>. Acesso em: 25 ago. 2024.

OSBORNE, J.; SIMON, S.; COLLINS, S. **Attitudes towards science: A review of the literature and its implications**. International Journal of Science Education, v. 25, n. 9, p. 1049-1079, 2003. Disponível em: <https://tinyurl.com/4nnwn5sb>. Acesso em: 25 out. 2024.

OSTERMANN, F.; MOREIRA, M. A. **Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa “Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio”**. Investigações em Ensino de Ciências, v. 5, n. 1, p. 23-48, 2000. Disponível em: <https://ienci.if.ufrgs.br/index.php/ienci/article/view/600>. Acesso em: 1 dez. 2024.

PENNY, A. J. **The SETI episode in the 1967 discovery of pulsars**. The European Physical Journal H, v. 38, n. 4, p. 535-547, 2013. Disponível em: <https://arxiv.org/pdf/1302.0641.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2023.

PEREIRA, C. A. **Os robôs devem substituir os professores? Uma abordagem de Neil Selwyn**. Revista Ponto de Vista, v. 12, n. 3, p. 01-06, 2023. Disponível em: <https://periodicos.ufv.br/RPV/article/view/16088>. Acesso em: 25 ago. 2024.

PÉREZ, L. F. M.; SIERRA, D. F. M. **A formação crítica de professores no contexto da perspectiva: ciência, tecnologia, sociedade e ambiente**. Debates em educação científica, p. 33, São Paulo: Editora Escrituras, 2013. Disponível em: <https://www.fernandosantiago.com.br/daisi/fss.pdf#page=33>. Acesso em: 25 ago. 2024.

PERUZZO, J.; POTTKER, W. E.; PRADO, T. G. **Física Moderna e Contemporânea: das teorias quânticas e relativísticas às fronteiras da Física**. Vol. 02, 1ª edição. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2014.

PIETROCOLA, M.; DE PINHO ALVES FILHO, J.; DE FÁTIMA PINHEIRO, T. **Prática interdisciplinar na formação disciplinar de professores de ciências**. Investigações em ensino de ciências, v. 8, n. 2, p. 131-152, 2003. Disponível em: <https://ienci.if.ufrgs.br/index.php/ienci/article/view/544>. Acesso em: 25 ago. 2024.

PIRES, L. D. N.; PEDUZZI, L. O. **Jocelyn Bell Burnell e a descoberta dos pulsares: revisando pesquisas do ensino de física e de astronomia em uma perspectiva histórica**. Investigações em ensino de ciências, v. 26, n. 3, 2021. Disponível em: <https://shorturl.at/GbPID>. Acesso em: 10 nov. 2023.

PONTE, J. P. **Tecnologias de informação e comunicação na formação de professores: que desafios?** Revista Iberoamericana de Educación, p. 63-90, 2000. Disponível em: <https://repositorio.ul.pt/handle/10451/3993>. Acesso em: 25 ago. 2024.

POTEKHIN, A. Y. **The physics of neutron stars**. arXiv. Astrophysics: Solar and Stellar Astrophysics. 2011. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/1102.5735v3>, acesso em 05 set de 2024.

PRENSKY, M. **Digital natives, digital immigrants part 1**. On the horizon, v. 9, n. 5, p. 1-6, 2001. Disponível em: <https://shorturl.at/5Rn6Y>. Acesso em: 25 ago. 2024.

- QUEIROZ, V. H. C. **Pulsar timing: monitorando pulsares com o BINGO**. Dissertação (Mestrado em Física), Programa de Pós-graduação em Física, Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, Brasil, 2021. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/27156>, acesso em 05 set de 2024.
- RILEY, T. E. et al. **A NICER view of PSR J0030+ 0451: millisecond pulsar parameter estimation**. The Astrophysical Journal Letters, v. 887, n. 1, p. L21, 2019. Disponível em <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2019ApJ...887L..21R/abstract>, acesso em 05 set de 2024.
- SADLER, T. D.; ZEIDLER, D. L. **Scientific literacy, PISA, and socioscientific discourse: Assessment for progressive aims of science education**. Journal of Research in Science Teaching, v. 46, n. 8, p. 909-921, 2009. Disponível em: <https://shorturl.at/07U5m>. Acesso em: 25 ago. 2024.
- SANT'ANA, F. P.; SANT'ANA, I. P.; SANT'ANA, C. C. **Uma utilização do Chat GPT no ensino**. Com a Palavra, o Professor, v. 8, n. 20, p. 74-86, 2023. Disponível em: <http://revista.geem.mat.br/index.php/PPP/article/view/951>. Acesso em: 05 dez. 2023.
- SANTOS, F. M. T. **Mediação no Ensino de Física: Uma Abordagem Sociointeracionista**. Porto Alegre: Artmed, 2019.
- SANTOS, W. L. P.; MORTIMER, E. F. **Uma análise de pressupostos teóricos da abordagem C-T-S (Ciência-Tecnologia-Sociedade) no contexto da educação brasileira**. Ensaio: Pesquisa em Educação em Ciências, v. 2, n. 2, p. 133-162, 2002.
- SCHIVANI, M.; LUCIANO, P. G.; ROMERO, T. R. **Novos materiais e tecnologias digitais no Ensino de Física**. São Paulo: Livraria da Física, 2017.
- SILVA, J. L.; ESPÍNDOLA, M. A.; PEREIRA, F. C. M. **O uso do Chat GPT no processo de ensino e aprendizagem: vilão ou aliado?** In: Anais do XI SINGEP-CIK, São Paulo, SP. Disponível em: <https://submissao.singep.org.br/11singep/arquivos/67.pdf>. Acesso em: 25 ago. 2024.
- STRIEDER, R. B.; KAWAMURA, M. R. D. **Educação CTS: parâmetros e propósitos brasileiros**. Alexandria: Revista de Educação em Ciência e Tecnologia, v. 10, n. 1, p. 27-56, 2017.
- TAN, C. M. et al. **LOFAR Discovery of a 23.5 s Radio Pulsar**. The Astrophysical Journal, v. 866, n. 1, p. 54, 2018. Disponível em <https://iopscience.iop.org/article/10.3847/1538-4357/aade88/meta>, acesso em 05 set de 2024.
- TRILLING, B.; FADEL, C. **21st century skills: Learning for life in our times**. John Wiley & Sons, 2009.
- VIEIRA, T. F.; BATISTA, M. C.; SANTOS, O. R.; RAMOS, F. P. **Proposta didática para o ensino de física e astronomia no ensino médio**. Revista do Professor de Física, v. 6, p. 130-136, 2022.
- ZÔMPERO, A. F.; LABURÚ, C. E. **Atividades investigativas no ensino de ciências: aspectos históricos e diferentes abordagens**. Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências (Belo Horizonte), v. 13, n. 3, p. 67-80, 2011. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/epec/a/LQnxWqSrmzNsrRzHh3KJYbQ/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 1 dez. 2024.

APÊNDICE A - MONTAGEM DO CIRCUITO LED *BLINKER* COM O ARDUINO UNO

A seguir será apresentado o processo de utilização da plataforma de prototipagem eletrônica Arduino para a criação do circuito LED *blinker*.

Para a montagem do circuito LED *blinker* com o Arduino, será necessário:

- 1 Protoboard;
- 1 Resistor 100 Ω (Ohms);
- 1 LED branco ou azul;
- 1 placa Arduino Uno (Cabo USB-B e USB incluso);
- 2 Fios conectores (*jumpers*).

MONTANDO O CIRCUITO LED *BLINKER* COM ARDUINO UNO

Para a montagem do circuito LED *blinker* com o Arduino, realize as conexões mostradas nas Figuras 41 e 42. Para facilitar a montagem, siga o seguinte gabarito:

Na placa Arduino

Fio vermelho: Pino 12

Fio azul: Pino GND

Na protoboard

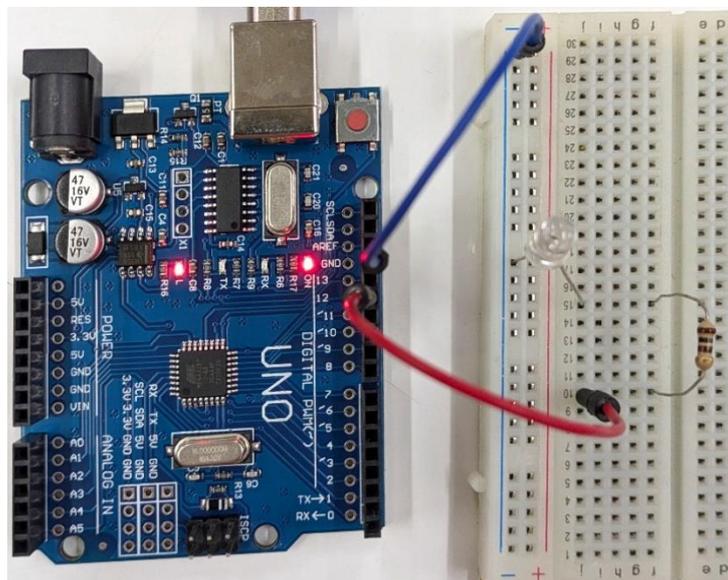
Fio vermelho: Posição 10

Fio azul: Barramento negativo

Resistor: Posição 10 e Posição 15

LED: Perna maior na Posição 15; Perna menor no barramento negativo

Figura 41 - Disposição dos componentes e fios na placa Arduino e protoboard.



Fonte: Lucas Ferreira (UnB/IF/MNPEF).

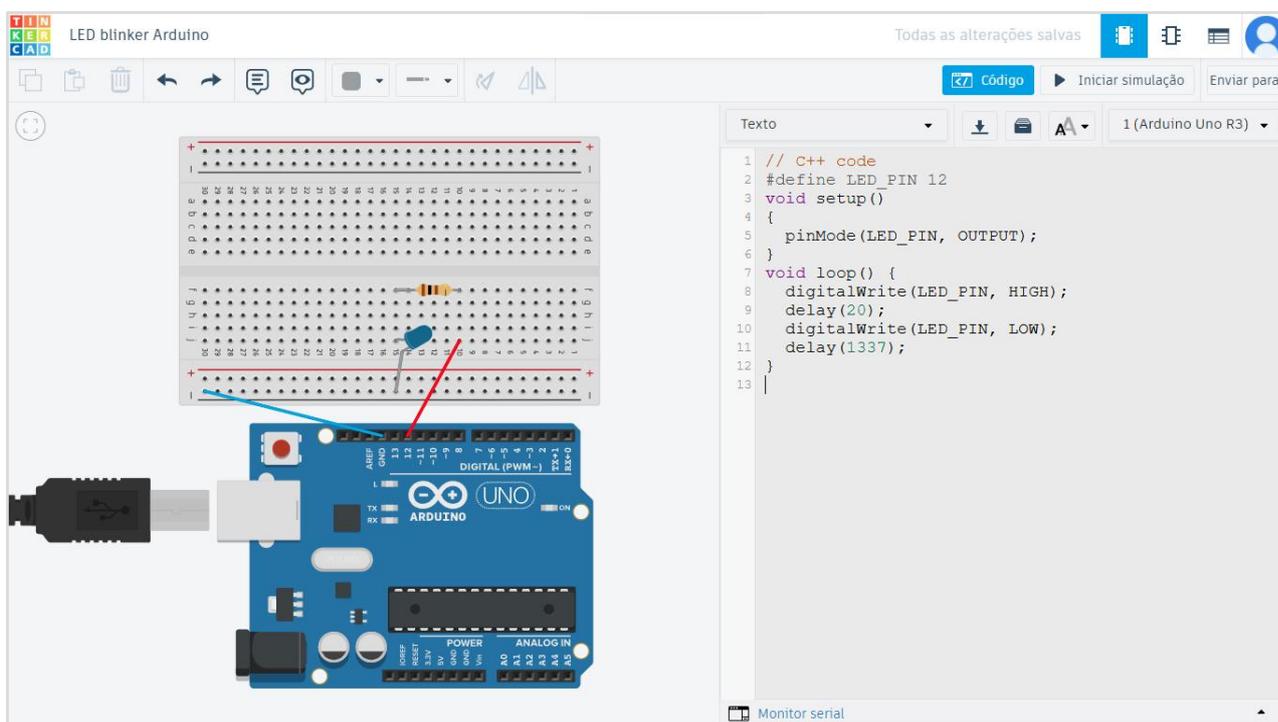
É possível acessar uma simulação na plataforma TinkerCad do circuito LED *blinker* para Arduino. Essa simulação possibilita uma melhor visualização da disposição e das conexões dos componentes eletrônicos. Ao inserir o código-fonte do circuito na simulação, o professor consegue simular e demonstrar aos estudantes diversos parâmetros, situações e comportamentos de circuitos variados, incluindo o circuito LED *blinker* na Arduino.

Para acessar a simulação do circuito LED *blinker* para Arduino na plataforma TinkerCad basta entrar em <https://shorturl.at/Om3OG>.

O professor pode interagir com os estudantes e mostrar o simulador TinkerCad, apresentar as funcionalidades da placa Arduino, a disposição da protoboard e cada um dos componentes utilizados no circuito LED *blinker* na Arduino. O professor pode também clicar no botão “Iniciar simulação” e demonstrar aos estudantes o comportamento esperado do circuito LED *blinker*, bem como mostrado o código-fonte para que o circuito funcione (Figura 42).

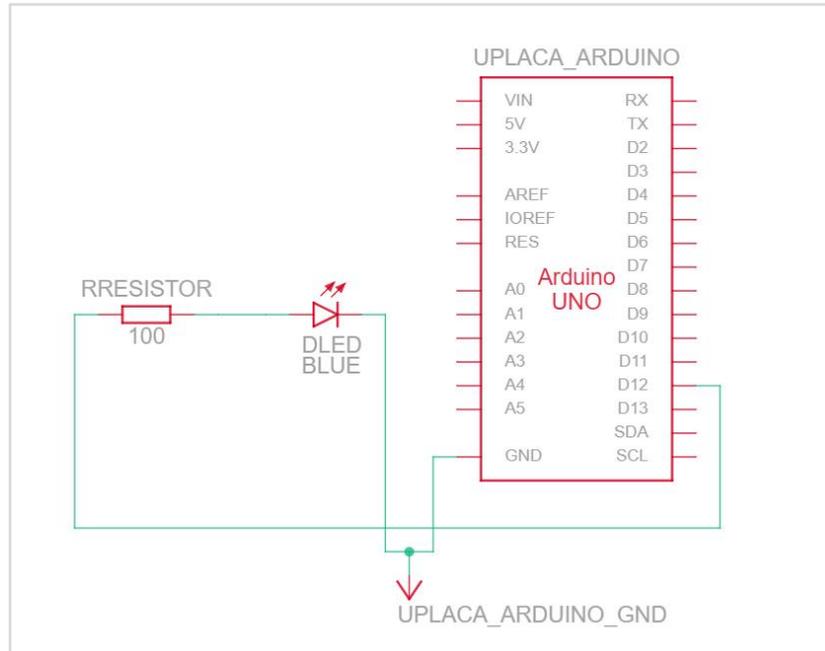
Um diagrama esquemático do circuito (Figura 43) pode ser apresentado aos estudantes, para conhecerem uma outra forma de representar a montagem e o próprio circuito na placa Arduino.

Figura 42 - Simulação do circuito LED *blinker* com Arduino na plataforma TinkerCad. Disposição dos componentes e fios na placa Arduino e protoboard.



Fonte: TinkerCad/Lucas Ferreira (UnB/IF/MNPEF).

Figura 43 - Diagrama esquemático do circuito LED *blinker* para Arduino.



Fonte: TinkerCad.

CÓDIGO-FONTE E CONEXÃO DA ARDUINO UNO

Primeiro passo: Acesse o [site Arduino Cloud](#) e crie uma conta gratuitamente. Em seguida clique no canto direito em “Create New” e selecione “Sketch”. Uma nova janela com um Sketch em branco será aberta.

Figura 44 - Interface da página *web* Arduino Cloud. Código-fonte do circuito LED *blinker* para uso na placa Arduino.

```
1 #define LED_PIN 12
2 void setup()
3 {
4   pinMode(LED_PIN, OUTPUT);
5 }
6 void loop() {
7   digitalWrite(LED_PIN, HIGH);
8   delay(20);
9   digitalWrite(LED_PIN, LOW);
10  delay(1337);
11 }
12
```

Console Done Uploading CP1919_LED

Fonte: Arduino Cloud/Lucas Ferreira (UnB/IF/MNPEF).

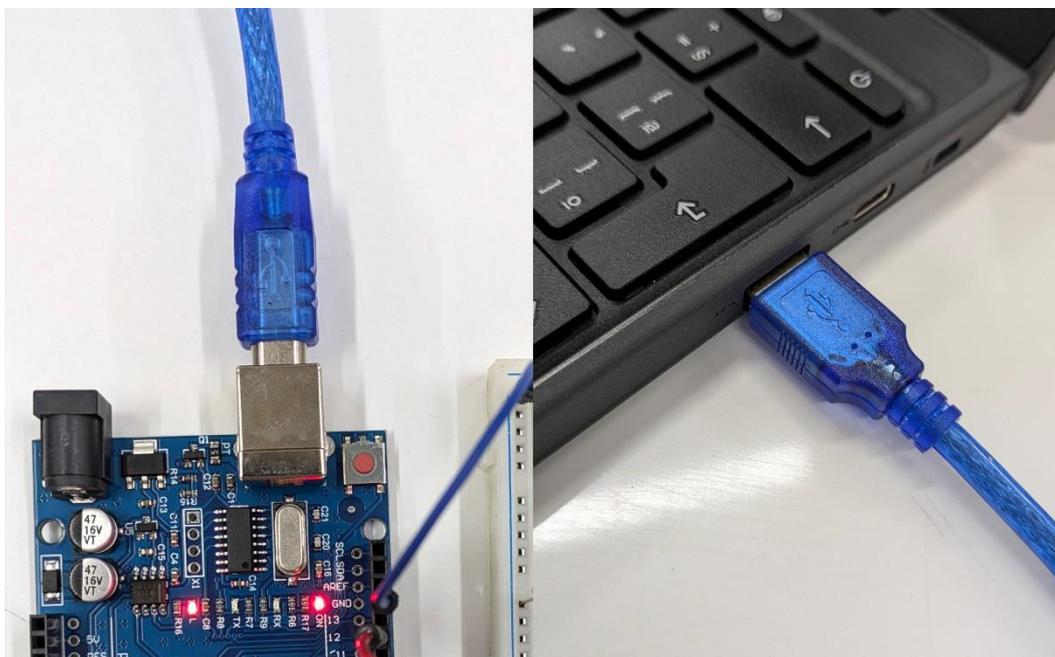
Segundo passo: Cole o código-fonte na área de código do projeto (*Sketch*) no Arduino Cloud (Figura 44). Basta copiar e colar o código-fonte:

```
#define LED_PIN 12
void setup()
{
  pinMode(LED_PIN, OUTPUT);
}
void loop() {
  digitalWrite(LED_PIN, HIGH);
  delay(20);
  digitalWrite(LED_PIN, LOW);
  delay(1337);
}
```

O valor utilizado no *delay* de 1337 milissegundos representa o período de 1,337 segundos do pulsar descoberto por Jocelyn Bell, o Pulsar CP1919. O professor pode selecionar diferentes períodos para cada grupo ou atividade.

Terceiro passo: Conecte o cabo USB-B na placa Arduino Uno e em seguida o cabo USB na entrada USB de um *notebook* ou computador (Figura 45). É possível utilizar, também, uma fonte de alimentação de 9 a 12 V para alimentar a placa, sem a necessidade de utilizar um *notebook* ou computador.

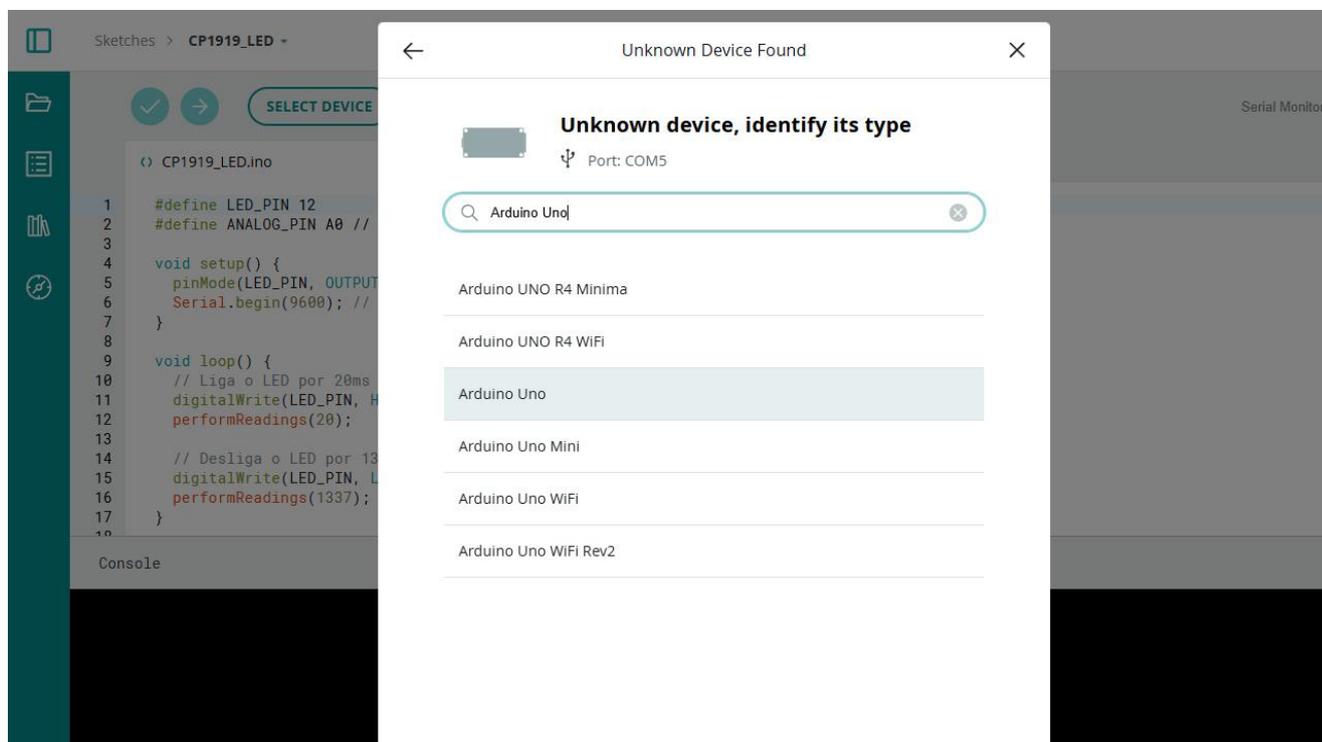
Figura 45 - Conexão USB-B na placa Arduino Uno e USB em um *notebook* comum.



Fonte: Arduino Cloud/Lucas Ferreira (UnB/IF/MNPEF).

Quarto passo: Após conectar o cabo USB no *notebook* ou computador, clique no botão “*Select device*” e selecione o tipo de placa que está sendo conectada (Figura 46), por exemplo Arduino Uno.

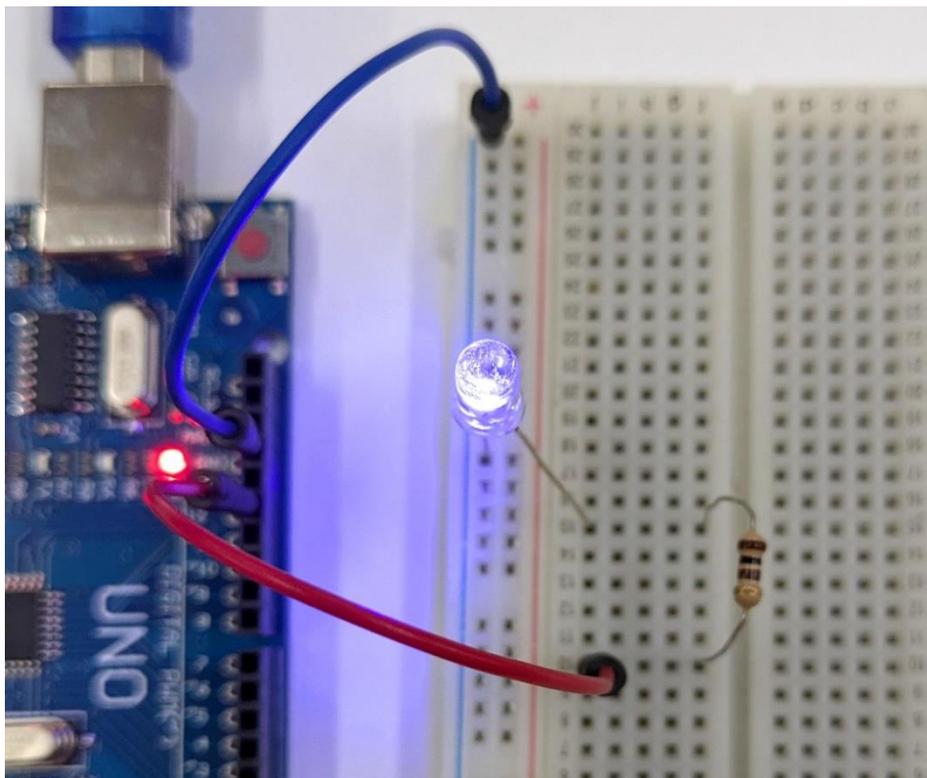
Figura 46 - Janela de seleção do tipo de placa Arduino para conexão no Arduino Cloud.



Fonte: Arduino Cloud/Lucas Ferreira (UnB/IF/MNPEF).

Quinto passo: Em seguida, faça *upload* do código-fonte para a placa, clicando no botão da seta, acima da área de código na Arduino Cloud. O código-fonte será enviado para a placa e começará a executar o código (Figura 47). Se as conexões estiverem corretas, o LED irá piscar e mostrar o comportamento análogo ao circuito LED *blinker*, piscando rapidamente, depois apagando e piscando novamente, representando a intermitência dos pulsos e o sinal de um pulsar.

Figura 47 - Momento em que o código-fonte é enviado à placa Arduino e executa as funções *loop*, *digitalWrite* e *delay*, para fazer com que o LED acenda de forma intermitente a cada 1,337 segundos.



Fonte: Lucas Ferreira (UnB/IF/MNPEF).

Após a construção do circuito LED *blinker* para Arduino, os estudantes podem realizar o passo a passo descrito no “Roteiro Passo a Passo *Tracker Online* Análise Região RGB”, para analisar os vídeos gravados com o *smartphone* e gerar dados e gráficos no *software* livre *Tracker Online*.

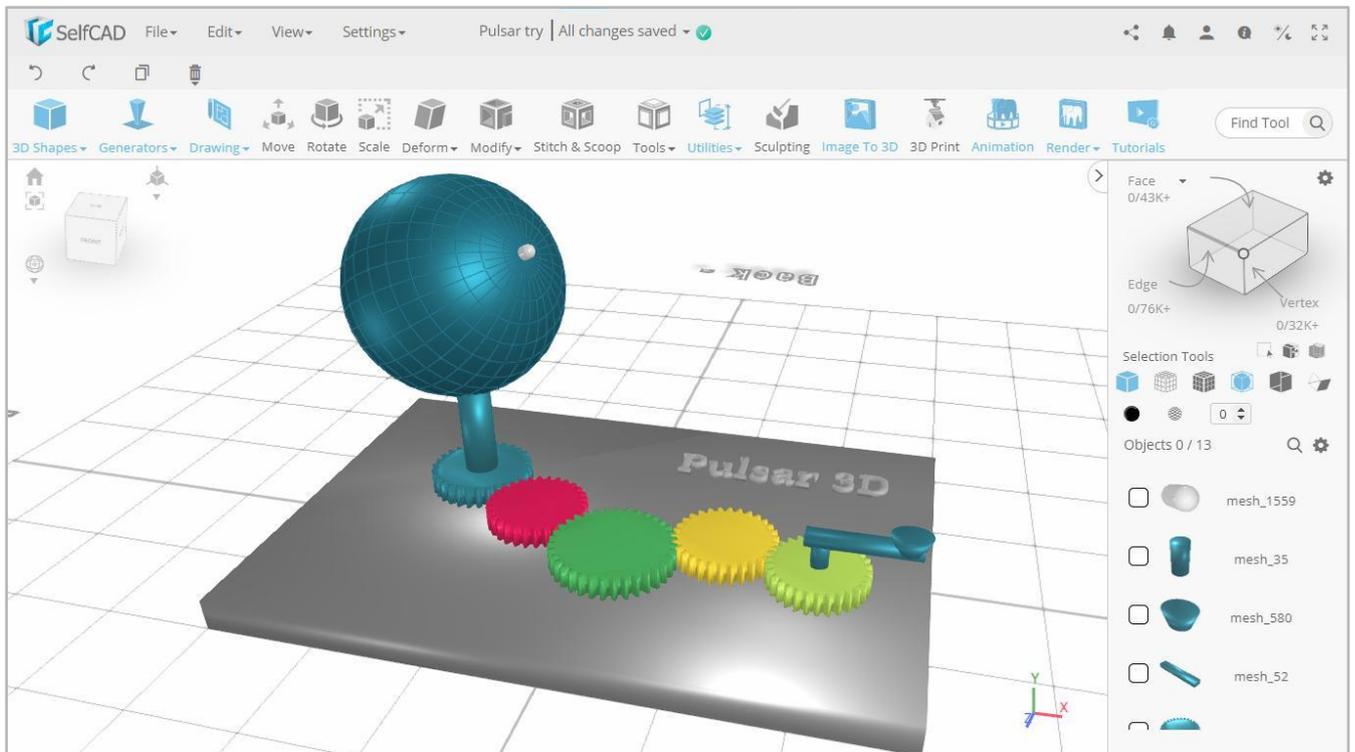
APÊNDICE B - INSTRUMENTO DE COLETA

A seguir serão apresentadas as perguntas utilizadas na coleta dos dados desse trabalho, através de um questionário *online* estruturado.

1. Qual é o seu nível de interesse pela Astrofísica, Astronomia e Pulsares?
2. Você já tinha ouvido falar sobre os pulsares antes de realizar o experimento?
3. Em qual região do Espectro Eletromagnético o LED emite?
4. Em qual região do Espectro Eletromagnético um pulsar emite?
5. Em qual região do Espectro Eletromagnético os astrônomos comumente detectam os pulsares?
6. Você compreendia o que era um pulsar?
7. Para você, a definição de pulsar é:
8. Você entendeu o funcionamento do circuito LED blinker?
9. Qual foi o nível de dificuldade para a gravação do vídeo no smartphone?
10. Você já tinha utilizado o programa Tracker?
11. Qual foi o nível de dificuldade para usar o programa Tracker?
12. O quão interessante você achou o processamento de vídeos através do programa Tracker?
13. Qual foi o nível de dificuldade para processar o vídeo no programa Tracker?
14. Qual foi o nível de dificuldade para analisar os dados no programa Tracker?
15. Você já tinha usado o Chat GPT?
16. Você acredita que inteligência artificial em sala de aula pode ser uma coisa:
17. Qual o nível de dificuldade para processar os dados com o Chat GPT?
18. O que você achou de usar o Chat GPT em sala de aula e para realizar o experimento?
19. Você entendeu o funcionamento do circuito LED blinker?
20. No experimento, o LED piscando representa:
21. Sobre o experimento e o material utilizado, classifique os itens abaixo:
 - Clareza dos procedimentos (passo a passo)
 - Qualidade do experimento
 - Qualidade do material
 - Interação com os colegas
 - Auxílio do professor
 - Facilidade de usar o Tracker
 - Facilidade de processar os dados
 - Facilidade em entender os dados
22. Com o experimento, o quanto você se sentiu motivado a estudar Física?
23. No experimento, o que mais chamou/prendeu sua atenção?

APÊNDICE C - MODELO PARA IMPRESSÃO 3D

Figura 48 - Esboço para impressão 3D do experimento “Pulsar 3D”, na plataforma *online* SelfCAD. Na esfera, que representa uma estrela de nêutrons em rotação, é colocado um LED para representar o fenômeno dos pulsares. A ideia é fazer com que os estudantes interajam com o experimento, relacionado o movimento que é feito na manivela (à direita) com o movimento e rotação da esfera com o LED (esquerda). Para acessar o conteúdo, basta cadastrar uma conta gratuita e acessar o link <https://www.selfcad.com/shared-objects/2a215b3e6e37732i4l6d2a1i53m4571q3v4v>.



Fonte: SelfCAD/Lucas Ferreira (UnB/IF/MNPEF).

APÊNDICE D - PROPOSTA DE PROJETO MULTIDISCIPLINAR REFERENTE À SD ENVIADA À COORDENAÇÃO DA ESCOLA

Figura 49 - Seção do planejamento trimestral referente à proposta de projeto multidisciplinar enviada à coordenação pedagógica da escola.

Avaliação Processual 2

Projeto 2: "Universe Lighthouses: Making a Pulsar simulator"

Sala Maker: 2, 7 e 8/08

Deadline: Dia 09/08

Construir um experimento sobre pulsares e circuitos eletrônicos na Sala Maker (2, 7 e 8/08). Os estudantes deverão apresentar os experimentos construídos e explicar a relação do experimento com os conteúdos propostos.

As duplas serão definidas pelo professor em sala de aula.

Os estudantes também irão gerar imagens com inteligência artificial através de prompts, sobre os objetos e tema de cada dupla, para serem expostas em um mural da escola.

"Science Cinema" (Auditório) - Interstellar (2014)

Dia: 21 e 23/08 (Manhã)

Materiais necessários:

- LED, capacitor, protoboard, resistência, fios de conexão, transistor.
- Smartphone ou Tablet.

Fonte: Lucas Ferreira (UnB/IF/MNPEF).

APÊNDICE E - TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE)

Figura 50 - TCLE utilizado na pesquisa, página 1.

| | | |
|---|--------------------------------|--|
|  | UnB Instituto de Física |  |
|---|--------------------------------|--|

Título do Estudo: DOS LEDS AOS PULSARES: UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA IMERSIVA PARA O ENSINO DE FÍSICA E ASTROFÍSICA NO ENSINO FUNDAMENTAL E MÉDIO

Pesquisadores Responsáveis:
Mr. Lucas Ferreira (UnB/MNPEF) (Science Teacher)
Profª Drª Vanessa Carvalho de Andrade (UnB/IF)

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE)

Caros pais, o (a) seu (sua) filho (a) está sendo convidado (a) a participar de uma pesquisa de Mestrado da Universidade de Brasília (UnB), do programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF).

A proposta deste termo de consentimento livre e esclarecido (TCLE) é explicar ao (a) senhor (a) tudo sobre o estudo e solicitar a sua permissão para que seu filho (a) possa participar desta pesquisa.

O objetivo desta pesquisa é realizar uma sequência didática de 4 semanas, sobre o tema pulsares, componentes eletrônicos, ondas eletromagnéticas, captura de vídeo de um circuito LED blinker, utilização de uma sala maker, análise de dados a partir de softwares livres e uso de inteligência artificial.

Esta pesquisa tem como justificativa a utilização de tecnologias em sala de aula, uso de inteligência artificial na educação e o uso de metodologias ativas, como Aprendizagem Baseada em Projetos (PBL), Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente (CTSA) e Ciência, Tecnologia, Engenharia, Artes e Matemática (STEAM).

A participação do seu (sua) filho (a) nesta pesquisa, consiste na participação da sequência didática, na realização de atividades formativas em sala de aula, em responder formulários através da plataforma online Google Forms, contendo em sua maioria perguntas fechadas de múltipla escolha e elaboração de parágrafos curtos, sobre a física e a descoberta dos pulsares, o funcionamento de componentes eletrônicos, montagem de circuitos simples, uso de softwares para processar vídeos do experimento, uso de inteligência artificial para analisar dados do experimento.

Ressaltamos que essa pesquisa é totalmente voluntária, ou seja, não é obrigatória. Caso o(a) Sr.(a) decida não participar, ou ainda, desistir de participar e retirar seu consentimento durante a pesquisa, não haverá nenhum prejuízo à avaliação ou processo avaliativo do seu (sua) filho (a).

Solicitamos também sua autorização para apresentar os resultados deste estudo em eventos da área de educação, ciências e física e publicar em livros, periódicos e revistas científicas nacional e/ou internacional. Por ocasião da publicação dos resultados, **o nome do seu (sua) filho (a) será mantido em sigilo absoluto, bem como em todas as fases da pesquisa, sendo referido (a) como ESTUDANTE 1, ESTUDANTE 2, etc.**

De nenhum modo o nome do seu (sua) filho (a) irá aparecer na pesquisa, ou em qualquer outra etapa da aplicação deste trabalho.

| | |
|---------------------------------|--|
| _____ Rubrica do pesquisador | _____ Rubrica do participante/responsável |
|---------------------------------|--|

Página 1 de 2

Fonte: Autoria própria.

Figura 51 - TCLE utilizado na pesquisa, página 2.

Caso o(a) Sr.(a) tenha dúvidas, poderá entrar em contato direto com o pesquisador responsável **Lucas Ferreira (UnB/IF/MNPEF)**, pelo telefone **XX XXXXXXXX** (Whatsapp e Telefone) ou pelo e-mail lucasferreiraunb@gmail.com.

A versão impressa desse Termo precisará ser assinada nas duas páginas pelo responsável e devolvida ao professor pesquisador.

A versão *online* desse Termo será disponibilizada no formato digital, em PDF, na plataforma educacional utilizada pela escola.

Declaração de Consentimento

Concordo em participar do estudo intitulado: **“DOS LEDS AOS PULSARES: UMA PROPOSTA DE ENSINO DE ASTRONOMIA E ASTROFÍSICA ATRAVÉS DE UM CIRCUITO LED BLINKER”**.

| | |
|------------------------------------|----------------------|
| _____ Nome do aluno | Local: _____ |
| _____ Nome do Responsável | Data: ____/____/____ |
| _____ Assinatura do Responsável | |

Eu, professor **Lucas Ferreira**, de CPF **XXX.XXX.XXX-XX**, de matrícula **XXXXXXXXXX** junto à **Universidade de Brasília (UnB/IF/MNPEF)**, declaro cumprir com responsabilidade as cláusulas e itens descritos neste termo.

| | |
|------------------------------------|--|
| _____ Assinatura do Pesquisador | Local: Brasília - DF Data: agosto de 2024 |
|------------------------------------|--|

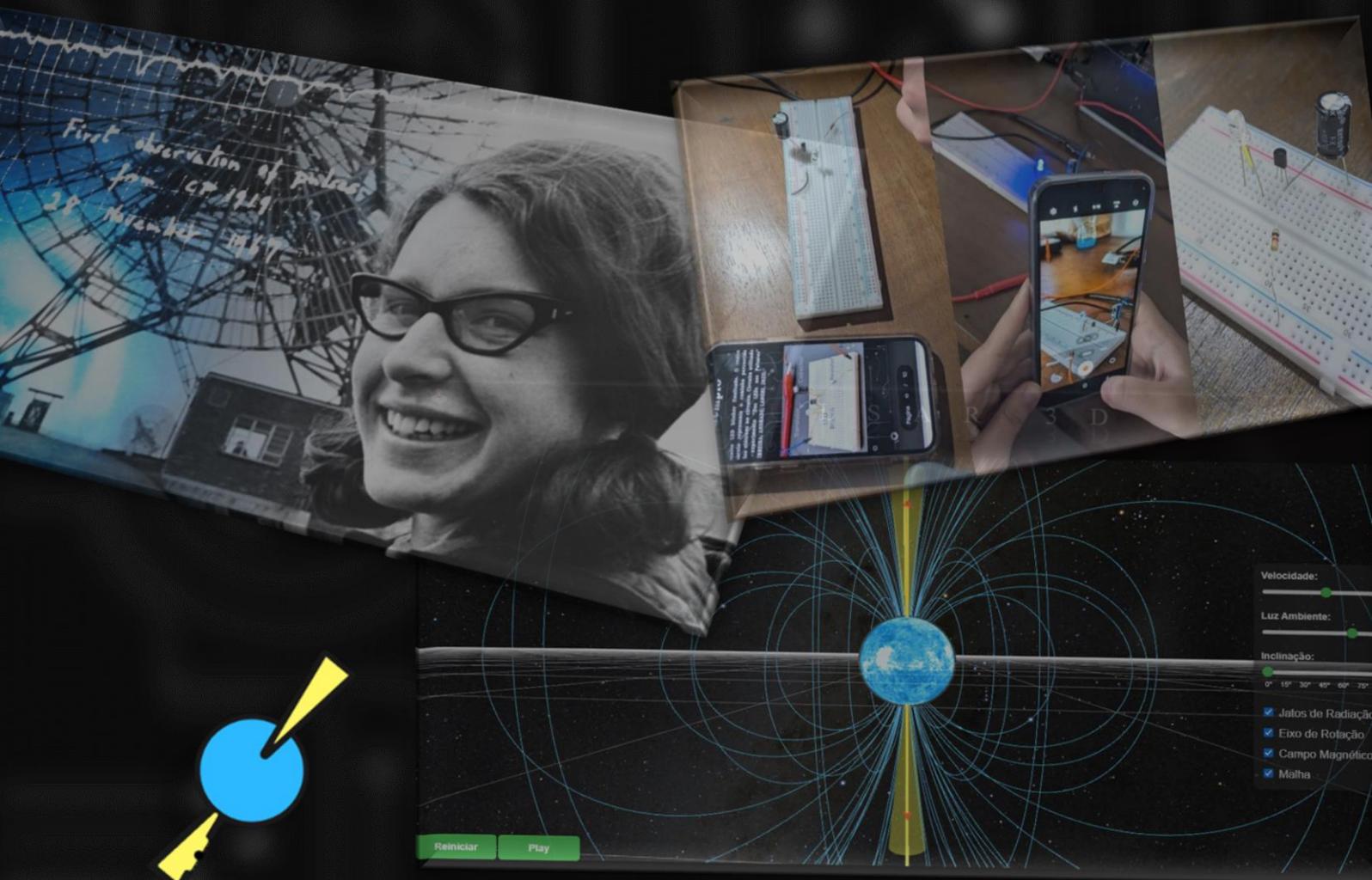
Fonte: Autoria própria.

APÊNDICE F - PRODUTO EDUCACIONAL “DOS LEDS AOS PULSARES”

A seguir será apresentado o documento do produto educacional “Dos LEDs aos Pulsares”.

A contagem de figuras e quadros deste produto educacional será realizada no próprio documento, destacado da dissertação.

DOS LEDS AOS PULSARES: UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA IMERSIVA PARA O ENSINO DE FÍSICA E ASTROFÍSICA NA ESCOLA



Lucas Ferreira e Vanessa Carvalho de Andrade

Lucas Ferreira e Vanessa Carvalho de Andrade

DOS LEDS AOS PULSARES: UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA IMERSIVA
PARA O ENSINO DE FÍSICA E ASTROFÍSICA NA ESCOLA

Este produto educacional é parte integrante da dissertação: “DOS LEDS AOS PULSARES: UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA IMERSIVA PARA O ENSINO DE FÍSICA E ASTROFÍSICA NO ENSINO FUNDAMENTAL E MÉDIO”, desenvolvida no âmbito do Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física- MNPEF, do Instituto de Física da Universidade de Brasília - UnB, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Brasília - DF
2025

INDEX

| | |
|--|----|
| APRESENTAÇÃO..... | 4 |
| O QUE PRECISO SABER?..... | 7 |
| SEQUÊNCIA DIDÁTICA IMERSIVA..... | 11 |
| COMPREENDENDO OS PULSARES..... | 22 |
| DEFINIÇÃO, HISTÓRIA E DETECÇÃO DOS PULSARES..... | 22 |
| CURIOSIDADES SOBRE OS PULSARES..... | 27 |
| QUAIS FERRAMENTAS POSSO UTILIZAR?..... | 33 |
| MONTANDO O CIRCUITO LED BLINKER..... | 34 |
| O SOFTWARE TRACKER ONLINE E ANÁLISE DE VÍDEO..... | 39 |
| SIMULAÇÃO INTERATIVA PULSAR 3D..... | 45 |
| UTILIZANDO A SIMULAÇÃO PULSAR 3D..... | 49 |
| APÊNDICE A - CIRCUITO LED BLINKER COM O ARDUINO..... | 56 |
| APÊNDICE B - INSTRUMENTO DE COLETA..... | 62 |
| APÊNDICE C - PLANO DE AULA SIMULAÇÃO PULSAR 3D..... | 63 |
| APÊNDICE D - PROPOSTA DE PROJETO MULTIDISCIPLINAR..... | 65 |
| APÊNDICE E - MODELO PARA IMPRESSÃO 3D..... | 66 |
| ANEXOS..... | 67 |

APRESENTAÇÃO

Caros professores, futuros professores e profissionais da educação, sejam bem vindos ao produto educacional “Dos LEDs aos Pulsares”. Neste documento iremos apresentar uma sequência didática (SD) para o ensino de Física, Astrofísica e Astronomia, destinada ao ensino médio e ensino fundamental.

Este produto educacional explora conceitos como a formação de pulsares, sua composição, densidade e os fenômenos associados aos campos magnéticos e emissão de jatos de radiação. Tópicos estes que foram elaborados para serem abordados de forma prática e acessível, com linguagem adaptada para o ensino fundamental e médio, permitindo que professores e estudantes explorem tópicos que permeiam as fronteiras da Astronomia e da Astrofísica. Além disso, este material inclui uma abordagem prática a partir do uso de um circuito LED blinker, que é um dispositivo que simula os pulsos de luz emitidos por um pulsar, além da análise de vídeos gravados pelos estudantes através do uso guiado de softwares gratuitos. Este experimento busca relacionar os conceitos teóricos às realidades dos estudantes, utilizando componentes eletrônicos acessíveis e de baixo custo (Figura 1).

Outra ferramenta central deste produto educacional é a utilização da Simulação Interativa Pulsar 3D, que permite os estudantes explorar a estrutura e as propriedades dos pulsares em três dimensões. Ao utilizar tecnologias digitais de modelagem e visualização 3D, essa simulação promove uma compreensão imersiva e interdisciplinar, integrando Física, Astronomia, Astrofísica e Tecnologia. Este material apresenta, também, uma sequência didática imersiva, que guia os educadores sobre o uso desses recursos e conteúdos em sala de aula. A SD “Dos LEDs aos Pulsares” está alinhada às competências apresentadas na Base Nacional Comum Curricular (BNCC) e incentiva o desenvolvimento de habilidades dos estudantes, como a resolução de problemas, trabalho em equipe e pensamento crítico.

Além dos fenômenos físicos e astrofísicos dos pulsares, esses objetos exóticos também carregam histórias fascinantes que podem trazer um caráter de contextualização e engajamento às aulas de Física e de Ciências, por exemplo, ao explorar desde a sua descoberta ao final da década de 1960, até suas implicações na compreensão da matéria e caracterização de objetos astronômicos exóticos. Desse modo, este produto educacional inclui também um contexto histórico e filosófico, capaz de instigar os estudantes durante discussões em sala de aula e conectar o conhecimento científico com as dimensões humana e cultural.

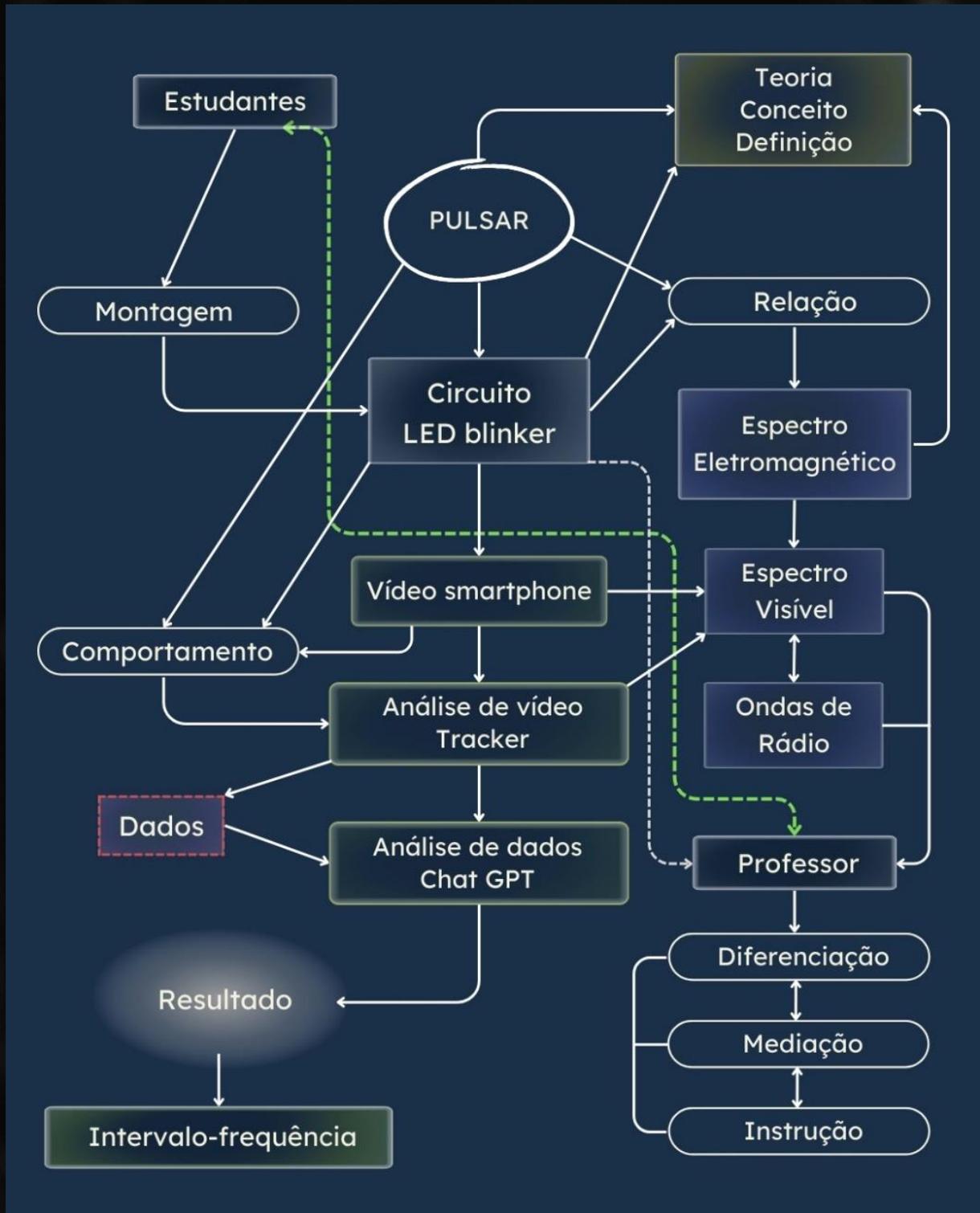
Nesse contexto, é importante também o professor abordar a história da astrônoma Jocelyn Bell, a injustiça sofrida por essa cientista e o papel das mulheres na ciência, através do direcionamento e questionamentos juntos dos estudantes.

Através de uma proposta ilustrada e baseada no ensino através de imagens, os materiais disponíveis nesta SD servem como recursos para que os professores possam utilizar em sala de aula, que foram traduzidos de forma detalhada pelos autores, para melhor ilustrar os processos envolvidos, tanto da natureza dos pulsares e seu contexto histórico, quanto do circuito LED blinker.

Este produto educacional é capaz de promover a interdisciplinaridade, ao conectar Física com Astronomia, Eletrônica e uso de Tecnologias Digitais em sala de aula, especialmente através da colaboração e participação de professores de outras disciplinas, incluindo disciplinas como História, Inglês, Artes, etc. Trata-se de uma SD acessível, que oferece tutoriais detalhados para a montagem de um circuito LED blinker e orientações claras para o uso da Simulação Pulsar 3D em vários dispositivos, incluindo smartphones, tablets e computadores.

Através desta SD os estudantes terão a oportunidade de aprender sobre o processamento de vídeos através de softwares de análise de vídeo, elaborar gráficos a partir dos dados extraídos do vídeo do próprio experimento e correlacionar o comportamento observado em sala de aula, com a dinâmica dos pulsares e suas características, fazendo uma ponte entre os conceitos básicos de Física, Astronomia e Astrofísica, com a realidade tecnológicas que estão inseridos.

Figura 1 - Mapa mental dos processos e relações envolvidas nas etapas da SD e experimento.



Fonte: Autoria própria

O QUE PRECISO SABER?

Ei, professor! Vamos dar uma olhada nos principais conceitos que vão te ajudar a trabalhar com esse produto educacional?

A importância da Aprendizagem Significativa

A teoria educacional de Bob Gowin destaca que a construção do conhecimento ocorre por meio de uma tríade educativa composta por professor, estudante e materiais educativos, mediada por eventos e significados compartilhados. No ensino de Física, essa perspectiva enfatiza que os conceitos científicos são melhor compreendidos quando abordados de maneira ativa e contextualizada, com o professor atuando como mediador na construção do conhecimento. A aprendizagem significativa, segundo Gowin, acontece quando o estudante capta e compreende os significados compartilhados na interação com os materiais educativos e o professor.

Um dos principais instrumentos dessa abordagem é o Vê epistemológico de Gowin, uma ferramenta que instiga o descobrir e o inventar que auxilia os estudantes a relacionarem teoria e prática na construção do conhecimento científico. O Vê de Gowin permite visualizar como teorias, princípios e conceitos da Física se conectam com os métodos experimentais e a própria realidade.

No ensino de Física, à medida que os estudantes interagem, discutem e aplicam conceitos, eles se apropriam dessa linguagem, consolidando sua compreensão. Dessa forma, a aprendizagem significativa não se resume à simples memorização de fórmulas, mas à construção colaborativa e ativa do conhecimento, no qual os conceitos físicos surgem da interação entre pensamento, experimentação, uso de recursos educacionais e diálogo mediado pelo professor.

Aprendizagem através da investigação

O ensino por investigação coloca o estudante como protagonista da sua própria aprendizagem. Em vez de simplesmente transmitir o conteúdo, você cria situações-problema interessantes e orienta os estudantes na busca por soluções. Isso ajuda a desenvolver não só o conhecimento dos conceitos, mas também habilidades científicas como elaborar hipóteses, planejar investigações e analisar resultados.

As atividades investigativas podem variar desde investigações mais estruturadas até as mais abertas, dependendo da autonomia que você quer dar aos estudantes. Uma dica valiosa é começar com investigações mais guiadas e ir aumentando gradualmente o nível de independência dos estudantes.

E o melhor: pesquisas mostram que essa abordagem realmente funciona! Os estudantes ficam mais engajados, compreendem melhor os conceitos e desenvolvem habilidades científicas importantes. Além disso, eles passam a ver a Física com outros olhos quando têm a chance de investigar os fenômenos de forma ativa.

Astronomia e Astrofísica na sala de aula

Estes temas têm um enorme potencial para despertar a curiosidade dos estudantes! A BNCC apoia a inclusão desses conteúdos tanto no Ensino Fundamental quanto no Médio. Você pode trabalhar desde conceitos básicos sobre Terra e Universo até temas mais complexos como evolução estelar e processos nucleares.

Existem vários recursos gratuitos que podem te ajudar nessa jornada. Por exemplo, o curso "Astrofísica para Todos" da UFSC e o Curso de Introdução à Astronomia e Astrofísica do INPE são excelentes para sua formação continuada. Além disso, há diversos materiais didáticos e guias de estudo disponíveis online.

Vale destacar que esses temas naturalmente se conectam com outras áreas da Física e com o cotidiano dos estudantes. Isso permite criar conexões interdisciplinares interessantes e mostrar como a ciência está presente em suas vidas, desde as tecnologias que usam até os documentários e séries que assistem.

Tecnologia a seu favor

As tecnologias digitais podem ser grandes parceiras no ensino de Física. Simuladores, aplicativos e ambientes virtuais permitem que os estudantes experimentem e manipulem conceitos físicos de forma interativa. E não para por aí: as novas ferramentas de inteligência artificial, como ChatGPT e similares, podem oferecer suporte personalizado tanto para você quanto para seus estudantes.

Mas atenção: não basta simplesmente jogar tecnologia na aula. O importante é usá-la de forma consciente e pedagogicamente fundamentada. Pense nela como uma ferramenta que pode potencializar suas estratégias de ensino e tornar conceitos abstratos mais tangíveis para os estudantes.

A BNCC reconhece essa importância e incentiva o desenvolvimento de competências digitais. E o legal é que você não precisa ser um expert em tecnologia - comece aos poucos, experimente diferentes recursos e veja o que funciona melhor com suas turmas.

Experimentação interativa

Experimentos interativos são aqueles em que os estudantes podem participar ativamente, manipulando variáveis e observando resultados. Esta abordagem hands-on é especialmente valiosa para conectar teoria e prática, tornando o aprendizado mais significativo e envolvente.

A grande vantagem é que os estudantes podem testar suas hipóteses, cometer erros e aprender com eles em um ambiente seguro e controlado. Isso ajuda a desenvolver não só a compreensão dos conceitos, mas também habilidades práticas e o pensamento científico.

E o mais legal: os experimentos interativos podem ser adaptados para diferentes realidades e recursos disponíveis. O importante é que permitam a participação ativa dos estudantes e estimulem a reflexão sobre os fenômenos observados.

Lembre-se:

- Seu papel é instigar e mediar, não apenas transmitir conhecimento;
- A investigação científica é um dos cerne dessa sequência didática;
- Astronomia e Astrofísica são temas que naturalmente despertam interesse nos estudantes;
- O uso de tecnologias educativas e experimentos interativos são capazes de enriquecer as aulas de física e ciências.

Os pulsares são fontes contínuas de emissão eletromagnética, mas seu sinal pode ser percebido de forma intermitente devido ao movimento de rotação e ao alinhamento do feixe de radiação com a Terra. Para ilustrar esse conceito, o LED blinker representa um modelo simplificado do funcionamento de um pulsar, onde os flashes de luz simulam os pulsos detectados pelos radiotelescópios. É essencial enfatizar essa analogia durante a experimentação, ajudando os alunos a compreenderem como a detecção desses sinais revolucionou a astrofísica. Além disso, reforçar o papel de Jocelyn Bell na descoberta dos pulsares não apenas valoriza sua contribuição científica, mas também destaca a importância do papel das mulheres na astronomia e astrofísica.

Preparando-se para a aventura!

Professor, agora que você já conhece os fundamentos teóricos que embasam nossa proposta, vamos falar sobre o que você precisa para começar essa jornada incrível "Dos LEDs aos Pulsares"!

Em primeiro lugar, não se preocupe, você não precisa ser um expert em astronomia ou eletrônica para implementar esta sequência. O mais importante é sua disposição para aprender junto com os estudantes e se aventurar por novos caminhos. Lembre-se: todo astrônomo já foi um observador curioso do céu, e todo cientista já se perguntou "como isso funciona?".

Para implementar a sequência didática "Dos LEDs aos Pulsares" na sua escola, você vai precisar:

- Componentes eletrônicos simples (LEDs, resistores, etc.) - não se preocupe, vamos detalhar tudo nas próximas seções;
- Um espaço para realizar as atividades práticas (pode ser a própria sala de aula);
- Acesso a computador/smartphone para algumas atividades.

Então, aperte os cintos que essa aventura já vai começar! Nas próximas seções, vamos detalhar cada etapa da sequência didática, com dicas práticas, sugestões de adaptações e todo o suporte necessário para você implementar essa proposta na sua escola. Lembre-se: assim como os pulsares emitem sinais regulares pelo cosmos, você será o farol que guiará seus estudantes nessa exploração fascinante entre a Terra e as estrelas.

E aí, pronto para começar? Nas próximas seções, veremos como colocar tudo isso em prática! Vamos nessa?

SEQUÊNCIA DIDÁTICA IMERSIVA

Nessa sequência didática (SD), os estudantes são imersos na história da descoberta dos pulsares por Jocelyn Bell, explorando sua contribuição para a ciência e refletindo sobre o papel das mulheres na pesquisa científica. Exploram, também, a importância científica da descoberta dos LEDs e suas aplicações no cotidiano. Em seguida, eles participam de uma atividade prática de montagem de um circuito LED blinker e experimentação livre para compreender os princípios básicos da eletrônica, em um ambiente fora da sala de aula convencional. Através de uma narrativa audiovisual, com o uso de imagens e de vídeos, os estudantes são introduzidos aos conceitos de estrelas de nêutrons e pulsares e exploram as características físicas desses objetos astronômicos exóticos através de um simulador 3D interativo, com o auxílio de computadores, tablets ou smartphones.

A SD continua com os estudantes realizando a análise dos vídeos capturados do funcionamento do circuito LED blinker, com o auxílio de um smartphone, utilizando o software livre de análise de vídeo Tracker Online, seguido do envio dos resultados - gráficos - obtidos no Tracker Online. Os estudantes utilizam IAs para realizar o processamento dos dados gerados no programa Tracker Online, que também são enviados como atividade avaliativa. Essa experiência multidisciplinar promove não apenas a compreensão de conceitos em Física, Astronomia, Astrofísica e Eletrônica, mas também o desenvolvimento de habilidades de pesquisa, experimentação e análise de dados, enquanto estimula a curiosidade e a criatividade dos estudantes.

A SD “Dos LEDs aos Pulsares” está dividida em 5 momentos e foi estruturada para ser aplicada em um período de 3 semanas, podendo ser aplicada tanto no ensino médio, quanto no ensino fundamental nos anos finais. A estrutura da SD pode ser visualizada em maior detalhe no Quadro 3.

Os cinco Momentos foram cuidadosamente planejados para criar uma experiência imersiva e significativa, onde teoria e prática se encontram de maneira contínua e interessante. Seus estudantes viajarão das ondas eletromagnéticas à descoberta dos pulsares, passando pela montagem de circuitos e análise de dados com ferramentas digitais. Prepare-se para mediar descobertas empolgantes e ver seus estudantes desenvolvendo não apenas conhecimento científico, mas também habilidades práticas e pensamento crítico.

Quadro 2 - Temas das apresentações dos grupos do 8º e 9º ano.

| Grupos | Temas |
|---------|---|
| Grupo A | Estudos Iniciais de um Pulsar e a Detecção de um Pulsar |
| Grupo B | História dos LEDs e Seus Impactos na Sociedade |
| Grupo C | História da Radioastronomia e o Pulsar Mais Longo Observado |
| Grupo D | História de Jocelyn Bell e a Detecção do Pulsar CP1919 |

Fonte: Autoria própria.

Quadro 3 - Estrutura geral da sequência didática e experimento “Dos LEDs aos Pulsares”.

| Sequência Didática “Dos LEDs aos Pulsares” | |
|--|--|
| Momento | Conteúdos e estratégias |
| Aula 1 | <p>Objetivo: Introduzir os estudantes à história dos pulsares e à contribuição de Jocelyn Bell para a Astronomia.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Apresentação sobre a descoberta dos pulsares e a trajetória de Jocelyn Bell. - Divisão dos estudantes em quatro grupos, cada um responsável por um tema específico. - Elaboração de slides com textos e imagens para uma apresentação. - Exibição do <u>documentário produzido pelo The New York Times sobre Jocelyn Bell</u>. - Debate em sala sobre o documentário. <p>Atividade avaliativa: responder um roteiro online com 9 perguntas (Quadro 4) sobre o documentário e enviar as respostas no formato Word ou PDF.</p> |
| Aula 2 | <p>Objetivo: Explorar conceitos básicos de circuitos elétricos e componentes eletrônicos.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Introdução aos conceitos de circuitos elétricos, protoboard e componentes eletrônicos. - Manuseio dos componentes eletrônicos e protoboard. - Acesso ao guia digital <u>“Como montar um circuito LED blinker em 6 passos”</u> no smartphone. - Exploração dos princípios básicos de eletrônica e funcionamento do LED. |
| Aula 3 | <p>Objetivo: Compreender a estrutura e o funcionamento dos pulsares e estrelas de nêutrons.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Acesso ao site <u>Pulsar 3D</u>, desenvolvido pelos autores. - Interação com uma simulação tridimensional sobre pulsares. - Exploração das características dos pulsares, como escala, emissão de radiação, interação do campo magnético, rotação, etc. - Acesso responsivo à simulação via smartphones, tablets ou computadores. |

| | |
|---------|--|
| Aula 4 | <p>Objetivo: Simular experimentalmente o comportamento dos pulsares.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Realização do experimento na Sala Maker. - Montagem do circuito LED blinker em sala de aula com o auxílio do recurso “Como montar um Circuito LED blinker em 6 passos”. - Rotatividade entre os grupos durante a atividade. - Captura de vídeos do LED piscando usando o smartphone. |
| Aulas 5 | <p>Objetivo: Analisar os dados experimentais utilizando o software Tracker Online e inteligência artificial.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Carregamento dos vídeos capturados no software Tracker Online. - Análise dos vídeos com auxílio do “Roteiro passo a passo Tracker Online análise região RGB” disponibilizado na plataforma da escola. - Utilização de IA (ChatGPT, Microsoft Copilot, Gemini, etc.) para determinar a frequência do brilho do LED. - Envio dos gráficos gerados no Tracker Online e capturas de tela das análises feitas com IA para o professor. - Instruções para a entrega do trabalho final na plataforma Google Classroom. |

Fonte: Autoria própria.

A SD foi planejada para ser realizada em um formato de projeto multidisciplinar, um modelo de projeto pode ser visualizado no Apêndice C. Cada momento da SD teve duração de 50 minutos. Você pode modificar o projeto para as demandas e realidades da sua escola, incorporando características e particularidades das turmas que leciona, além de envolver outros professores e disciplinas como artes, matemática, inglês, história, etc., sendo possível estruturar um projeto interdisciplinar (através da colaboração efetiva e troca de experiências reais entre os professores e utilizando os espaços da própria escola).

Papel do Professor

Professor, você será o condutor dessa expedição científica, guiando os estudantes por uma jornada que integra história, eletrônica e astrofísica de maneira prática e investigativa. Seu papel vai além da simples transmissão de conhecimento – você atuará como mediador, conectando os estudantes aos fenômenos científicos e incentivando a construção ativa do conhecimento ao longo das etapas da sequência didática.

Principais Atribuições do Professor:

- Apresentar o contexto histórico: Introduza a trajetória de Jocelyn Bell, destacando sua descoberta dos pulsares e promovendo um debate sobre a representatividade na ciência;
- Mediar as atividades: Auxilie os grupos na organização das apresentações, incentive a participação nas discussões e estimule a busca por respostas mais aprofundadas;
- Orientar a experimentação: Apoie os estudantes na montagem e no funcionamento do circuito eletrônico LED blinker, assegurando que compreendam a relação entre os sinais luminosos e a detecção de pulsares;
- Utilizar ferramentas digitais: Incentive o uso da simulação Pulsar 3D e do software Tracker Online, forneça tutoriais ou explicações passo a passo para garantir que todos compreendam a análise de vídeos e gráficos;
- Fomentar a interdisciplinaridade: Estabeleça conexões com áreas como matemática, história e inglês, convidando professores dessas disciplinas para contribuir com a troca de experiências;
- Criar um ambiente investigativo: Estimule a formulação de hipóteses, incentive o pensamento crítico e auxilie os estudantes a estabelecerem relações entre os conceitos experimentais e astronômicos/astrofísicos.

Ao final da sequência didática, seu papel terá sido fundamental não apenas na transmissão de conhecimentos físicos, mas também na inspiração de futuros cientistas.

Papel dos Estudantes

Lembre-se a todo momento que os estudantes serão os protagonistas desta jornada científica. O papel dos estudantes é atuar como investigadores, questionadores e experimentadores, utilizando diferentes recursos para compreender os fenômenos físicos, dos pulsares à eletrônica, da análise de vídeo à inteligência artificial.

Principais Atribuições dos Estudantes:

- Investigar a descoberta dos pulsares: Produzir apresentações sobre Jocelyn Bell e sua contribuição científica, explorando a importância dessa descoberta para a astrofísica;
- Explorar circuitos eletrônicos: Construir e testar o circuito LED blinker, compreendendo o funcionamento de seus componentes e sua analogia com os sinais luminosos de pulsares;
- Interagir com simulações científicas: Analisar a estrutura e o comportamento dos pulsares por meio da simulação Pulsar 3D, aprofundando a compreensão sobre esses objetos astrofísicos;
- Coletar e analisar dados experimentais: Registrar os experimentos, utilizar o Tracker Online para estudar os padrões de piscar do LED e interpretar os resultados com ferramentas computacionais;
- Participar de debates científicos: Compartilhar descobertas, dificuldades e reflexões sobre o experimento, enriquecendo a experiência de aprendizagem por meio da troca de experiências e construção de ideias.

A qualidade da experiência e dos resultados obtidos dependerá diretamente do engajamento e da curiosidade de cada um. Quanto maior a participação ativa, mais aprofundado será o aprendizado.

Descrição dos Momentos da SD

No Momento 1, os estudantes são introduzidos ao contexto histórico dos pulsares e a contribuição da astrofísica Jocelyn Bell para a Astronomia e para a Ciência. Nesse momento, os estudantes são divididos em quatro grupos e os temas são distribuídos para cada grupo. Eles têm que elaborar slides com textos e imagens para uma apresentação em inglês dos temas (Figuras 36 e 37), a apresentação em inglês é opcional, mas é indicado que o professor de inglês participe dessa etapa do projeto. Os temas dos grupos podem ser visualizados no Quadro 2.

Ainda no Momento 1, os estudantes assistem o documentário sobre a vida e descoberta de Jocelyn Bell, produzido pelo The New York Times, em seguida, realizam um debate em sala de aula e como atividade avaliativa é solicitado que respondam um roteiro online, contendo 9 perguntas sobre os tópicos abordados no documentário (Quadro 4). Os estudantes então enviam para o professor a atividade avaliativa no formato Word ou PDF.

Quadro 4 - Perguntas da atividade avaliativa sobre o documentário da Jocelyn Bell.

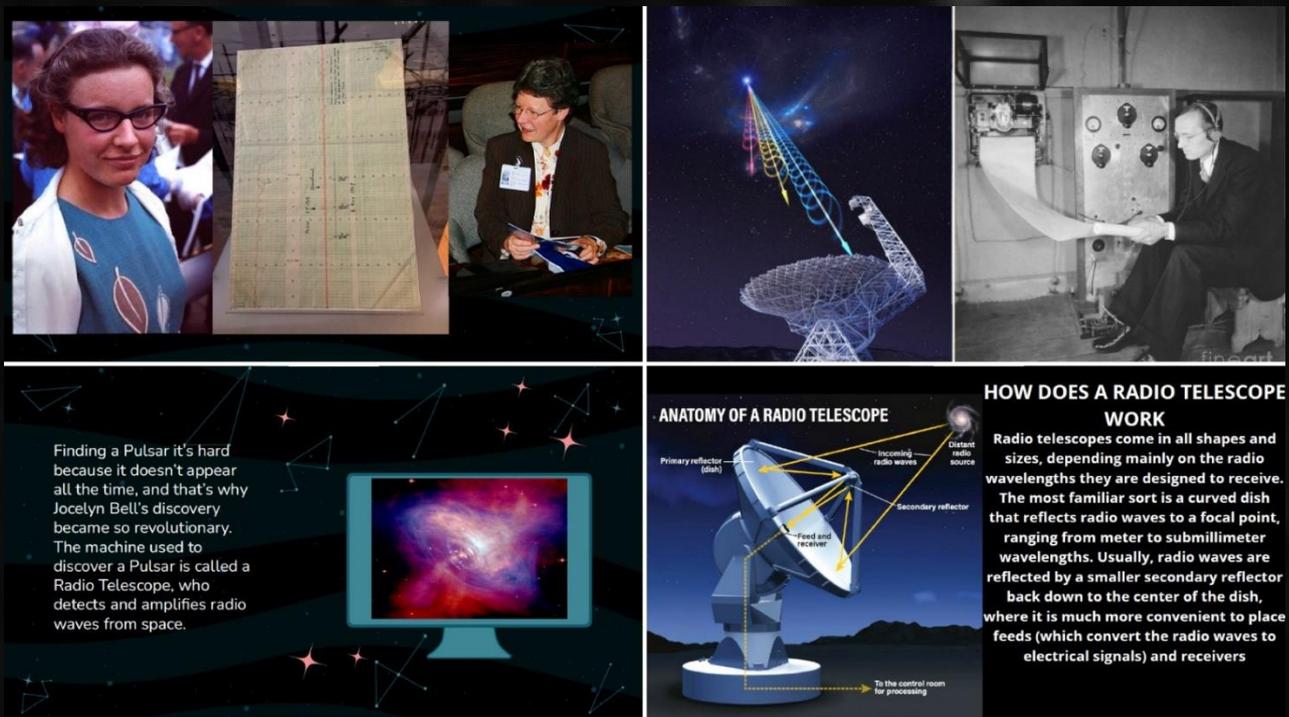
| Questões | Perguntas |
|-----------|--|
| Questão 1 | Por que Jocelyn Bell decidiu estudar Astronomia? |
| Questão 2 | O que Jocelyn Bell estudou no seu doutorado? |
| Questão 3 | O que Jocelyn Bell descobriu? |
| Questão 4 | Como Jocelyn Bell detectou o Pulsar CP1919? |
| Questão 5 | Por que sua descoberta foi tão importante para a Astronomia? |
| Questão 6 | Qual é a sua opinião sobre a injustiça com Jocelyn em relação à nomeação do Prêmio Nobel pela descoberta dos pulsares? |
| Questão 7 | Você acredita que o professor dela mereceu o Prêmio Nobel? |
| Questão 8 | Quais foram os impactos na Astronomia após a descoberta dos pulsares por Jocelyn Bell? |
| Questão 9 | Descreva em detalhes o que é um Pulsar |

Fonte: Autoria própria.

No Momento 2, os estudantes são introduzidos aos temas de circuitos elétricos, componentes eletrônicos e protoboard. Eles interagem e tocam nos componentes eletrônicos e manuseiam a protoboard. Em seguida, acessam no smartphone o guia digital "Como montar um circuito LED blinker em 6 passos" e exploram os princípios básicos de eletrônica, componentes de um circuito e o funcionamento do LED.

No Momento 3, os estudantes se envolvem com a definição, estrutura e funcionamento dos pulsares e estrelas de nêutrons, através de um site e simulação 3D desenvolvida pelos autores, intitulado Pulsar 3D. No site, é possível clicar nos títulos e expandi-los, onde parágrafos e textos com definições aparecem próximos das imagens. A partir da simulação Pulsar 3D, os estudantes puderam visualizar e interagir de forma tridimensional e melhor compor a concepção de diversas características de um pulsar, como escala e dimensão, emissão de radiação, interação do campo magnético, superfície e atmosfera do pulsar, rotação, etc. O site e simulação Pulsar 3D foi desenvolvido de maneira responsiva, para que os estudantes pudessem acessar a simulação através de smartphones, tablets, laptops e computadores.

Figura 36 - Exemplos de apresentações de slides elaboradas por estudantes do 8º ano.



Fonte: Autoria própria.

No Momento 4, os estudantes realizam em uma Sala Maker (ambiente fora da sala de aula) o experimento prático para simular o comportamento dos pulsares, através da construção de um circuito LED blinker, com o auxílio do guia de montagem digital “Como montar um circuito LED blinker em 6 passos” no smartphone. Nesse momento, os estudantes realizam a rotatividade entre os grupos. No final da atividade, realizam a captura do vídeo do LED piscando, utilizando a câmera do próprio smartphone (Figura 38). O vídeo gravado será carregado posteriormente no programa de análise de vídeo Tracker Online (Figura 39).

No Momento 5, em sala de aula, os estudantes realizam a análise dos vídeos capturados com os smartphones no software livre e analisador de vídeo Tracker Online. Através de um roteiro passo a passo de como utilizar o Tracker Online, elaborado pelos autores e disponibilizado na plataforma da escola, os estudantes seguem um passo a passo de como carregar e analisar o vídeo do LED no programa Tracker Online (Figura 39). Em sequência, os estudantes analisam os dados gerados pelo programa Tracker Online com o auxílio de inteligência artificial, como o ChatGPT, Microsoft Copilot, Gemini, etc., para determinar a frequência do brilho do LED. Ao final da atividade, os estudantes realizam o envio dos gráficos gerados no Tracker Online e as capturas de tela dos textos e respostas elaboradas pelos programas de inteligência artificial, para o professor (Figuras 39 e 40).

Figura 37 - Exemplos de apresentações de slides elaboradas por estudantes do 9º ano.

What is a pulsar?

A pulsar is a neutron star that rotates quickly and emits beams of electromagnetic radiation from its poles. When these beams point to the Earth, they are detected as regular pulses.



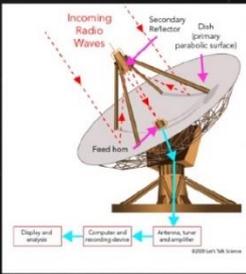
Early Discoveries (1907-1960s)

- 1907: H. J. Round, a British experimenter, first observed electroluminescence in a silicon carbide crystal.
- 1927: Oleg Losev, a Russian scientist, developed the first LED, but it was not commercially practical.
- 1962: Nick Holonyak, an American engineer, created the first visible-spectrum LED (red), considered the first practical LED. By using the semiconductor material gallium arsenide phosphide (GaAsP) and the technique of stimulated emission,



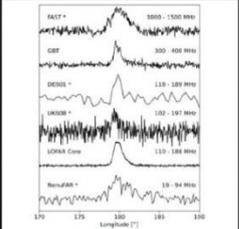
HOW IT IS USED

Radio astronomy is the area of astronomy that studies the universe through the detection and analysis of radio waves emitted by celestial objects. Instead of observing visible light, as in optical astronomy, radio astronomers use radio telescopes to capture radio waves coming from stars, galaxies, quasars, nebulae and even planets.



Parts of a radio telescope

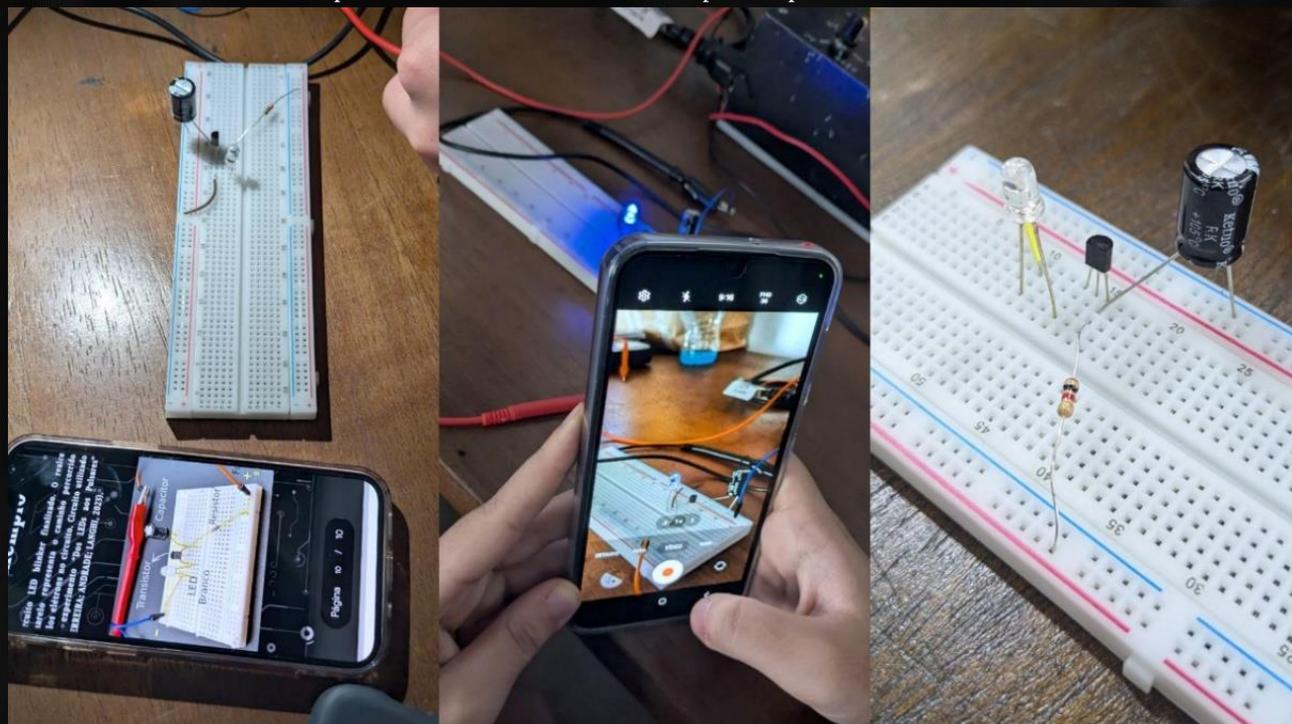
What makes PSR J0250+5854 particularly noteworthy is that it has the slowest known rotation period of any pulsar. Discovered in 2018, this pulsar has a rotation period of approximately 23.5 seconds. For context, most pulsars have much shorter rotation periods, ranging from milliseconds to a few seconds. The slow rotation of PSR J0250+5854 challenges our understanding of the pulsar population and the mechanisms that sustain their magnetic fields and rotational energy over time.



The pulse profiles of PSR J0250+5854 at different radio frequencies.

Fonte: Autoria própria.

Figura 38 - Realização do Momento 4 na Sala Maker. Montagem dos circuitos LED blinker e captura dos vídeos com o smartphone pelos estudantes.



Fonte: Autoria própria.

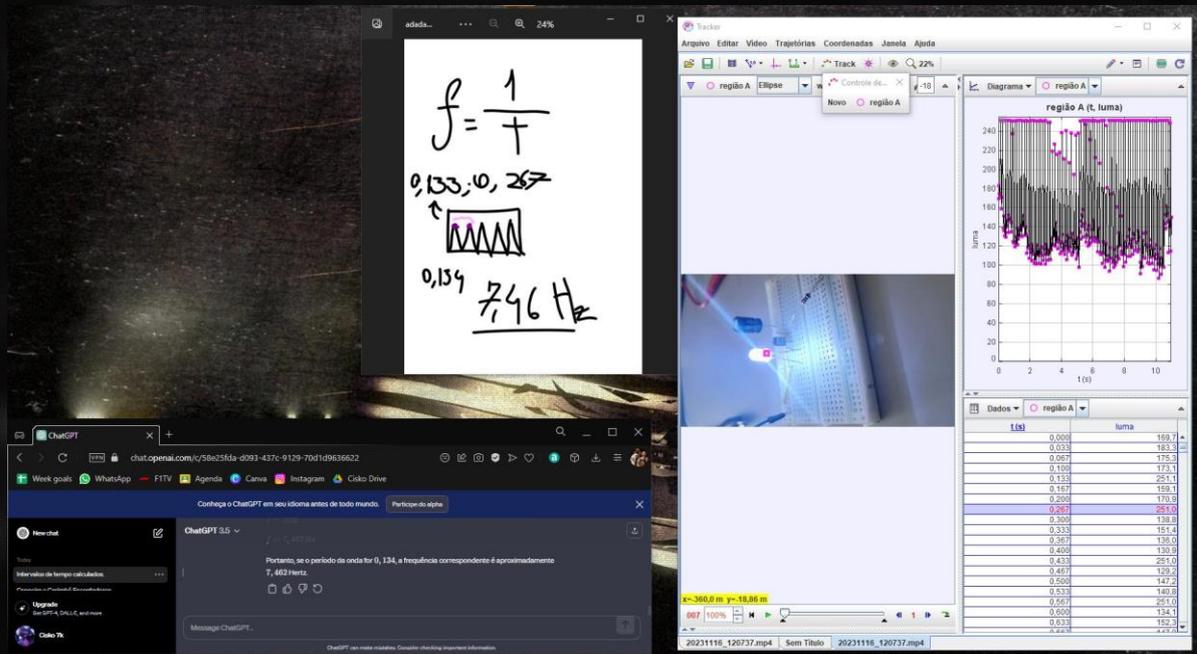
A culminância da SD se dá através de uma conversa e debate em sala de aula, sobre cada Momento e a percepção dos estudantes e grupos em relação às experiências e temas propostos, com foco: nas dificuldades encontradas por eles; no que mais chamou a atenção deles na realização da SD; se conseguiram entender a relação entre o circuito LED blinker com o comportamento e detecção de um pulsar; no manuseio do programa Tracker Online; interpretação dos dados com uso de inteligência artificial; no uso da simulação Pulsar 3D para compreender a estrutura e dinâmica dos pulsares; na importância de estudar as contribuições de Jocelyn Bell para a astronomia; nas questões de injustiça e sexismo sofrido por Jocelyn Bell; na experiência da SD como um todo, em especial como uma imersão em pulsares, circuitos eletrônicos e LEDs.

Figura 39 - Realização do Momento 5 em sala de aula. Análise dos vídeos capturados com o smartphone pelos estudantes através do software livre Tracker Online. Gráficos de tempo x brilho do LED, gerados pelos estudantes.



Fonte: Autoria própria.

Figura 40 - Captura de tela da área de trabalho de um estudante da 2ª série do Ensino Médio, realizando o passo a passo descrito na página 26.



Caro professor, a hora de embarcar nessa jornada científica chegou! A SD "Dos LEDs aos Pulsares" oferece uma experiência única que combina história, física e tecnologia de forma imersiva para seus estudantes. Com atividades práticas na Sala Maker (ambiente externo), debates inspiradores sobre a contribuição de Jocelyn Bell e o uso de ferramentas modernas como simulações 3D e inteligência artificial, seus estudantes serão protagonistas de novas descobertas e experiências.

O melhor dessa sequência didática é a sua flexibilidade e potencial interdisciplinar. Você pode adaptá-la tanto para o Ensino Fundamental quanto para o Ensino Médio, ajustando o nível de aprofundamento dos conceitos conforme as características das turmas. A possibilidade de integrar diferentes disciplinas e professores, desde Inglês até Artes, passando por História e Matemática, torna essa SD uma verdadeira ponte entre diferentes áreas do conhecimento.

Nossa dica é: comece planejando com antecedência! Teste o circuito LED blinker antes, familiarize-se com o Tracker Online e explore a simulação 3D dos pulsares. Considere fazer parcerias com outros professores - a discussão sobre Jocelyn Bell pode render ótimos debates nas aulas de História sobre o papel das mulheres na ciência. Para turmas do Ensino Fundamental, simplifique a análise de dados e foque nas atividades práticas. Já no Ensino Médio, aproveite para aprofundar os conceitos físicos e matemáticos. Lembre-se: cada turma é única e você é a pessoa mais indicada para adaptar essa SD à realidade dos seus estudantes.

Vamos juntos nessa aventura pelo Universo da Física, Astronomia e Astrofísica?

COMPREENDENDO OS PULSARES

DEFINIÇÃO, HISTÓRIA E DETECÇÃO DOS PULSARES

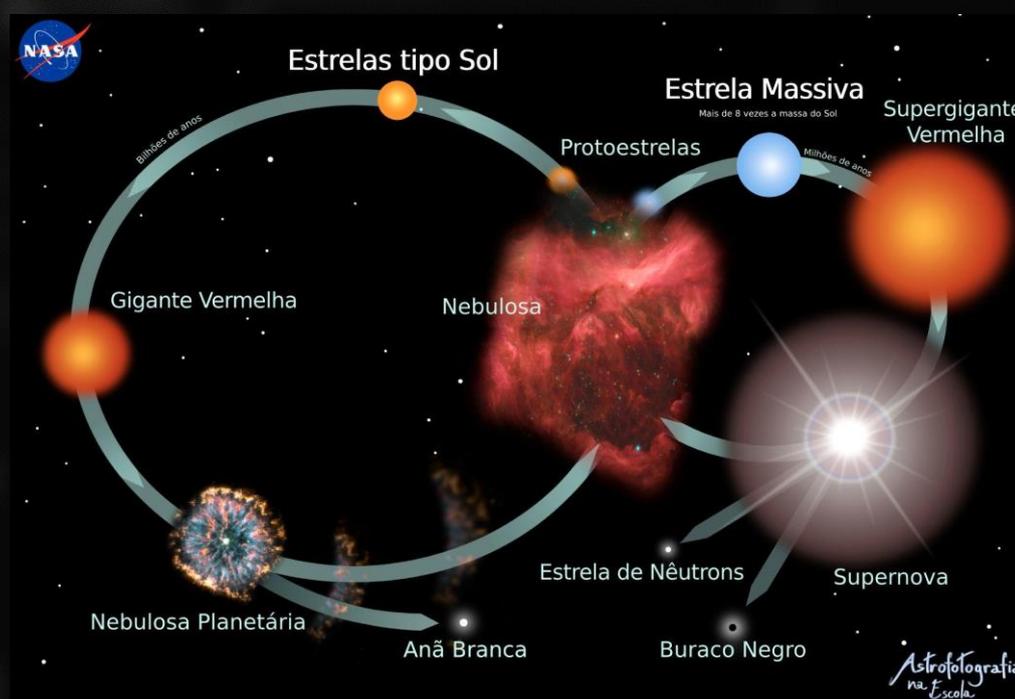
O que é um pulsar?

Imagine um farol cósmico girando no espaço - essa é uma boa analogia para um pulsar! São estrelas de nêutrons super compactas que giram rapidamente e emitem pulsos regulares de radiação. Para você ter uma ideia, elas têm apenas algumas dezenas de quilômetros de diâmetro, mas uma massa equivalente a 1,4 vezes a do nosso Sol! Impressionante, né?

Como nos explica Mourão em seu dicionário, um pulsar é uma "fonte de rádio estelar emissora de impulsos de duração média de 35 milésimos de segundo e que se repetem em intervalos extremamente regulares". O nome "pulsar" vem da expressão em inglês "Pulsa(ting) r(adio sources)", que significa fonte de rádio pulsante.

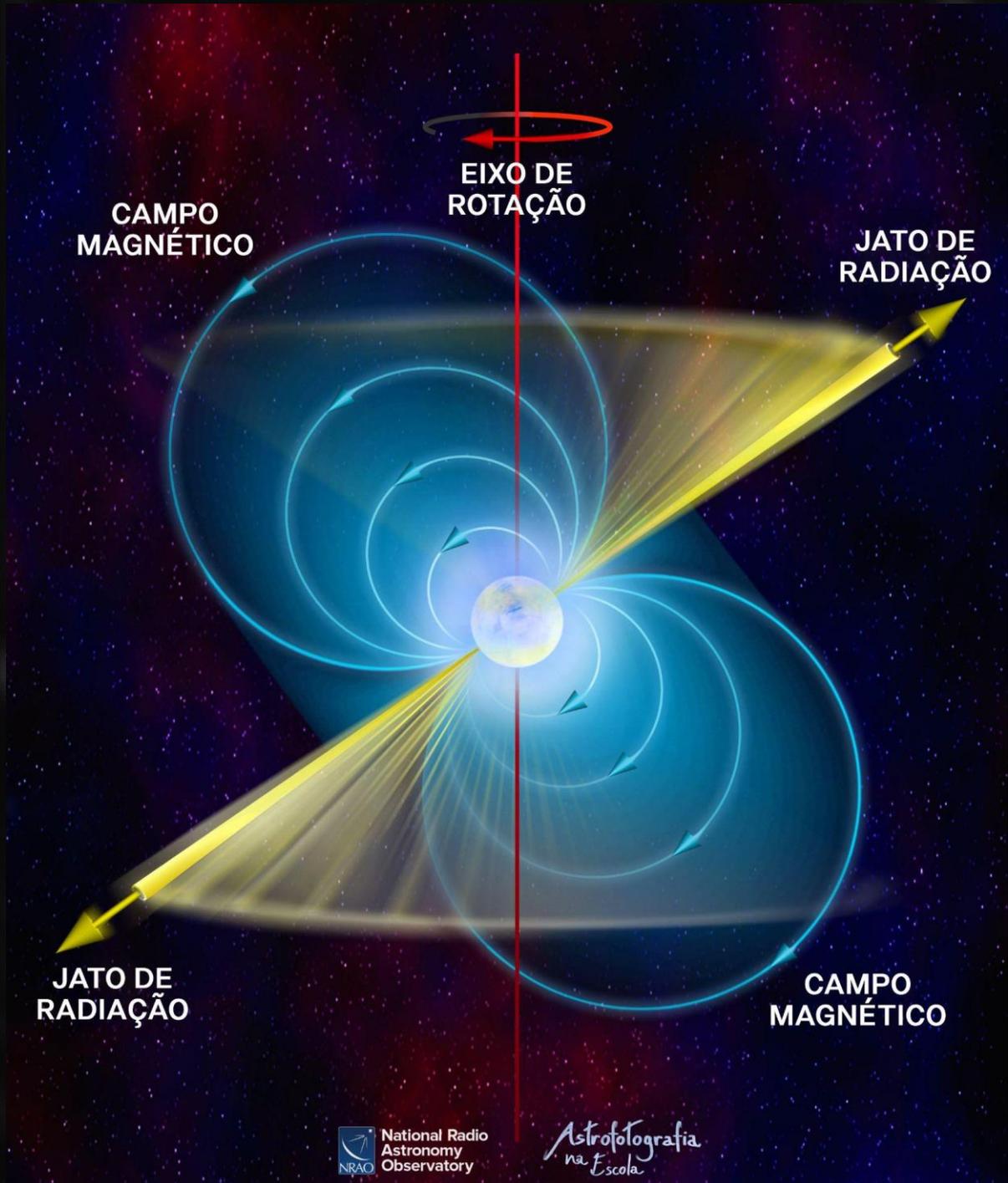
Vale ressaltar que os pulsares representam um dos possíveis estágios finais da vida de uma estrela massiva, junto com a explosão de supernova ou um buraco negro. É como se fosse o "capítulo final" da história de algumas estrelas muito grandes!

Figura 2 - Diagrama do ciclo de vida estelar de estrelas tipo Sol e massivas.



Crédito: NASA e Night Sky Network. Traduzido e adaptado por Lucas Ferreira (UnB/IF/MNPEF). Disponível em alta resolução em: <https://zenodo.org/doi/10.5281/zenodo.10086905>.

Figura 3 - Estrutura e características de um pulsar.



Fonte: B. Saxton, NRAO/AUI/NSF. Traduzido e adaptado por Lucas Ferreira (UnB/MNPEF).
disponível em alta resolução em: <https://cometsinthesky.github.io/pulsar-3D/images/pulsar.jpg>.

Um pouco de história

A descoberta dos pulsares tem uma história fascinante! Em 1967, Jocelyn Bell, uma estudante de pós-graduação em Cambridge, estava analisando dados de um radiotelescópio quando notou algo curioso: um sinal regular e intermitente que não se parecia com nada conhecido até então. Com muita dedicação e método científico, ela conseguiu provar que havia descoberto algo novo no universo - os pulsares!

O primeiro pulsar descoberto por ela recebeu o nome de CP 1919 (Cambridge Pulsar, 19h 19m de ascensão reta). Para fazer essa descoberta, Bell usou o radiotelescópio de baixa frequência da estação Lord's Bridge, que cobria uma área de dois hectares - era o maior telescópio operacional da época para comprimentos de onda longos.

A história de Jocelyn Bell é também um importante exemplo de perseverança na ciência. Mesmo enfrentando desafios em um ambiente acadêmico majoritariamente masculino na época, ela continuou fazendo contribuições valiosas para a astronomia e promovendo a igualdade de gênero na ciência ao longo de sua carreira.

Figura 4 - Jocelyn Bell em primeiro plano e o Radiotelescópio Mullard de Cambridge ao fundo.

Canto inferior esquerdo: Pulsar da Vela capturado pelo Telescópio Espacial Chandra. Canto superior esquerdo: Anotação original da descoberta do primeiro pulsar CP 1919, escrita à mão por Jocelyn em 1967.



Fonte: Daily Herald Archive/National Science; Media Museum/Science; Society Picture Library; NASA/CXC/Universidade de Toronto/M.Durant et al; Jocelyn Bell e A. Hewish.

Colagem e edição por Lucas Ferreira (UnB/MNPEF). Disponível em alta resolução no [site Pulsar 3D](#).

Grandes poderes, grandes responsabilidades

Quer alguns números para impressionar seus estudantes? Os campos magnéticos dos pulsares são cerca de 100 milhões a 1 quatrilhão de vezes mais intensos que o campo magnético da Terra! E o campo gravitacional? Cerca de 200 bilhões de vezes maior que o da Terra. São números que deixam qualquer um de queixo caído!

Os pulsares são tão precisos que seus períodos de pulso podem ser cronometrados com erros fracionários tão pequenos quanto 10^{-16} , algo em torno de 0,0000000000000001 s. Essa precisão incrível permite medições super sensíveis de vários fenômenos astronômicos, incluindo ondas gravitacionais!

Os pulsares também emitem jatos de partículas carregadas através de seus polos magnéticos em altíssimas velocidades. O Telescópio Espacial Chandra já conseguiu capturar imagens impressionantes desses jatos se estendendo por distâncias de até 1 ano-luz!

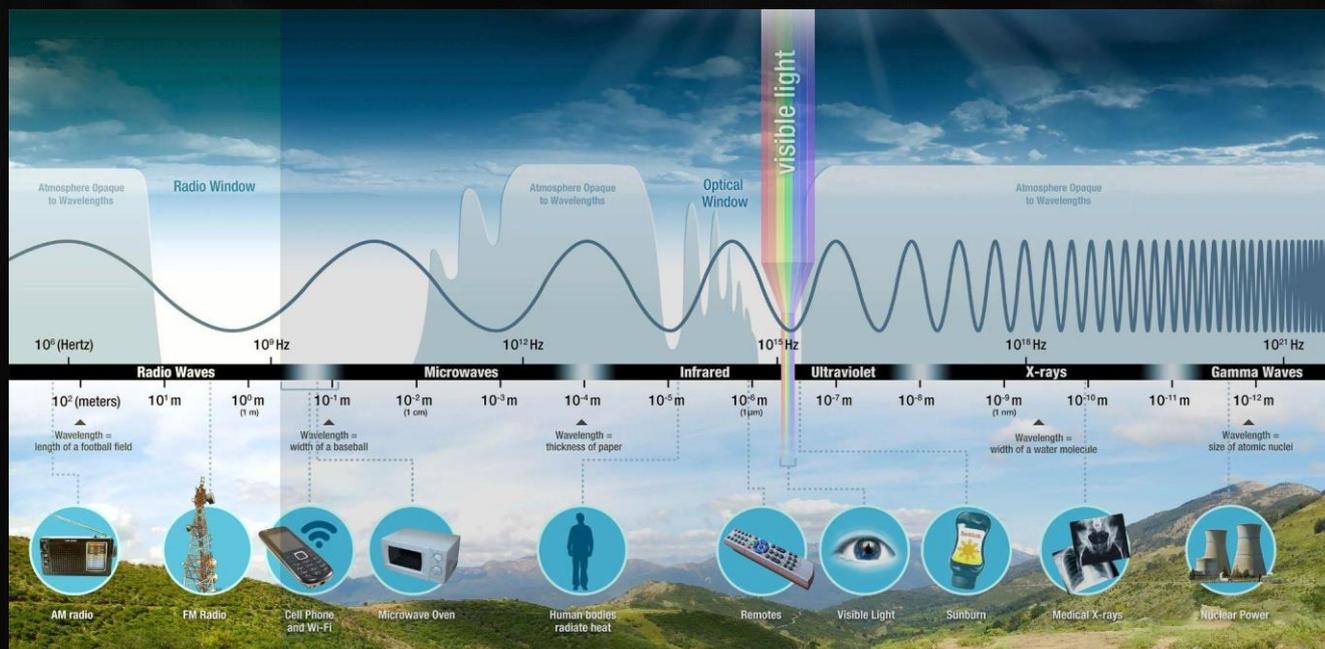
Como detectamos os pulsares?

Geralmente, detectamos pulsares através de ondas de rádio. Em nosso experimento, vamos usar um LED piscando em intervalos regulares para simular esse comportamento. É importante explicar aos estudantes que, embora estejamos usando luz visível no experimento, os pulsares reais emitem principalmente em ondas de rádio - são regiões diferentes do espectro eletromagnético, mas ambas são ondas eletromagnéticas.

À medida que a estrela de nêutrons gira, o feixe de radiação viaja em direção à Terra em intervalos regulares, criando os pulsos que podemos detectar. É exatamente como nosso experimento com LED vai demonstrar, só que em uma escala muito menor!

Vale lembrar que a cronometragem precisa desses pulsos permite aos astrônomos fazerem medições incrivelmente sensíveis, ajudando a entender desde a interação e campos gravitacionais até a existência de possíveis planetas orbitando pulsares.

Figura 5 - Espectro eletromagnético e suas aplicações no cotidiano. A área destacada, à esquerda, representa a região das ondas de rádio no espectro eletromagnético.



Fonte: NASA - Electromagnetic Spectrum Resources. Disponível em:
<https://science.nasa.gov/ems/>.

Alguns recursos educacionais

Temos algumas ferramentas legais para usar em sala:

- Um simulador interativo de ondas eletromagnéticas disponível em https://mully.net/en/electromagnetic_waves_en/;
- Um vídeo da NASA sobre ondas de rádio (com legendas em português disponíveis): [https://youtu.be/OzDmEA8x0nQ?si=MROO6U4CXAYwQBP8](https://youtu.be/OzDmEA8x0nQ?si=MROO6U4CXAYwQBP8;);
- Um curta sobre Jocelyn Bell e sua descoberta do primeiro pulsar: <https://youtu.be/NDW9zKqvPJI?si=ME6500m4ci737S2q>.

Você pode usar o simulador para mostrar diferentes regiões do espectro eletromagnético e suas aplicações no dia a dia. É uma ótima forma de contextualizar o assunto!

O vídeo da NASA sobre ondas de rádio pode ser uma excelente introdução ao tema. E o melhor: você pode ativar as legendas em português para facilitar a compreensão dos estudantes.

CURIOSIDADES SOBRE OS PULSARES

Como é formado um pulsar?

O processo de formação de um pulsar ocorre durante a explosão de uma supernova, que é o estágio final na vida de uma estrela massiva. Quando uma estrela massiva esgota seu combustível nuclear, ela sofre um colapso gravitacional, resultando em uma explosão violenta, ejetando suas camadas externas para o espaço e deixando para trás um núcleo extremamente denso, conhecido como estrela de nêutrons. Esse processo pode ser melhor visualizado na Figura 2.

A estrela de nêutrons resultante pode girar rapidamente devido à conservação do momento angular, concentrando seu campo magnético e emitindo radiação eletromagnética em feixes estreitos a partir de seus polos magnéticos, como mostrado nas Figuras 3 e 8. Esses feixes de radiação eletromagnética de rádio são detectados na Terra como pulsos periódicos através de radiotelescópios.

Composição e estrutura de um pulsar

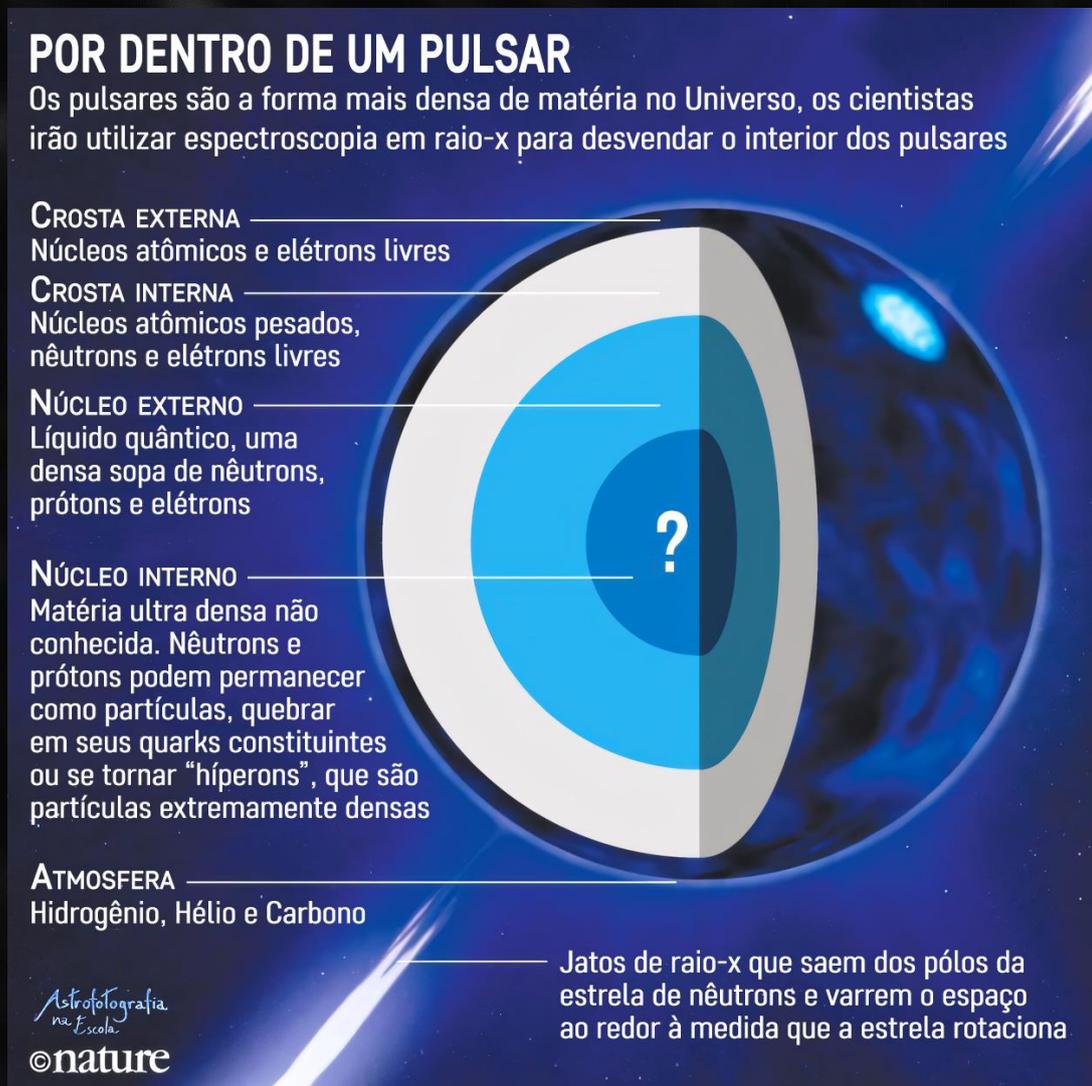
Dentro de um pulsar, a composição e o comportamento dos nêutrons são fundamentais para compreender como essa estrela funciona e emite radiação. A estrutura de um pulsar envolve várias camadas, cada uma com características específicas dos nêutrons e outras partículas subatômicas.

A crosta de um pulsar é composta principalmente por núcleos atômicos pesados e elétrons livres. Nos níveis mais profundos da crosta, a densidade é tão alta que os núcleos atômicos capturam elétrons, formando nêutrons. Esses nêutrons se acumulam, formando uma “sopa” densa de nêutrons intercalada com núcleos de nêutrons.

No núcleo externo do pulsar, a densidade é ainda maior, transformando os nêutrons em um estado de superfluidez (Figura 6). Nesse estado, os nêutrons se movem sem atrito, permitindo uma condução de energia extremamente eficiente. Além disso, os prótons, que compõem uma pequena fração do núcleo externo, também podem se tornar supercondutores, contribuindo para a manutenção do campo magnético intenso do pulsar.

No núcleo interno, a densidade é tão extrema que pode haver a formação de partículas exóticas como bósons ou quarks livres, compondo um possível plasma de quarks ou uma mistura de partículas subatômicas ainda não completamente compreendidas pela astrofísica e física de partículas.

Figura 6 - Por dentro de um pulsar. Disponível no site [Pulsar 3D](#).



Fonte: GIBNEY, 2017. Adaptado e traduzido por Lucas Ferreira (UnB/IF/MNPEF).

Os nêutrons estão em um estado degenerado, onde as partículas estão tão densamente compactadas que os princípios da mecânica quântica dominam seu comportamento. A pressão degenerativa dos nêutrons, uma forma de pressão quântica que surge devido ao princípio de exclusão de Pauli, que afirma que duas partículas idênticas de spin semi-inteiro não podem ocupar o mesmo estado quântico simultaneamente, equilibra a força gravitacional que tende a colapsar a estrela ainda mais.

Massa e densidade de um pulsar

A massa de um pulsar pode ser comparada à massa do Sol, onde a massa típica de um pulsar é de cerca de 1,4 massa solar (M_{\odot}), no entanto essa massa se encontra confinada em um volume muito menor, apenas dezenas de quilômetros, resultando em densidades muito altas.

Se a massa inicial de uma estrela for compreendida entre 10 e 25 M_{\odot} , após seu estágio como supergigante (Figura 2) ela explode, num processo conhecido como supernova. Nesse processo, há uma ejeção da maior parte da massa para o espaço e acaba seu ciclo como uma estrela de nêutrons, com massa de 1,4 M_{\odot} , temperatura de 1 milhão de Kelvin e um raio de aprox. 20 km.

Comparar a matéria de uma estrela de nêutrons com a do Monte Everest é uma maneira impressionante de ilustrar a densidade extrema das estrelas de nêutrons. Uma estrela de nêutrons é composta quase inteiramente por nêutrons compactados - esmagados gravitacionalmente - em um espaço muito pequeno, resultando em uma densidade que desafia a imaginação humana. Para colocar em perspectiva, uma colher de chá de material de uma estrela de nêutrons pesaria cerca de 6 bilhões de toneladas na Terra.

O Monte Everest, a montanha mais alta da Terra, com cerca de 8.848 metros de altura, é uma enorme massa de rocha, gelo e neve. No entanto, sua densidade média é relativamente baixa em comparação com a de uma estrela de nêutrons. A densidade média das rochas terrestres é de cerca de 2,0 a 2,7 gramas por centímetro cúbico (g/cm^3), enquanto a densidade de uma estrela de nêutrons é da ordem de 10^{17} a 10^{18} g/cm^3 . Isso significa que a matéria de uma estrela de nêutrons é absurdamente mais densa, em comparação com outros materiais encontrados no Universo, da ordem de 100 trilhões a 1 quatrilhão de vezes mais densa do que uma rocha típica encontrada na Terra.

Figura 7 - Comparação do tamanho de uma estrela de nêutrons em relação a uma cidade de 20 a 30 km de extensão.

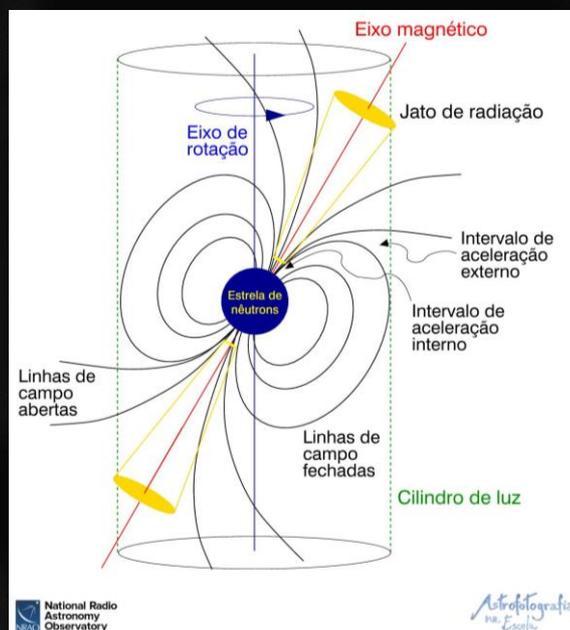


Fonte: [NASA Goddard Space Flight Center \(2020, apud Max Planck Gesellschaft, 2020\)](#). Adaptação e edição: Lucas Ferreira (UnB/IF/MNPEF).

Campo magnético de um pulsar

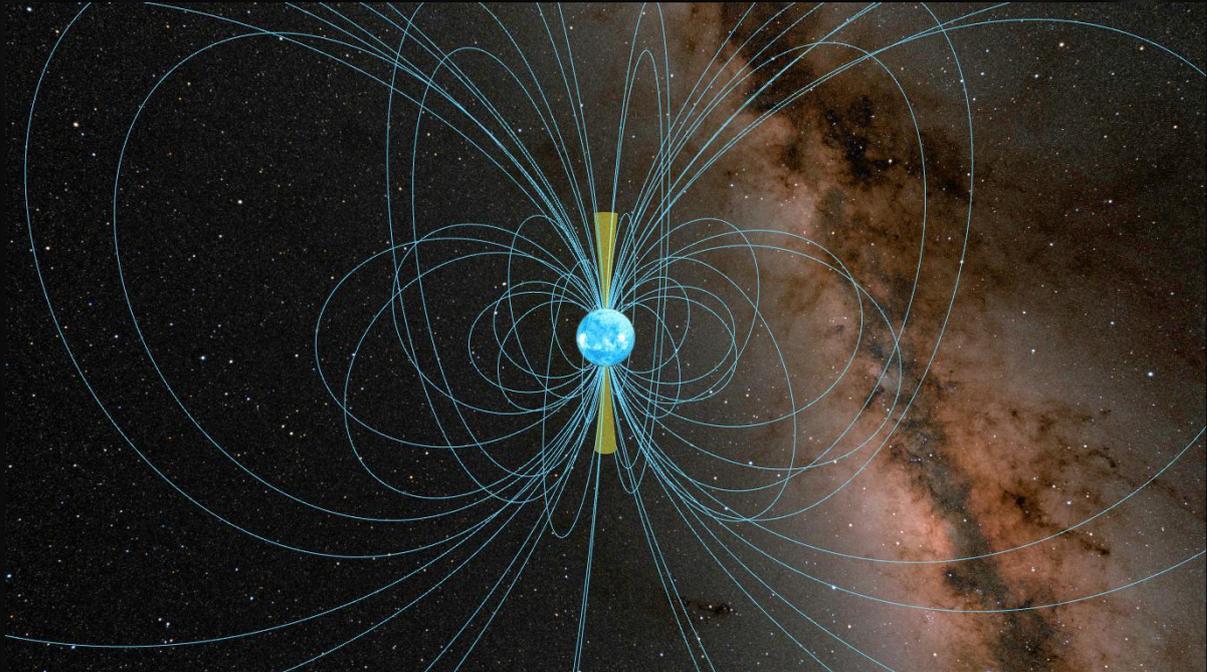
O campo magnético de um pulsar é uma característica fundamental que influencia significativamente seu comportamento e a emissão de radiação pelos seus polos magnéticos. Trata-se de um campo magnético extremamente intenso, variando tipicamente entre 10^8 e 10^{11} Teslas (T), o que é bilhões de vezes mais forte que o campo magnético da Terra.

Figura 8 - Representação em 2D do campo magnético de um pulsar.



Fonte: (CONDON; RANSOM, 2018, apud LORIMER; KRAMER, 2005). Adaptado e traduzido por Lucas Ferreira (UnB/IF/MNPEF).

Figura 9 - Representação em 3D do campo magnético de um pulsar.



Fonte: [Simulação Pulsar 3D](#), FERREIRA; ANDRADE, 2024.

Imagine um pulsar como um gigantesco pião cósmico. Assim como um pião tem energia porque está girando, o pulsar também tem energia rotacional. Quanto mais rápido ele gira, mais energia ele tem armazenada. Os cientistas podem calcular essa energia usando uma equação que considera duas coisas principais: o quanto de "massa" o pulsar tem distribuída (momento de inércia) e o quão rápido ele está girando (velocidade angular).

Mas os pulsares não mantêm toda essa energia para sempre. Eles vão perdendo energia ao longo do tempo, principalmente através da emissão de radiação eletromagnética - como se fosse um farol gigante no espaço. É interessante notar que essa perda de energia depende muito de duas características do pulsar: seu campo magnético e sua velocidade de rotação.

Quanto mais forte for o campo magnético do pulsar e quanto mais rápido ele estiver girando, mais rapidamente ele perde energia. É como se um pião muito potente perdesse seu impulso mais rapidamente que um pião comum. A matemática nos mostra que se dobrarmos a velocidade de rotação do pulsar, a perda de energia aumenta 16 vezes!

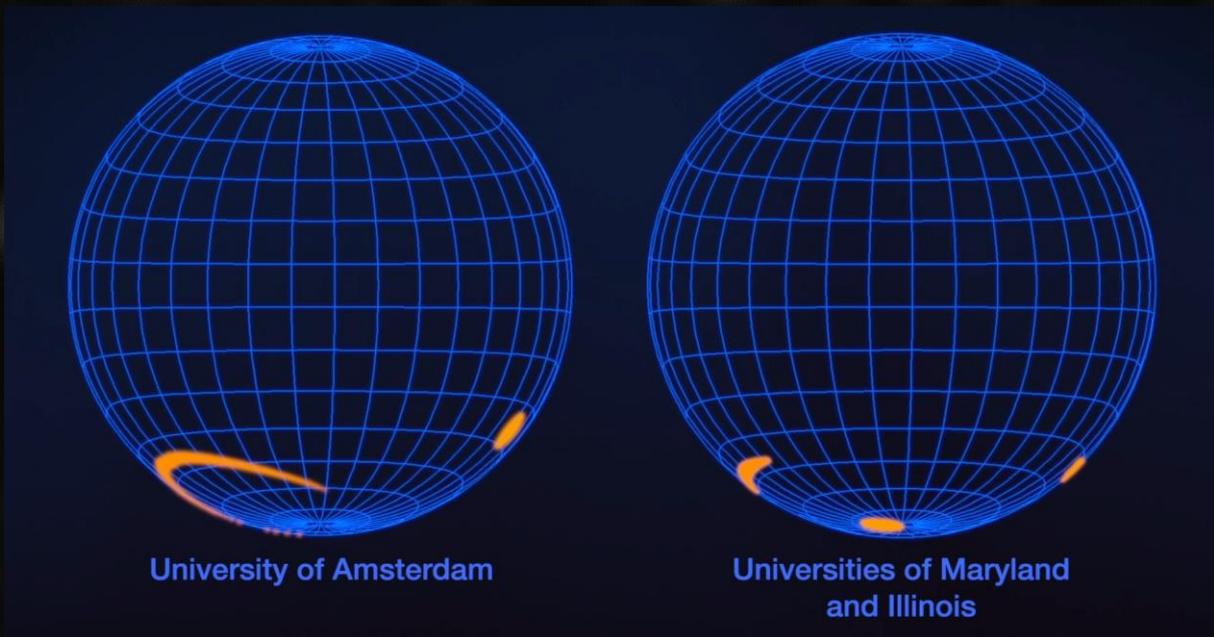
Apesar dessa perda constante de energia, os pulsares são objetos incrivelmente energéticos. A combinação de seus campos magnéticos intensos com sua rápida rotação faz com que eles emitam pulsos regulares de radiação, como um farol cósmico. Esses pulsos viajam através do espaço e podem ser detectados aqui na Terra usando radiotelescópios especiais, permitindo que os

astrônomos estudem esses fascinantes objetos celestes mesmo estando a enormes distâncias.

Para visualizar equações deduzidas sobre as características dos pulsares, visite o capítulo 6 do livro Essential Radio Astronomy.

Um vídeo criado pelo Goddard Space Flight Center da NASA, em 2018, intitulado “Simulações Criam Novas Perspectivas Sobre Pulsares”, contendo uma simulação de um pulsar, permite melhor visualizar e compreender as relações de poderosos campos magnéticos e elétricos ao redor de uma estrela de nêutrons, além dos comportamentos de elétrons e pósitrons em estado de alta energia.

Figura 10 - Representação dos hot spots observados pelo NICER na superfície do pulsar J0030+0451, mostrando a distribuição assimétrica e complexa das regiões de emissão no polo sul magnético da estrela de nêutrons.



Fonte: NASA, Scientific Visualization Studio, 2019.

Dica de ouro

Use a analogia do farol marítimo - assim como um farol na costa emite pulsos regulares de luz para orientar navios, os pulsares emitem pulsos regulares de radiação que nos ajudam a estudar o Universo. Essa comparação é bastante prática e de fácil compreensão pelos estudantes!

Agora que você já conhece melhor os "faróis cósmicos", está pronto para começar a aventura de apresentá-los aos seus estudantes. Na próxima seção, vamos ver como montar nosso experimento com LED para simular esses incríveis fenômenos astronômicos.

QUAIS FERRAMENTAS POSSO UTILIZAR?

A seguir, será mostrado o passo a passo para montar um circuito LED blinker, uma atividade prática e simples que simula o piscar dos pulsares no espaço, utilizando componentes básicos como LED e resistores; o uso do software gratuito Tracker Online para analisar vídeos e identificar padrões de "piscar" em pulsares simulados na escola; e uma simulação interativa em 3D que permite explorar o comportamento dos pulsares, ajustando variáveis como velocidade, inclinação, feixe de radiação, etc.

Na parte do Circuito LED blinker, vamos aprender a montar um circuito super simples e divertido que simula o piscar dos pulsares no espaço. Usando um LED, resistores e outros componentes básicos, os professores e estudantes aprenderão a criar um simulador analógico de um pulsar. É uma ótima maneira de trazer conceitos de eletrônica e astronomia para a sala de aula de forma prática, mostrando como cientistas detectam sinais de estrelas tão distantes.

Em seguida iremos explorar o programa Tracker Online, uma ferramenta gratuita e fácil de usar que ajuda a analisar vídeos. Professores e estudantes descobrirão como medir o "piscar" de pulsares simulados e criar gráficos para discutir padrões. Trata-se de uma atividade acessível e ideal para integrar tecnologia com o ensino de física, astronomia e astrofísica.

Na parte da simulação Pulsar 3D, os professores e estudantes vão interagir com uma simulação 3D de um pulsar, podendo ajustar variáveis como velocidade, inclinação, feixe de radiação, etc. É como explorar o espaço diretamente do smartphone, tablet ou computador! Essa atividade chama a atenção dos estudantes e ajuda eles visualizarem o que acontece no Universo, tornando conceitos complexos mais claros e interessantes.

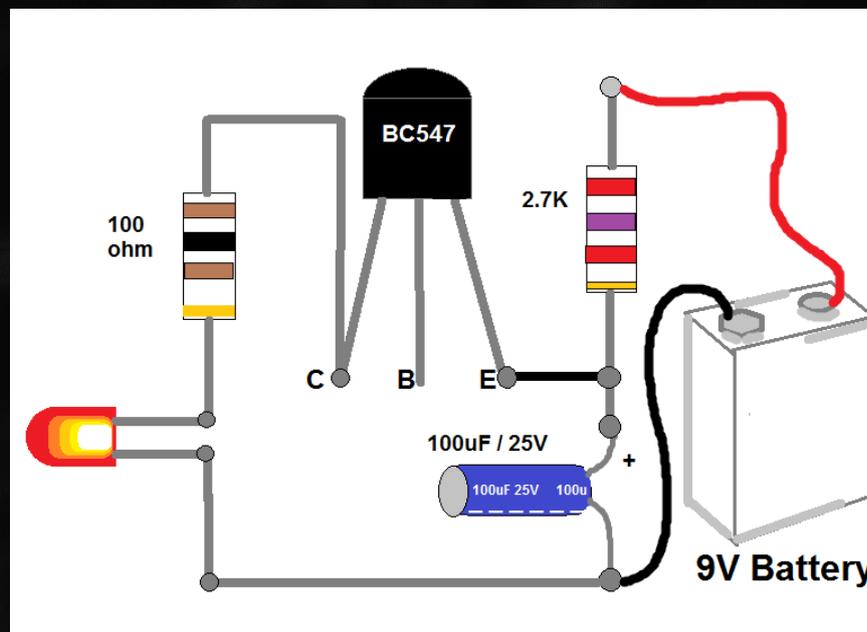
MONTANDO O CIRCUITO LED BLINKER

Um circuito blinker é um circuito eletrônico que faz com que um LED (Diodo Emissor de Luz) pisque intermitentemente, ou seja, liga e desliga de forma cíclica. Um circuito blinker típico pode ser construído usando componentes como transistores, capacitores e LEDs (Figuras 11 e 12). Esse circuito é comumente usado para criar indicadores de estado, luzes de sinalização intermitente e outros dispositivos que exigem uma saída visual intermitente.

funcionamento do Circuito LED blinker

O circuito blinker utiliza o transistor como uma chave eletrônica controlada pelo capacitor para alternar o LED entre os estados ligado e desligado, criando assim a intermitência. Esse processo pode ser explicado através de quatro estágios:

Figura 11 - Representação genérica de um circuito LED blinker.



Fonte: Homemade Circuit Projects

Estágio 1 - Acumulação de Carga no Capacitor

Inicialmente, o circuito está em repouso, com o capacitor descarregado. Quando a fonte de alimentação é ativada, o capacitor começa a acumular carga elétrica gradualmente em suas placas. A tensão no capacitor aumenta progressivamente à medida que ele é carregado, armazenando energia elétrica para que possa ser utilizada.

Estágio 2 - Ativação do Transistor

Quando a tensão acumulada no capacitor atinge um ponto que supera a resistência interna do transistor, ou limiar de acionamento do transistor, ocorre um evento crítico. Nesse momento, o transistor entra em um estado conhecido como "saturação" ou "avalanche", permitindo a passagem de corrente elétrica do pino emissor (E) para o pino coletor (C).

Estágio 3 - Descarga do Capacitor Através do LED

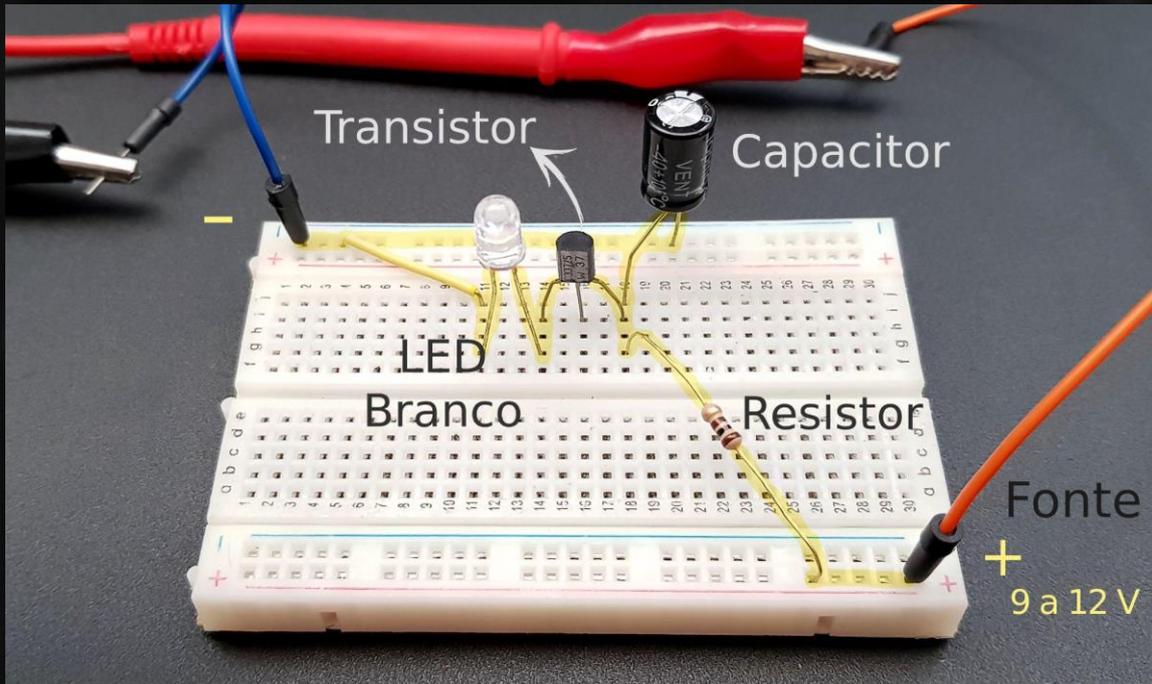
A entrada do transistor em estado de saturação é o gatilho para a descarga do capacitor. Isso faz com que a carga elétrica armazenada no capacitor seja liberada rapidamente. A corrente elétrica flui do capacitor até o LED, resultando na iluminação do LED.

Estágio 4 - Repetição do Ciclo

Após a descarga do capacitor, o processo recomeça. O capacitor inicia novamente o processo de carregamento, acumulando carga elétrica gradualmente. Assim que a tensão no capacitor atinge novamente o limiar de acionamento do transistor, o ciclo se repete, fazendo com que o LED pisque intermitentemente.

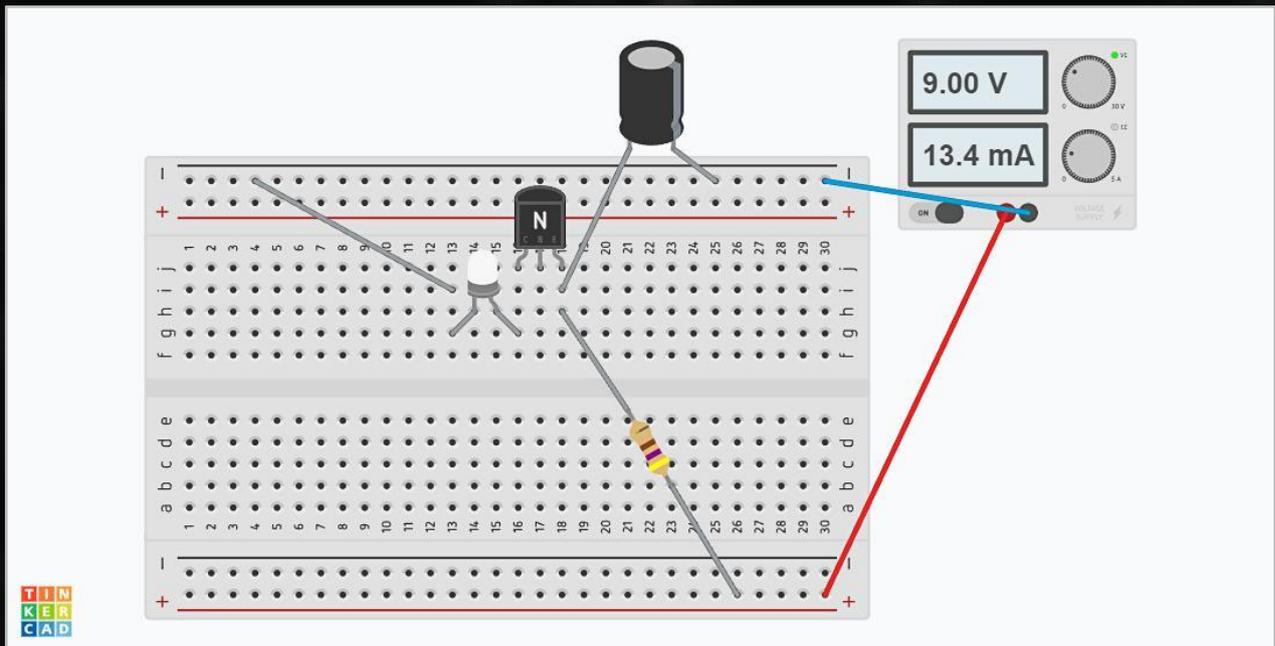
A taxa de cintilação do LED pode ser controlada ajustando-se os valores da resistência, do capacitor e da tensão de alimentação. Quando o capacitor se carrega e descarrega rapidamente, o LED piscará rapidamente, quando esse processo ocorre mais lentamente, o LED também piscará mais lentamente.

Figura 12 – Circuito LED blinker utilizado para o experimento. O realce amarelo representa o caminho percorrido pelos elétrons no circuito.



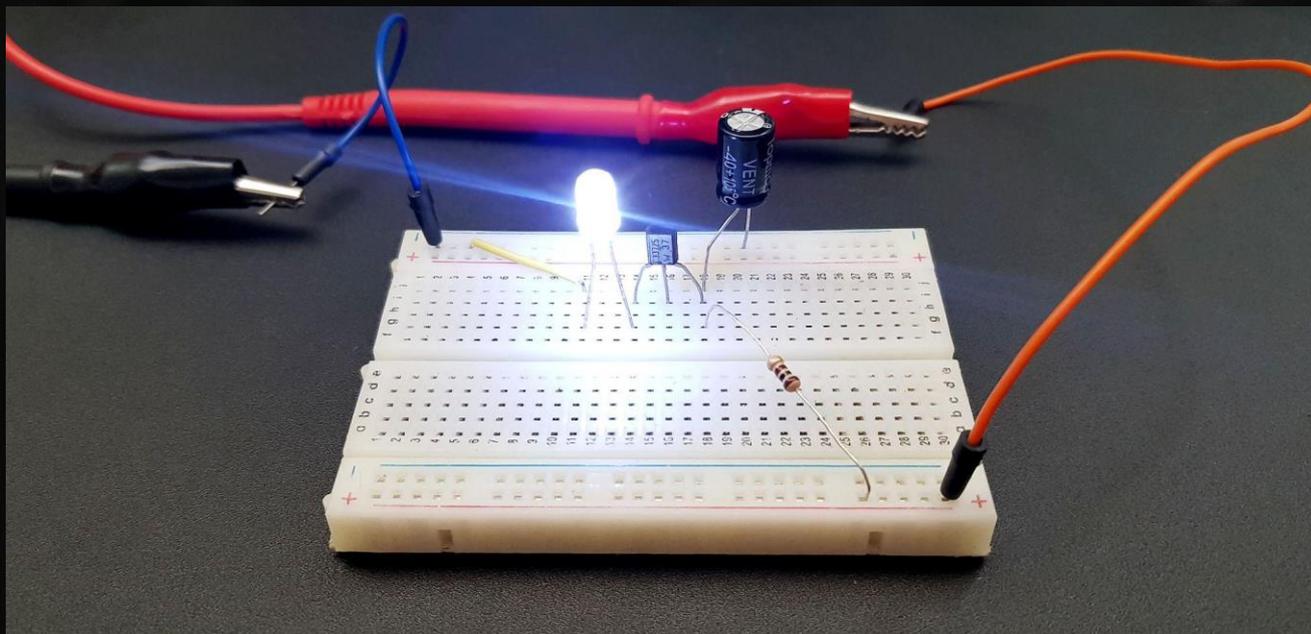
Fonte: Autoria própria

Figura 13 – Simulação do circuito LED blinker realizada na plataforma Tinkercad.



Fonte: Tinkercad/Captura de tela realizada pelo autor.

Figura 14 - Foto capturada no momento em que o capacitor descarrega e a corrente passa pelo transistor, acendendo o LED.



Fonte: Autoria própria

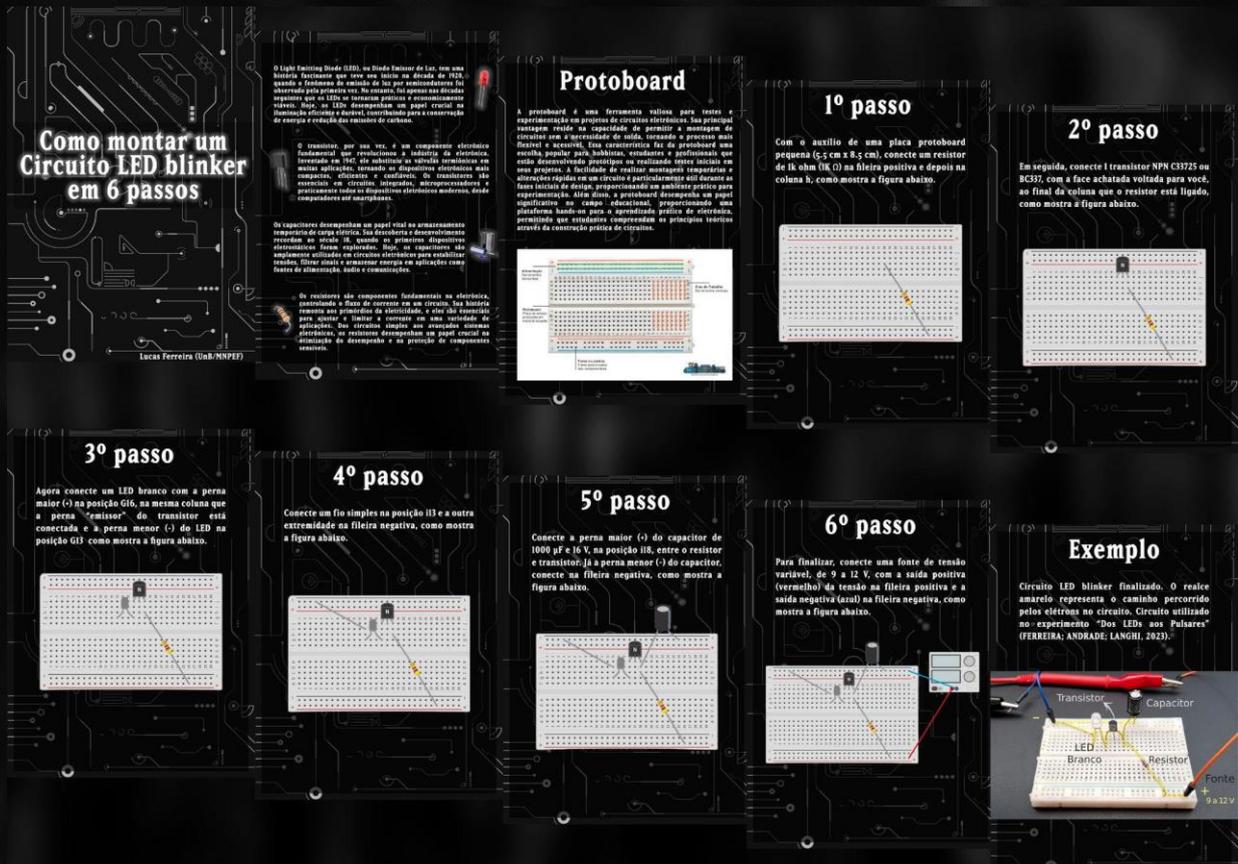
Ao utilizar uma fonte variável de 0 a 12 V, por exemplo, é possível controlar o intervalo de tempo do brilho do LED: em uma tensão de 9 V o LED pisca aproximadamente a cada 1 segundo, já em 12 V o LED pisca em frações de 1 segundo. É possível calcular o intervalo de tempo do brilho do LED, na casa dos milésimos de segundos de precisão, a partir da análise de vídeo no software livre Tracker, como mostram as Figuras 16, 17 e 21.

Lista de componentes para a montagem do circuito blinker:

- 1 Protoboard pequena
- 1 LED branco
- 1 transistor NPN C33725 ou BC337
- 1 Capacitor 1000 μ F 16 V
- 1 resistor 470 ohms
- 1 Fonte de 9 a 12 V
- Fio simples para conexão

Um guia rápido em PDF, ilustrado na Figura 15, contendo o passo a passo de como montar um circuito LED blinker, intitulado “Como montar um Circuito LED blinker em 6 passos” está disponível para ser baixado gratuitamente em <https://zenodo.org/doi/10.5281/zenodo.10594691>. Além das etapas de montagem do circuito, o guia rápido contém informações sobre os componentes eletrônicos utilizados no experimento e o funcionamento de uma placa protoboard.

Figura 15 - Guia rápido “Como montar um Circuito LED blinker em 6 passos”, disponível para ser baixado em PDF em <https://zenodo.org/doi/10.5281/zenodo.10594691>.



Fonte: Autoria própria

O vídeo original utilizado para processamento no software livre Tracker e um GIF do funcionamento do circuito blinker podem ser baixados em: <https://zenodo.org/doi/10.5281/zenodo.10086827>.

O circuito LED blinker também pode ser montado utilizando uma plataforma de prototipagem eletrônica de baixo custo, como a Arduino Uno, que pode ser facilmente encontrada em lojas online e também em lojas físicas. O processo de montagem do circuito LED blinker com o Arduino pode ser visualizado no Apêndice A.

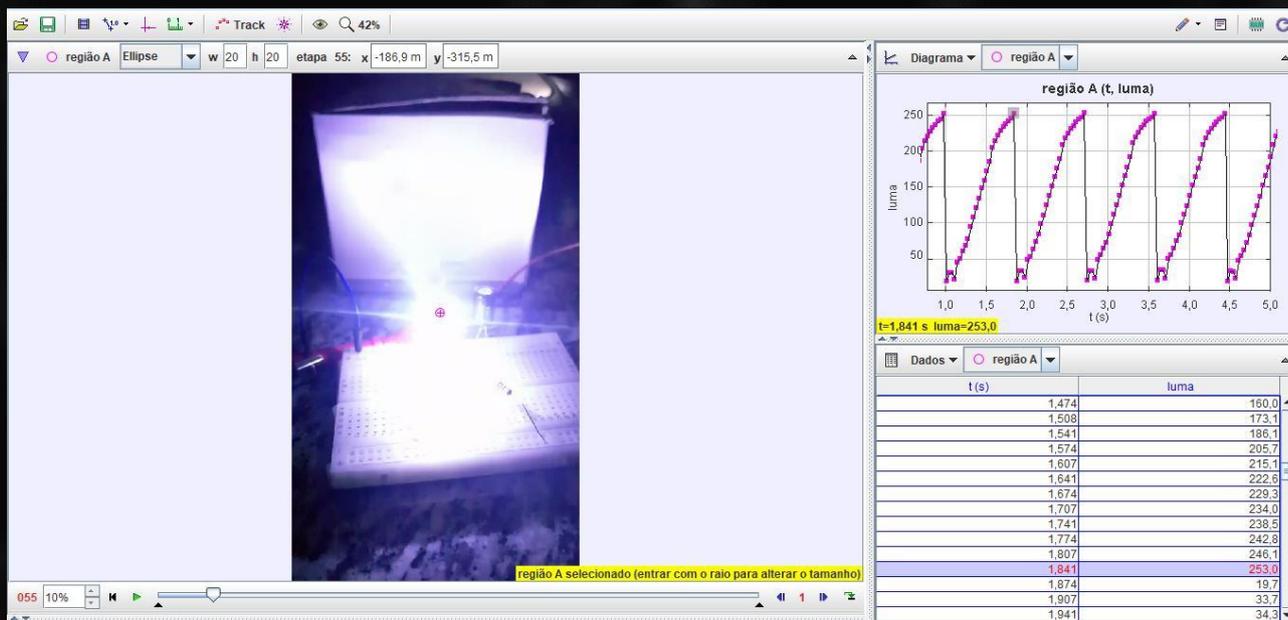
O SOFTWARE TRACKER ONLINE E ANÁLISE DE VÍDEO

O software livre Tracker é um software que foi projetado por Douglas Brown, professor da faculdade de Cabrillo College situada na cidade de Santa Cruz, Califórnia, EUA. Trata-se software aberto de análise de imagem e vídeo, criado em parceria com o Open Source Physics.

A partir do experimento circuito LED blinker proposto, é importante envolver os estudantes no processo, podendo o professor utilizar o guia rápido “Como montar um Circuito LED blinker em 6 passos” para montar o circuito em sala de aula, disponível para download em <https://zenodo.org/doi/10.5281/zenodo.10594691>.

Os estudantes podem utilizar o próprio smartphone para gravar os vídeos a serem processados no software livre Tracker, como gravar um vídeo do circuito LED blinker no próprio dispositivo. Tal possibilidade faz com que os estudantes possuam na galeria do smartphone os próprios vídeos a serem processados dentro do programa, caráter esse altamente acessível e compartilhável com a turma, por exemplo. Esse processo pode ser visualizado na Figura 38.

Figura 16 - Captura da tela inicial de processamento de vídeo do software livre Tracker.



Fonte: Tracker/Captura de tela realizada pelo autor

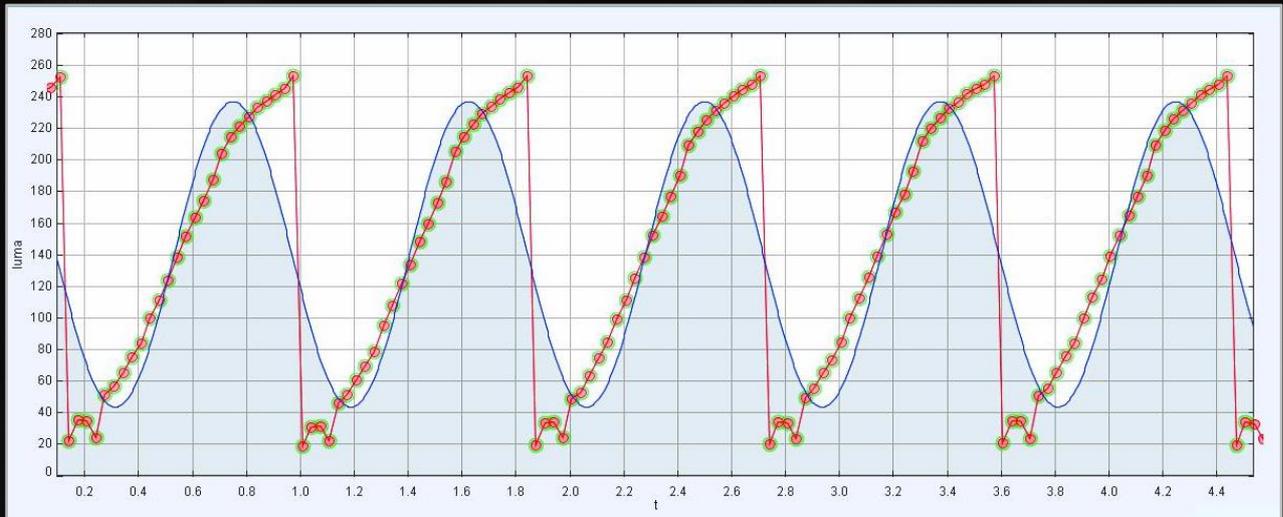
Um passo a passo do processamento de vídeo utilizando o software livre Tracker, bem como a análise dos dados com o auxílio do ChatGPT, pode ser descrito da seguinte forma:

1. No computador ou laptop, abra o site do Tracker Online <https://physlets.org/Tracker/TrackerJS/>;
2. Clique em "arquivo" e carregue o vídeo que você gravou do LED;
3. Dê play no vídeo e aguarde até o fim da visualização, após um tempo ele irá para a tela branca do programa;
4. Clique em "Track", depois "novo", em seguida selecione a opção "Região RGB";
5. Agora segure a tecla shift do teclado e clique com o mouse onde aparece o LED no seu vídeo. Um círculo rosa irá aparecer onde você clicou;
6. No canto inferior esquerdo, aperte o ícone verde "play". Logo em seguida o programa irá começar a fazer a análise do vídeo e gravar os dados. Deixe analisar por 5 segundos;
7. Na janela de dados, no canto inferior direito, clique no botão "Dados" e desmarque as opções "x" e "y";
8. Agora clique na coluna tempo "t (s)", no primeiro valor em 0 segundos. Aperte a seta para baixo do teclado para andar pelos valores da tabela;
9. Anote os valores de tempo e de luma (brilho), para quando o brilho do LED é máximo. Exemplo:

| t | luma | [para t em segundos e luma em RGB (brilho total)] |
|-------|--------|---|
| 0.128 | 253.6 | |
| 0.981 | 254.0 | |
| 1.834 | 254.0; | |
10. Depois de anotar os dados, abra o ChatGPT (se necessário crie uma conta) e peça para ele determinar o intervalo de tempo entre os valores mostrados;
11. Depois que o ChatGPT calcular o intervalo de tempo, peça para calcular a frequência em Hertz dos valores apresentados.

É possível mudar o tamanho da região de análise (região rosa sobreposta ao LED na Figura 16) no software livre Tracker, para isso basta modificar os valores em pixels de "w" e "h", que aparecem na barra superior da janela "Análise de dados por região". Dependendo do tamanho da região selecionada próxima ao LED, ex.: 500 w e 500 h, o gráfico gerado será levemente reajustado, apresentando um desenho diferente, porém com o mesmo comportamento da relação tempo x intensidade de brilho.

Figura 17 - Captura de tela da janela Ferramenta de Dados do software livre Tracker. Eixo X: representa o tempo em segundos. Eixo Y: representa o brilho do LED na unidade luma (de 0 a 255). Parte superior: momento em que o LED brilha com máxima intensidade. Senoide azul: ajuste de curvas (comando "fit") para uma função seno com base nos dados de tempo e brilho (t x luma).

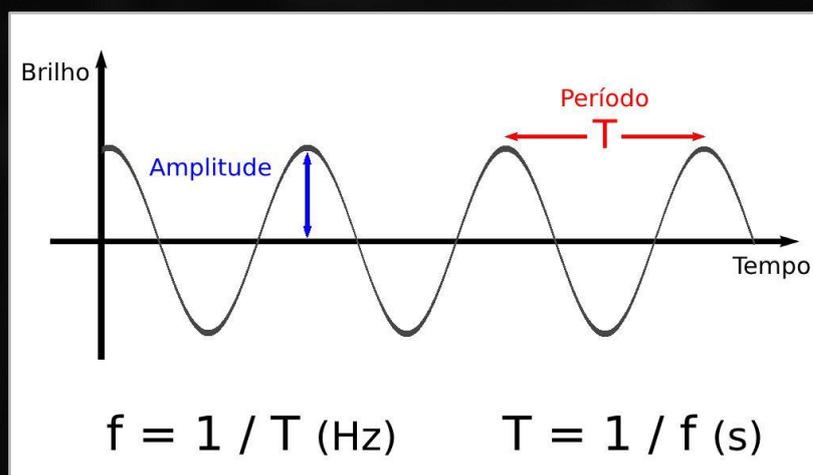


Fonte: Tracker/Captura de tela realizada pelo autor

Na Figura 17, é possível perceber uma equidistância entre os pontos do gráfico ao longo do eixo X, o que poderia ser comparado ao intervalo de pulsos de rádio, por exemplo. Esse comportamento pode ser visualizado também na Figura 18. Essas distâncias equivalentes, em relação ao eixo X, representam o intervalo de tempo entre cada pulso, ou brilho máximo do LED.

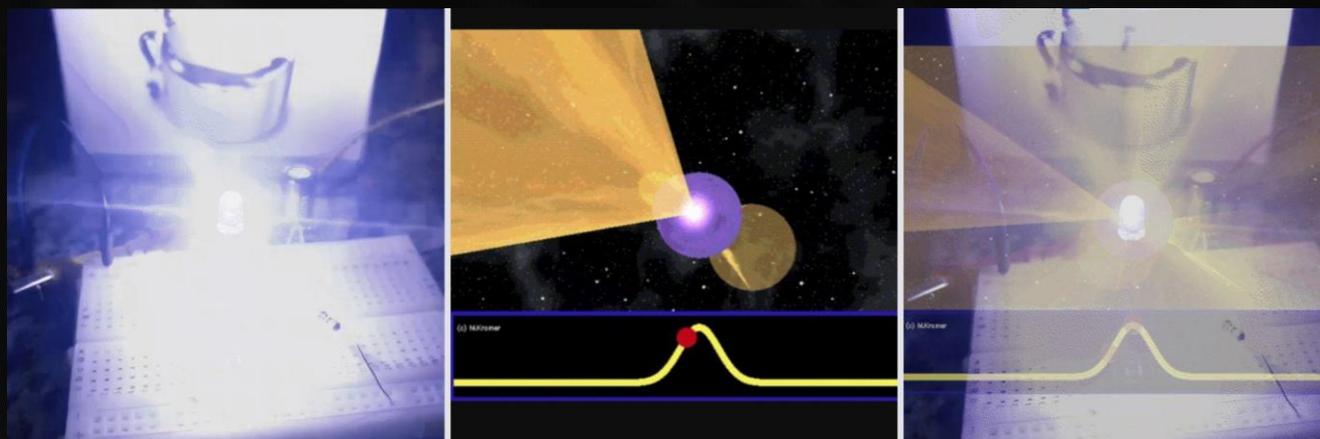
O vídeo do funcionamento do circuito blinker, que pode ser baixado e utilizado como exemplo no programa Tracker, e um GIF relacionando o brilho do LED com o comportamento de um pulsar, podem ser baixados em <https://zenodo.org/doi/10.5281/zenodo.10086827>.

Figura 18 - Propriedades básicas de uma onda; Fórmulas gerais de frequência e de período.



Fonte: Autoria própria

Figura 19 - Esquerda: Vídeo original do LED piscando. Centro: GIF da simulação da rotação de um Pulsar. Direita: Sobreposição sincronizada do brilho do LED com o da velocidade de rotação de um pulsar.



Fonte: [A Cosmic Lighthouse - Michael Kramer \(University of Manchester\)](#)/Autoria própria

Tabela 2 - Dados de tempo e brilho do LED apresentados na análise de vídeo no programa Tracker, num intervalo de tempo de aproximadamente 5 segundos. Foram selecionados apenas os valores de quando o brilho do LED é máximo (próximo de luma 255).

| Tempo (s) | Valor do brilho (RGB) |
|-----------|-----------------------|
| 0,975 | 253,1 |
| 1,841 | 253,0 |
| 2,707 | 253,4 |
| 3,573 | 253,1 |
| 4,439 | 253,1 |
| 5,305 | 253,2 |

Fonte: Autoria própria

Modelos de linguagem avançados, como o ChatGPT, podem ser empregados de maneira estratégica como ferramentas pedagógicas em ambientes de ensino. Esses recursos, quando integrados ao currículo, apresentam o potencial de enriquecer a experiência de aprendizado em sala de aula. A seguir serão apresentados exemplos de análise de dados através de inteligência artificial, inserindo comandos simples no prompt¹ do modelo de linguagem, com base nos dados apresentados na Tabela 2.

¹Prompt: Um prompt de modelo de linguagem é uma instrução ou uma série de instruções dadas a um modelo de linguagem para gerar uma resposta. Ele serve como um ponto de partida para o modelo de linguagem, orientando-o sobre o tipo de texto que deve ser produzido. Portanto, o prompt desempenha um papel crucial na determinação da saída (resultado gerado) do modelo de linguagem.

Figura 20 - Dados da Tabela 2 inseridos na área de comando do ChatGPT.

```
"t brilho
0,975 253,1
1,841 253,0
2,707 253,4
3,573 253,1
4,439 253,1
5,305 253,2"

Calcule e mostre o intervalo de tempo para cada brilho.
```

Fonte: ChatGPT. Captura de tela realizada pelo autor

Figura 21 - Resposta realizada pelo ChatGPT através do comando mostrado na Figura 17.

1. Entre o primeiro e o segundo par de valores:
Intervalo de tempo = $1,841 - 0,975 = 0,866$ segundos
2. Entre o segundo e o terceiro par de valores:
Intervalo de tempo = $2,707 - 1,841 = 0,866$ segundos
3. Entre o terceiro e o quarto par de valores:
Intervalo de tempo = $3,573 - 2,707 = 0,866$ segundos
4. Entre o quarto e o quinto par de valores:
Intervalo de tempo = $4,439 - 3,573 = 0,866$ segundos
5. Entre o quinto e o sexto par de valores:
Intervalo de tempo = $5,305 - 4,439 = 0,866$ segundos

Fonte: ChatGPT. Captura de tela realizada pelo autor.

Figura 22 - Resposta realizada pelo ChatGPT quando solicitado para calcular a frequência do brilho do LED.

A frequência é o inverso do intervalo de tempo. Para calcular a frequência, você pode usar a fórmula:

$$\text{Frequência} = 1 / \text{Intervalo de Tempo}$$

No caso, como já calculamos o intervalo de tempo, que é de 0,866 segundos, agora podemos calcular a frequência:

$$\text{Frequência} = 1 / 0,866 \text{ segundos} \approx 1,153 \text{ hertz}$$

Portanto, a frequência é aproximadamente 1,153 hertz (Hz). Isso significa que ocorre um evento (no caso, uma mudança de brilho) a cada 0,866 segundos, o que corresponde a uma frequência de cerca de 1,153 Hz.

Fonte: ChatGPT/Captura de tela realizada pelo autor

Para complementar o experimento e o uso do programa Tracker, é possível utilizar, também, um simulador de pulsares, elaborado pelo Nebraska Astronomy Applet Project (NAAP) da Universidade de Nebraska-Lincoln. Nesse simulador (Figura 52) é possível simular pulsares em movimento circular, onde é mostrado de forma visual o efeito de deslocamento para o vermelho da onda de rádio emitida (redshift) e também o deslocamento para o azul (blueshift), ambas relacionadas ao Efeito Doppler².

Portanto, o professor pode utilizar os recursos e técnicas citadas acima para envolver os estudantes numa investigação em sala de aula, desde a montagem do circuito, à captura de vídeos do LED piscando.

Em seguida, é possível utilizar o software livre Tracker para processar o vídeo gravado e adquirir dados do comportamento observado, para então, relacionar com o comportamento dos pulsares e sua detecção através da radioastronomia. É recomendado, também, utilizar uma ferramenta de linguagem baseada em inteligência artificial, como o ChatGPT, Copilot, Claude, Gemini, etc., para a realização de uma pesquisa estruturada e da interpretação dos dados coletados (Figuras 20, 21 e 22).

²Efeito Doppler: pode ser entendido como a alteração da frequência percebida pelo observador em virtude do movimento relativo de aproximação ou afastamento entre a fonte emissora e esse observador.

SIMULAÇÃO INTERATIVA PULSAR 3D

A simulação Pulsar 3D representa um avanço significativo no uso de tecnologias interativas para o Ensino de Astronomia e Astrofísica, especialmente para a demonstração de objetos astronômicos exóticos, como os pulsares. Desenvolvida como um recurso didático para ser utilizado em sala de aula, essa simulação permite a visualização e a exploração de diversas características e dinâmicas dos pulsares e das estrelas de nêutrons. A partir do uso dessa simulação é possível compreender os aspectos físicos e dinâmicos desses corpos celestes, sendo possível promover uma experiência imersiva tanto para os estudantes quanto para os educadores.

A simulação Pulsar 3D pode ser acessada em <https://cometsinthesky.github.io/pulsar-3D/>.

Durante a Global Hands-on Universe Conference 2024 (GHOU 2024), a simulação Pulsar 3D foi oficialmente lançada. A apresentação pode ser assistida na íntegra em https://www.facebook.com/watch/live/?ref=watch_permalink&v=1284263109605448&t=7150.

O simulador Pulsar 3D foi registrado junto ao Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI), em 1º de outubro de 2024, sob o processo de número BR512024003499-4, com o apoio do Centro de Desenvolvimento Tecnológico (CDT) da Universidade de Brasília (UnB) e do Núcleo de Propriedade Intelectual (Nupitec).

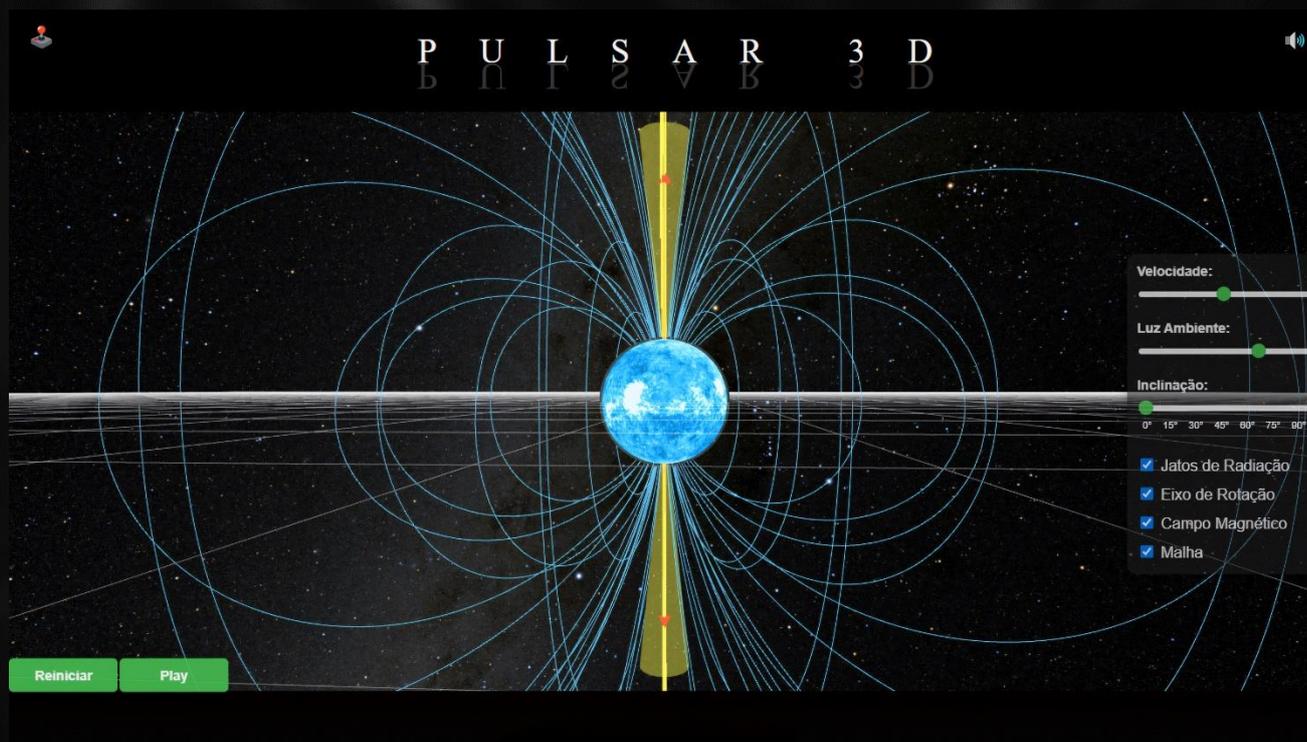
A interface do Pulsar 3D apresenta recursos sofisticados de renderização tridimensional, utilizando a biblioteca Three.js - a mesma utilizada pela NASA no [Eyes on the Solar System](#) - para criação de objetos em 3D, controle de câmera e imersão visual. A inclusão de um fundo estelar realista, baseado em fotografias reais e mapas estelares astrométricos e astrofotométricos da NASA, como os catálogos Hipparcos-2, Tycho-2 e Gaia Data Release 2, reforça o caráter autêntico da simulação. Esses mapas mostram a posição, o brilho e a cor de 1,7 bilhão de estrelas, o que acaba criando um ambiente virtual imersivo e interativo, em 3 dimensões, que facilita a contextualização científica e a didática em Astronomia e Astrofísica.

A utilização de um fundo composto por estrelas reais na simulação Pulsar 3D foi uma escolha estratégica para ampliar a imersão e o realismo científico do ambiente virtual. Esse cuidado com a fidelidade astronômica permite que os usuários não apenas explorem os pulsares em um espaço tridimensional imersivo, mas também consigam visualizá-los dentro de um ambiente próximo do real.

Essa abordagem favorece uma experiência didática mais realista e conectada à realidade tecnológica atual.

A página do GitHub da simulação, onde está alocado o código-fonte, imagens, informações e toda a documentação relacionada à Simulação Pulsar 3D pode ser acessada em <https://github.com/cometsinthesky/pulsar-3D>.

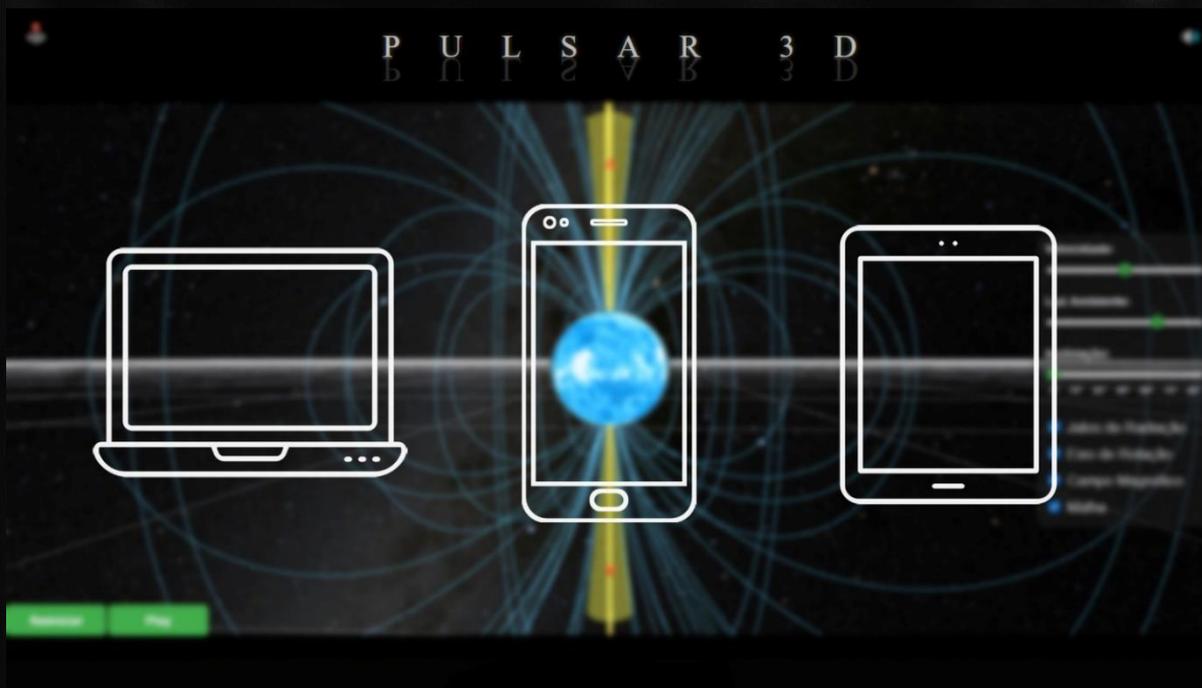
Figura 23 - Tela do simulador Pulsar 3D, com o menu interativo no canto direito, botões de play, pausa e reiniciar no canto inferior esquerdo. No canto superior esquerdo está o botão de controles e no canto superior direito está o botão de ligar e desligar o som.



Fonte: [GitHub Pages: cometsinthesky/Lucas Ferreira \(UnB/IF/MNPEF\)](https://github.com/cometsinthesky/pulsar-3D).

Além do fator estético a simulação oferece controles interativos (chamados na programação de sliders), que permitem ao usuário ajustar diversos parâmetros, como a velocidade de rotação do pulsar, a inclinação do eixo de rotação, a visualização dos feixes de radiação emitidos pelo pulsar, as linhas de campo magnético, a luz ambiente, etc. Esses recursos não apenas enriquecem a experiência, mas também possibilitam a criação de cenários customizáveis que ilustram diferentes fenômenos relacionados aos pulsares. A funcionalidade de grade 3D e de visualização do eixo de rotação, facilita a compreensão da escala e das propriedades do pulsar.

Figura 24 - Dispositivos e responsividade do simulador Pulsar 3D, podendo ser acessada através de computadores, smartphones e tablets.



Fonte: [GitHub Pages: cometsinthesky/Lucas Ferreira \(UnB/IF/MNPEF\)](https://github.com/cometsinthesky/Lucas-Ferreira).

A implementação do Pulsar 3D reflete uma abordagem inovadora no ensino de física e de ciências, pois busca integrar aspectos de interatividade, conectividade e uso de tecnologias em sala de aula, como simulações interativas, que atendem às demandas e realidades da educação atual. A simulação não apenas facilita a compreensão de conceitos avançados de Astrofísica, como também incentiva o desenvolvimento de habilidades críticas, como o raciocínio espacial e a análise de fenômenos complexos. Ao possibilitar o aprendizado ativo e exploratório, a ferramenta contribui de forma significativa para a promoção da alfabetização científica e para o engajamento dos estudantes em temas relevantes para a compreensão de conceitos em Astronomia, Astrofísica, Universo, etc.

Essa simulação destaca o potencial das tecnologias digitais em transformar o ensino de física e de ciências, i. e. oferecendo recursos que vão além das limitações dos métodos e aulas tradicionais. Ao incorporar imagens descritivas e explicações detalhadas, o Pulsar 3D não é apenas uma ferramenta interativa, é também um recurso didático para que professores possam utilizar em projetos multi e interdisciplinares e atividades em sala de aula. A simulação Pulsar 3D exemplifica como a integração entre tecnologia, design visual, uso de imagens, simulação 3D e métodos de ensino podem criar experiências de aprendizado significativas, conectando e trazendo os estudantes para o universo dos pulsares de maneira prática, acessível e relevante.

Um plano de aula detalhado em como utilizar o Pulsar 3D em sala de aula e em projetos pode ser acessado em <https://zenodo.org/records/13824696>.

Figura 25 - Plano de aula e atividades a partir do uso da simulação Pulsar 3D.

Pulsar 3D Simulation Lesson Plan (Class Activity)

FERREIRA, LUCAS (Researcher)¹; ANDRADE, VANESSA CARVALHO DE (Supervisor)¹

Description: This educational resource provides a comprehensive lesson plan for exploring the properties and behavior of pulsars using an interactive 3D simulation, both in English and Portuguese. Aimed at middle school, high school, and undergraduate students, the lesson offers a hands-on learning experience to understand how pulsars emit radiation, the role of their magnetic fields, and the effects of their rotation. The lesson is designed to last 50 minutes and includes engaging activities such as class discussions, a guided exploration of the Pulsar 3D simulation, and scenario-based learning.

Students will have the opportunity to visualize these complex concepts through an interactive 3D simulation accessible via computers, tablets, or smartphones. A set of evaluation questions and discussion prompts is also provided to assess student understanding and encourage deeper reflection on Pulsars.

Pulsar 3D Simulation: <https://cometsinthesky.github.io/pulsar-3D/>

Pulsar 3D Github page: <https://github.com/cometsinthesky/pulsar-3D>

Keywords: Pulsars; Neutron Stars; Pulsar 3D Simulation; 3D Simulation; Astronomy Education; Magnetic Fields; Pulsar Emissions; Science Education; Science Outreach; Interactive Learning.

Citation: FERREIRA, L.; ANDRADE, V. C. Pulsar 3D Simulation Lesson Plan (Class Activity). Zenodo, 2024. In: <https://zenodo.org/records/13824696>

Files

Plano de aula simulação Pulsar 3D (PT-BR).pdf

Plano de aula simulação Pulsar 3D
Lucas Ferreira (UnB/IF/MNPEF); Prof.ª Dr.ª Vanessa Andrade (UnB/IF/MNPEF)

Tópico da aula: Explorando as características e o comportamento dos Pulsares através de uma simulação interativa em 3D.

Etapas: Ensino Fundamental II, Ensino Médio e Ensino Superior

Objetivo: Os estudantes explorarão as propriedades dos pulsares interagindo com uma simulação 3D. Eles aprenderão como os pulsares emitem radiação, entenderão seus campos magnéticos e observarão como sua rotação afeta esses fenômenos.

Statistics: 41 VIEWS, 33 DOWNLOADS

Versions: Version v1 (10.5281/zenodo.13824696) - Sep 22, 2024

External resources: Indexed in OpenAIRE

Details: DOI: 10.5281/zenodo.13824696; Resource type: Lesson; Publisher: Zenodo; Conference: Global Hands-On Universe Conference 2024 (G-HOU) | Online, 24-27 September, 2024; Languages: English, Portuguese

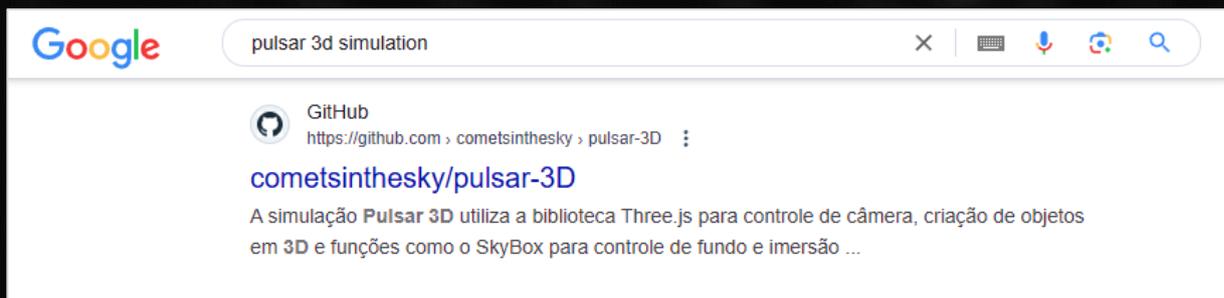
Fonte: [Zenodo](https://zenodo.org/records/13824696)/Lucas Ferreira (UnB/IF/MNPEF) e Vanessa C. Andrade (UnB/IF/MNPEF).

Através do plano de aula é possível explorar as propriedades e o comportamento dos pulsares, de forma direcionada e utilizando a simulação Pulsar 3D em sala de aula. O plano de aula está disponível em português e em inglês. Destinada a estudantes do ensino fundamental II, ensino médio e graduação, o plano de aula proporciona uma experiência prática de aprendizado para compreender como os pulsares emitem radiação, o papel de seus campos magnéticos e os efeitos de sua rotação. Com duração de 50 minutos, o plano de aula inclui atividades hands-on, uso de recursos digitais para o ensino de física, astronomia e ciências, bem como discussões em sala, uma exploração guiada da simulação 3D do Pulsar e aprendizagem baseada em cenários. Os estudantes terão a oportunidade de visualizar esses conceitos complexos por meio de uma simulação 3D interativa, acessível em computadores, tablets ou smartphones. Um conjunto de perguntas avaliativas e sugestões de discussão também está disponível para verificar a compreensão dos estudantes e incentivar uma reflexão mais aprofundada sobre os pulsares, a descoberta realizada por Jocelyn Bell e os impactos da descoberta dos pulsares na Astronomia e na Ciência.

UTILIZANDO A SIMULAÇÃO PULSAR 3D

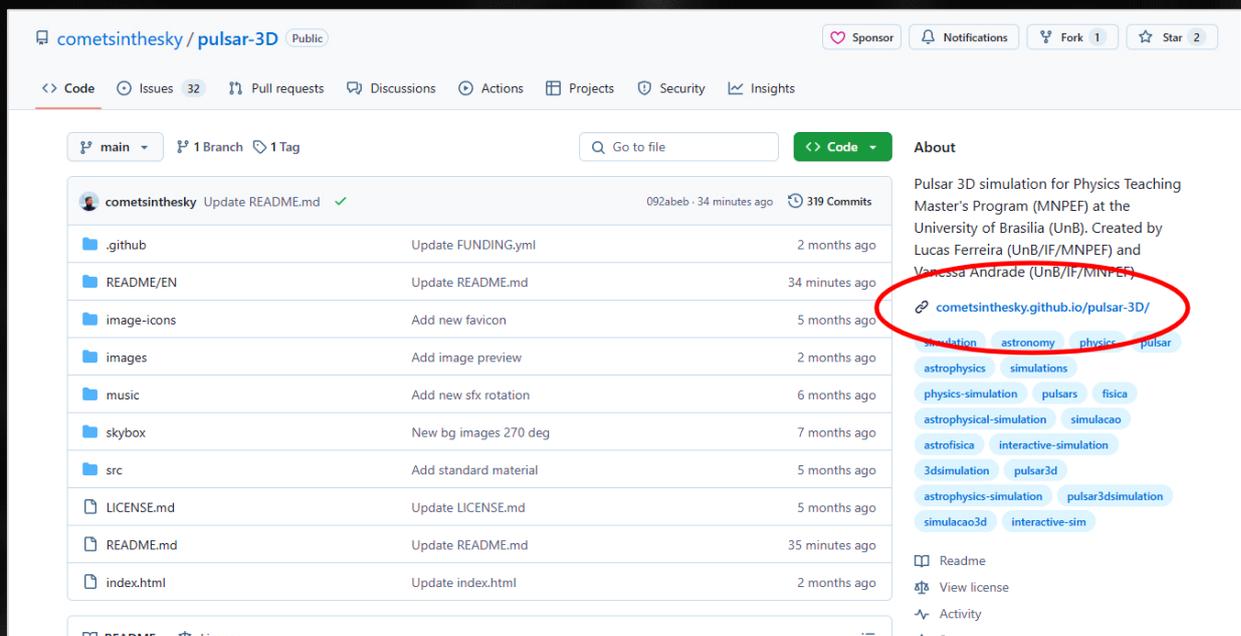
O professor pode utilizar o passo a passo a seguir, para realizar uma explicação detalhada da simulação Pulsar 3D em sala de aula, das características dos pulsares e também dos materiais e recursos disponíveis no site Pulsar 3D. Os estudantes poderão pesquisar na Internet com o smartphone ou tablet o termo “Pulsar 3D simulation”, um link do GitHub será um dos primeiros nos resultados da busca.

Figura 26 - Resultado de busca do termo “pulsar 3d simulation”. Página do repositório da simulação Pulsar 3D no GitHub.



Fonte: Autoria própria.

Figura 27 - Página do repositório da Simulação Pulsar 3D no GitHub.



Fonte: Autoria própria.

Os estudantes podem acessar a simulação Pulsar 3D clicando no link à direita na página do repositório da simulação Pulsar 3D no GitHub, como mostrado na Figura 27. Os estudantes também podem acessar a simulação Pulsar 3D através do QR Code mostrado abaixo. O professor pode salvar ou mostrar o QR Code para os estudantes, para que possam escanear através de seus dispositivos.

Figura 28 - QR Code da Simulação Pulsar 3D.



Fonte: Autoria própria.

Ao acessar o link da Simulação Pulsar 3D, os estudantes serão direcionados para uma página inicial, onde deverão apertar o botão “Entrar na Simulação”. Após pressionar o botão, a simulação Pulsar 3D é carregada.

Os botões Reiniciar e Play/Pausa, controlam a dinâmica da simulação. O botão Play/Pausa, pausa e continua a simulação. Já o botão Reiniciar, retorna a simulação para o estado e cena inicial.

Figura 29 - Botões Reiniciar e Play/Pausa da Simulação Pulsar 3D.



Fonte: Autoria própria.

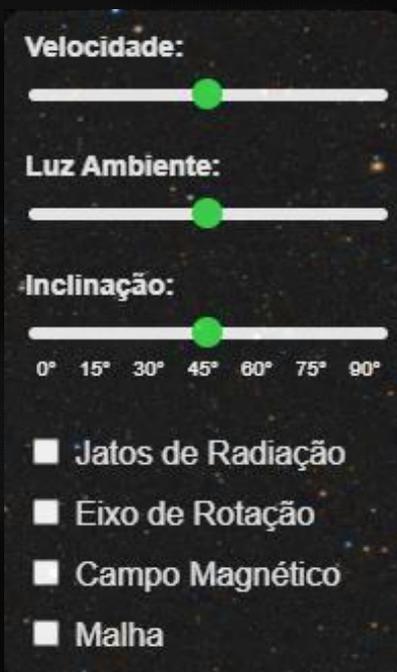
Na tela, é apresentado também um menu com sliders, que controlam as características da Simulação Pulsar 3D. Através desse menu os estudantes podem configurar diversas situações e visualizações para o Pulsar 3D, esses sliders alteram as características da simulação em tempo real. A descrição das funções dos itens desse menu pode ser visualizada no Quadro 1.

Quadro 1: Temas das apresentações dos grupos do 8º e 9º ano.

| Botão | Função |
|-------------------|--|
| Velocidade | Controla a velocidade da simulação/rotação do pulsar |
| Luz Ambiente | Controla a intensidade do brilho dos objetos da cena e das imagens de fundo |
| Inclinação | Controla a inclinação do pulsar de 15 em 15 graus |
| Jatos de Radiação | Ativa as partículas que saem dos polos do pulsar |
| Eixo de Rotação | Ativa o vetor que representa o eixo de rotação do pulsar |
| Campo Magnético | Ativa as linhas de campo magnético do pulsar |
| Malha | Ativa uma malha quadriculada para melhor visualização da inclinação e do comportamento do pulsar |

Fonte: Autoria própria.

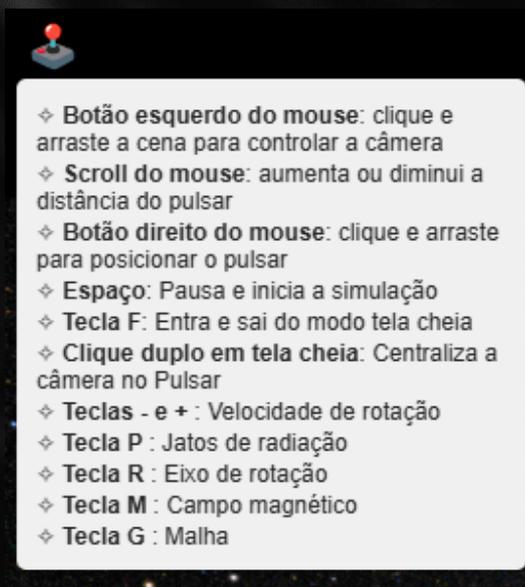
Figura 30 - Menu com sliders e caixas de seleção da Simulação Pulsar 3D.



Fonte: Autoria própria.

No canto superior esquerdo da tela é apresentado um botão no formato de Joystick, representando os botões e teclas possíveis de serem pressionadas e utilizadas durante a simulação. No computador, os comandos mostrados na Figura 31 representam as teclas de atalho a partir do teclado do computador. Esses atalhos auxiliam o professor para a realização de uma demonstração e experiência mais dinâmica e fluida da Simulação Pulsar 3D.

Figura 31 - Ao clicar no botão “Controles”, no canto superior esquerdo da tela, é mostrado as teclas de atalho e as funções da simulação atribuídas a cada tecla.



Fonte: Autoria própria.

O professor pode utilizar, também, o site Pulsar 3D como um recurso para que os estudantes realizem pesquisas sobre os pulsares, suas características, funcionamento, etc., através de textos informativos e imagens traduzidas para o português, como mostra a Figura 32.

Além disso, o professor pode utilizar as imagens em alta resolução que estão no site Pulsar 3D, por exemplo para utilizar durante as aulas de física e de ciências, representar os pulsares em projetos e apresentações, imprimir para a realização de maquetes e projetos na escola, etc. Para fazer download das imagens basta clicar com o botão direito do mouse em cima da imagem e selecionar a opção “Abrir imagem em uma nova guia” ou “Salvar imagem como”.

Figura 32 - Textos informativos e imagens no site Pulsar 3D, abaixo da simulação. Capturas de tela da versão para smartphone.

Como é formado um Pulsar? ▲

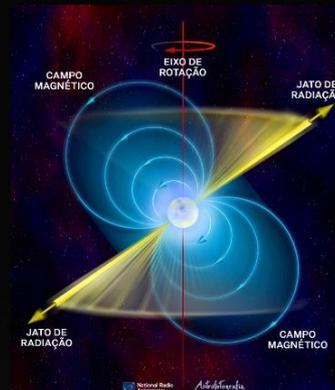
O processo de formação de um pulsar ocorre durante a explosão de uma supernova, que é o estágio final na vida de uma estrela massiva. Quando uma estrela massiva esgota seu combustível nuclear, ela sofre um colapso gravitacional, resultando em uma explosão violenta, ejetando suas camadas externas para o espaço e deixando para trás um núcleo extremamente denso, conhecido como estrela de nêutrons.

A estrela de nêutrons resultante pode girar rapidamente devido à conservação do momento angular, concentrando seu campo magnético e emitindo radiação eletromagnética em feixes estreitos a partir de seus polos magnéticos. Esses feixes de radiação são detectados na Terra como pulsos periódicos, dando origem aos pulsares.



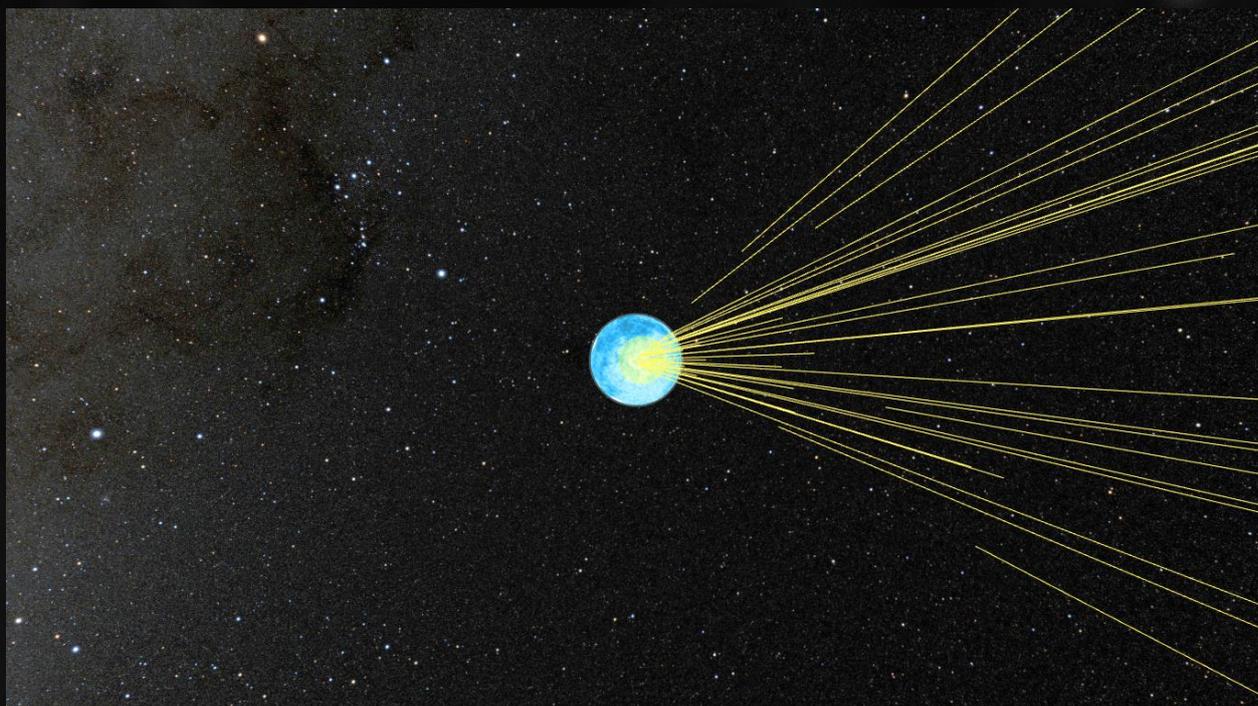
O que é um Pulsar? ▲

Um pulsar é uma estrela de nêutrons altamente magnetizada que gira rapidamente, emitindo feixes de radiação eletromagnética a partir de seus polos magnéticos. Esses feixes de radiação, que podem incluir ondas de rádio, luz visível, raios X e raios gama, são observados da Terra como pulsos regulares de energia, devido à rotação da estrela. Quando o feixe aponta em direção à Terra, é detectado como um pulso, dando a impressão de que a estrela está "pulsando", daí o nome pulsar. Os pulsares são remanescentes densos de supernovas e possuem campos magnéticos incrivelmente fortes, além de uma densidade tão alta que uma pequena quantidade de sua matéria pode pesar milhões de toneladas.



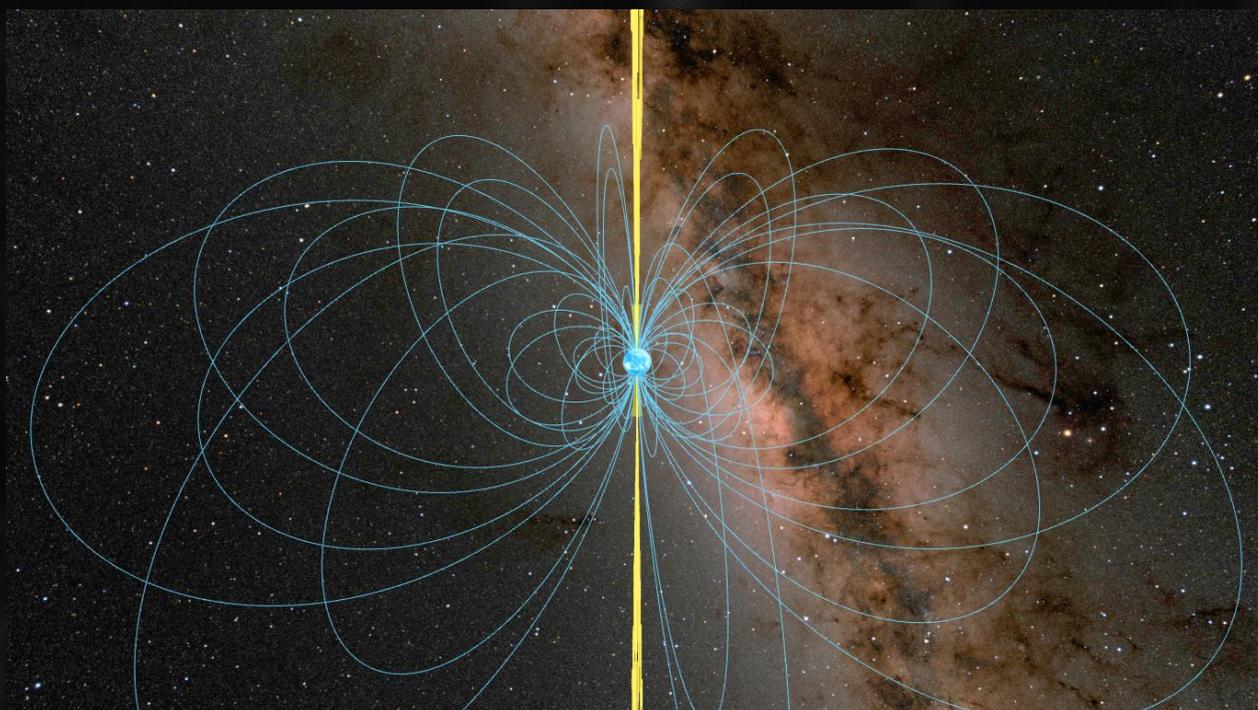
Fonte: Autoria própria.

Figura 33 - Exemplo do comportamento de um pulsar observado na linha de visada da emissão do jato de radiação, visto na Simulação Pulsar 3D.



Fonte: Autoria própria.

Figura 34 - Representação das linhas de campo magnético e dos jatos de radiação sendo emitidos pelos polos do pulsar na Simulação Pulsar 3D.

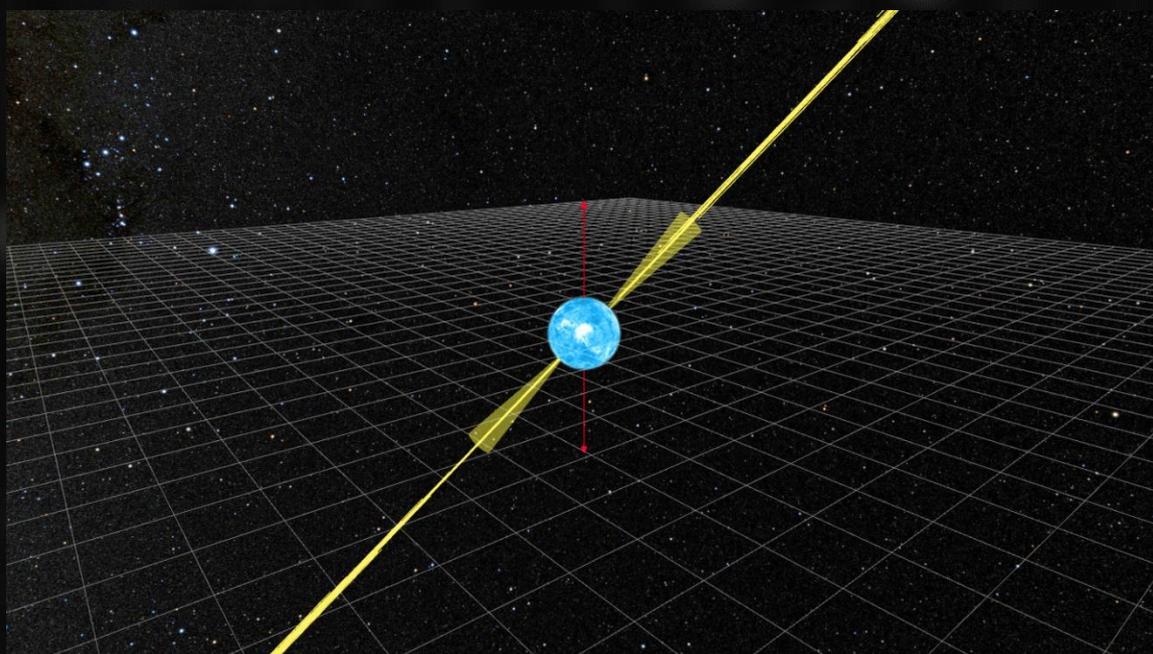


Fonte: Autoria própria.

É possível se distanciar do pulsar (rodinha do mouse no computador ou movimento de pinça no smartphone) na simulação Pulsar 3D e selecionar no menu os botões “Jatos de Radiação” e “Campo Magnético”, para exemplificar aos estudantes a relação do campo magnético e o alinhamento dos jatos de radiação com o polo magnético do pulsar, como mostrado na Figura 34.

É possível selecionar também uma malha de referência (grid) na Simulação Pulsar 3D, para ilustrar aos estudantes a orientação do pulsar, dos jatos de radiação e também do próprio comportamento rotacional dos pulsares e seus eixos: inclinação, rotação e magnético. Esse processo pode ser visualizado através da Figura 35.

Figura 35 - Representação das linhas de campo magnético e dos jatos de radiação sendo emitidos pelos polos do pulsar na Simulação Pulsar 3D.



Fonte: Autoria própria.

A compatibilidade multiplataforma da Simulação Pulsar 3D, capaz de ser acessada através de diversos sistemas operacionais e dispositivos, desde computadores até smartphones e tablets, amplia significativamente o alcance e a potencial implementação da simulação em diferentes contextos educacionais.

Ao permitir que os estudantes explorem interativamente características complexas dos pulsares, a simulação Pulsar 3D não apenas transmite informações científicas, mas também desperta a curiosidade, incentiva a investigação ativa e promove a alfabetização científica. Essa abordagem pedagógica alinha-se às demandas contemporâneas de um ensino de ciências mais dinâmico, tecnologicamente integrado e centrado na experiência do estudante.

APÊNDICE A - MONTAGEM DO CIRCUITO LED BLINKER COM O ARDUINO UNO

A seguir será apresentado o processo de utilização da plataforma de prototipagem eletrônica Arduino para a criação do circuito LED blinker.

Para a montagem do circuito LED blinker com o Arduino, será necessário:

- 1 Protoboard;
- 1 Resistor 100 Ω (Ohms);
- 1 LED branco ou azul;
- 1 placa Arduino Uno (Cabo USB-B e USB incluso)
- 2 Fios conectores (jumpers).

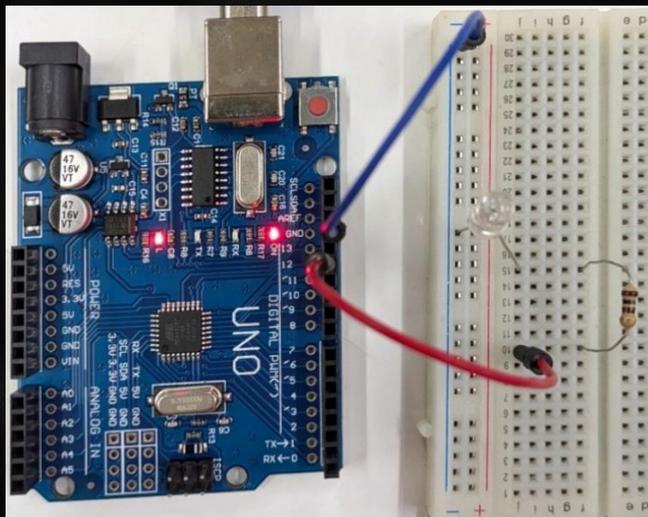
MONTANDO O CIRCUITO LED BLINKER COM ARDUINO UNO

Para a montagem do circuito LED blinker com o Arduino, realize as conexões mostradas nas Figuras 41 e 42. Para facilitar a montagem, siga o seguinte gabarito:

Na placa Arduino
Fio vermelho: Pino 12
Fio azul: Pino GND

Na protoboard
Fio vermelho: Posição 10
Fio azul: Barramento negativo
Resistor: Posição 10 e Posição 15
LED: Perna maior na Posição 15; Perna menor no barramento negativo

Figura 41 - Disposição dos componentes e fios na placa Arduino e protoboard.



Fonte: Lucas Ferreira (UnB/IF/MNPEF).

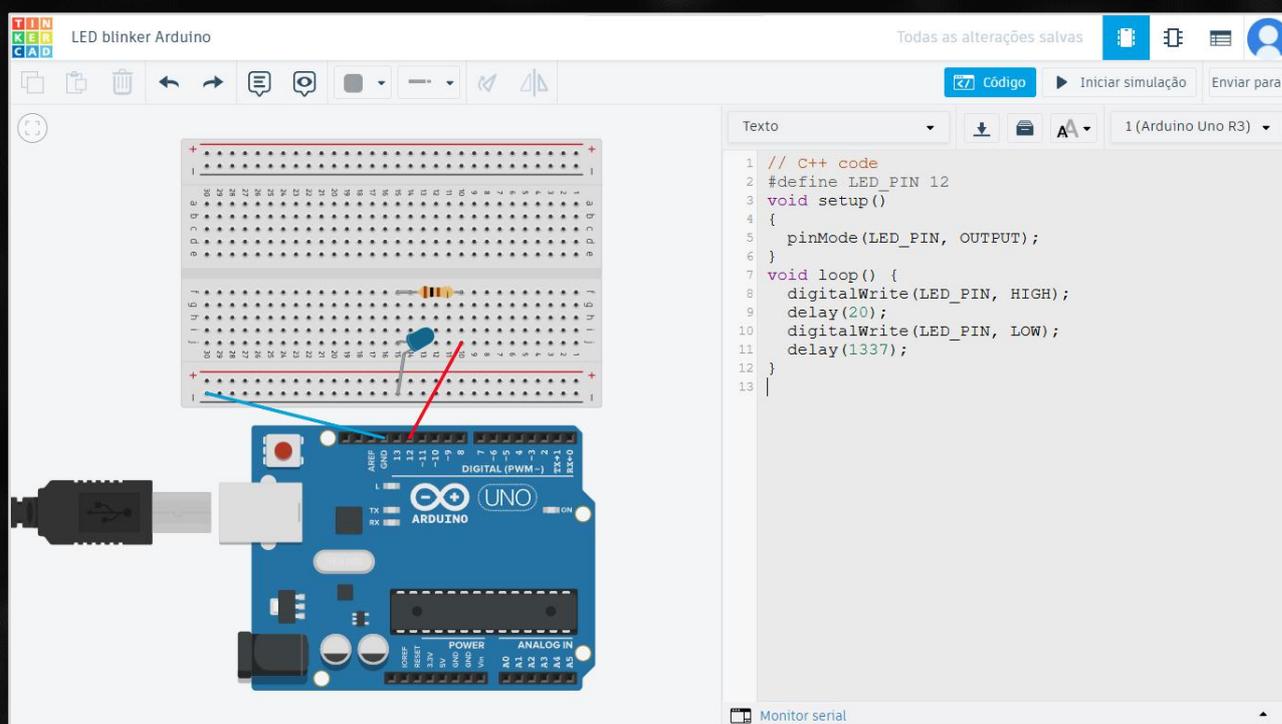
É possível acessar uma simulação na plataforma TinkerCad do circuito LED blinker para Arduino. Essa simulação possibilita uma melhor visualização da disposição e das conexões dos componentes eletrônicos. Ao inserir o código-fonte do circuito na simulação, o professor consegue simular e demonstrar aos estudantes diversos parâmetros, situações e comportamentos de circuitos variados, incluindo o circuito LED blinker na Arduino.

Para acessar a simulação do circuito LED blinker para Arduino na plataforma TinkerCad basta entrar em <https://shorturl.at/Om3OG>.

O professor pode interagir com os estudantes e mostrar o simulador TinkerCad, apresentar as funcionalidades da placa Arduino, a disposição da protoboard e cada um dos componentes utilizados no circuito LED blinker na Arduino. O professor pode também clicar no botão “Iniciar simulação” e demonstrar aos estudantes o comportamento esperado do circuito LED blinker, bem como mostrar o código-fonte para que o circuito funcione (Figura 42).

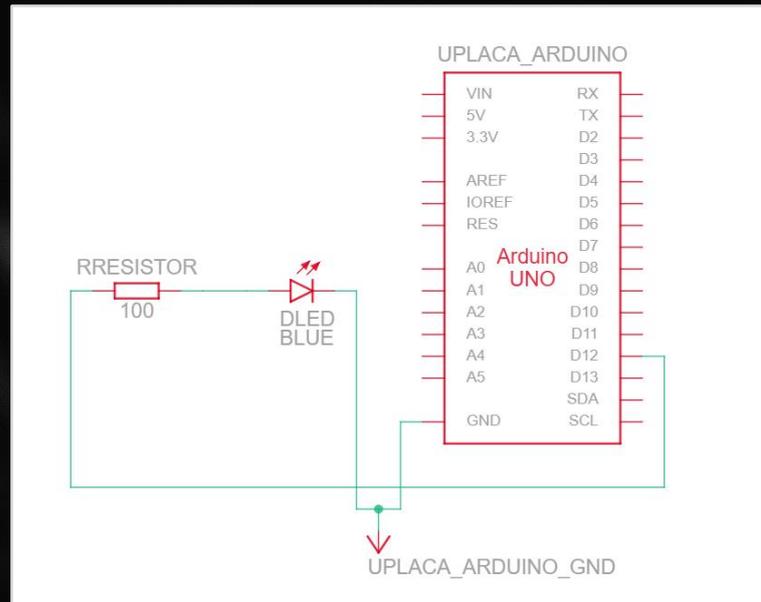
Um diagrama esquemático do circuito (Figura 43) pode ser apresentado aos estudantes, para conhecerem uma outra forma de representar a montagem e o próprio circuito na placa Arduino.

Figura 42 - Simulação do circuito LED blinker com Arduino na plataforma TinkerCad. Disposição dos componentes e fios na placa Arduino e protoboard.



Fonte: TinkerCad/Lucas Ferreira (UnB/IF/MNPEF).

Figura 43 - Diagrama esquemático do circuito LED blinker para Arduino.



Fonte: TinkerCad.

CÓDIGO-FONTE E CONEXÃO DA ARDUINO UNO

Primeiro passo: Acesse o site [Arduino Cloud](#) e crie uma conta gratuitamente. Em seguida clique no canto direito em “Create New” e selecione “Sketch”. Uma nova janela com um Sketch em branco será aberta.

Figura 44 - Interface da página web Arduino Cloud. Código-fonte do circuito LED blinker para uso na placa Arduino.

```
1 #define LED_PIN 12
2 void setup()
3 {
4   pinMode(LED_PIN, OUTPUT);
5 }
6 void loop() {
7   digitalWrite(LED_PIN, HIGH);
8   delay(20);
9   digitalWrite(LED_PIN, LOW);
10  delay(1337);
11 }
12
```

Console Done Uploading CP1919_LED

Fonte: Arduino Cloud/Lucas Ferreira (UnB/IF/MNPEF).

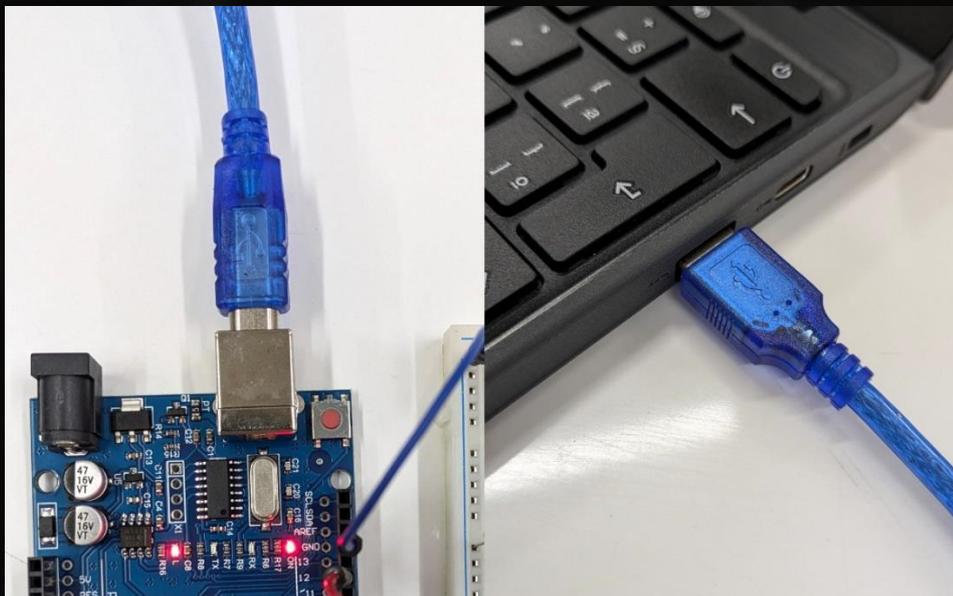
Segundo passo: Cole o código-fonte na área de código do projeto (Sketch) no Arduino Cloud (Figura 44). Basta copiar e colar o código-fonte:

```
#define LED_PIN 12
void setup()
{
  pinMode(LED_PIN, OUTPUT);
}
void loop() {
  digitalWrite(LED_PIN, HIGH);
  delay(20);
  digitalWrite(LED_PIN, LOW);
  delay(1337);
}
```

O valor utilizado no delay de 1337 milissegundos representa o período de 1,337 segundos do pulsar descoberto por Jocelyn Bell, o Pulsar CP1919. O professor pode selecionar diferentes períodos para cada grupo ou atividade.

Terceiro passo: Conecte o cabo USB-B na placa Arduino Uno e em seguida o cabo USB na entrada USB de um notebook ou computador (Figura 45). É possível utilizar, também, uma fonte de alimentação de 9 a 12 V para alimentar a placa, sem a necessidade de utilizar um notebook ou computador.

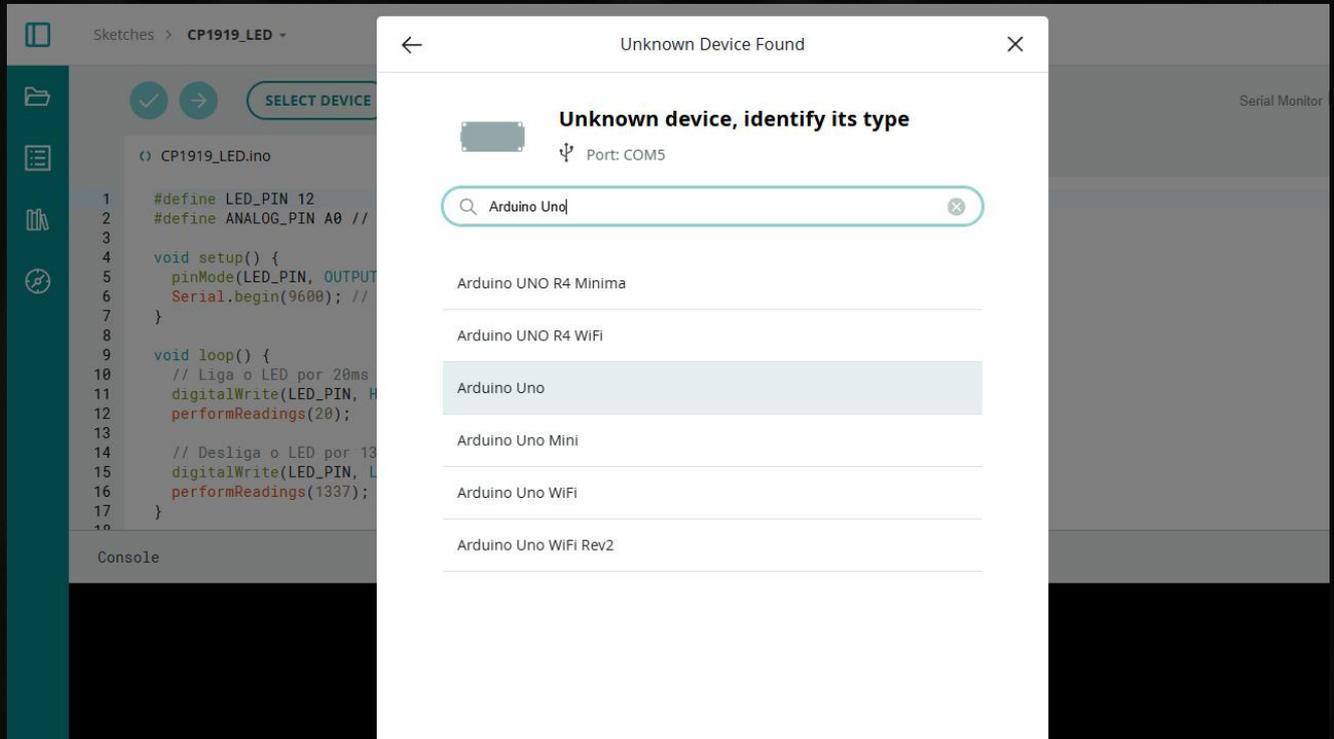
Figura 45 - Conexão USB-B na placa Arduino Uno e USB em um notebook comum.



Fonte: Arduino Cloud/Lucas Ferreira (UnB/IF/MNPEF).

Quarto passo: Após conectar o cabo USB no notebook ou computador, clique no botão “Select device” e selecione o tipo de placa que está sendo conectada, por exemplo Arduino Uno.

Figura 46 - Janela de seleção do tipo de placa Arduino para conexão no Arduino Cloud.

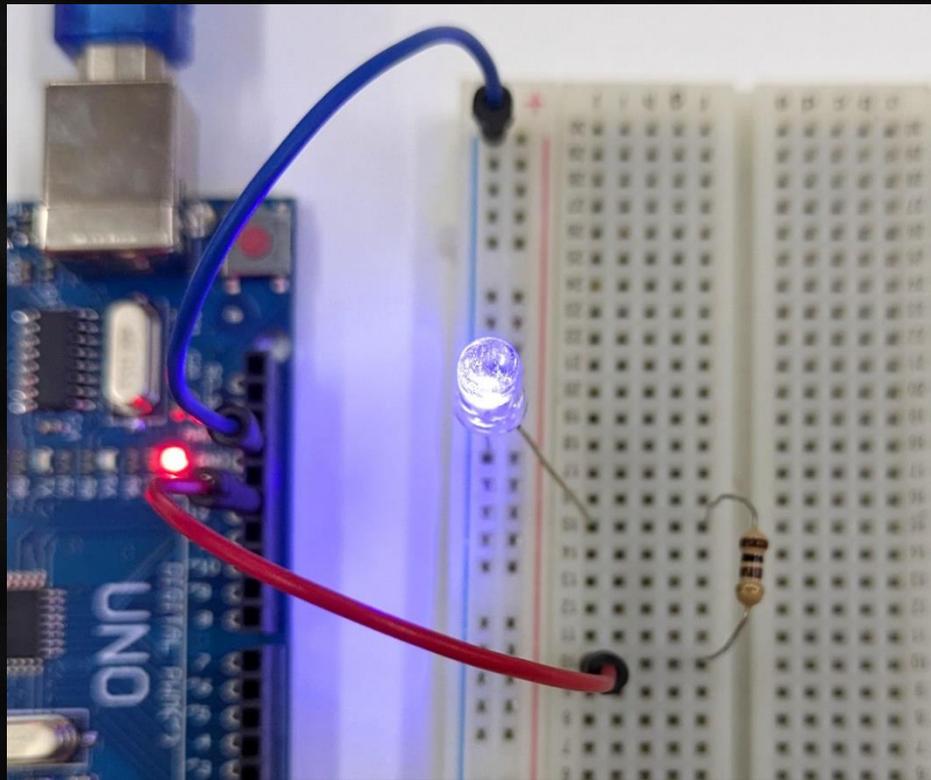


Fonte: Arduino Cloud/Lucas Ferreira (UnB/IF/MNPEF).

Quinto passo: Em seguida, faça upload do código-fonte para a placa, clicando no botão da seta, acima da área de código na Arduino Cloud. O código-fonte será enviado para a placa e começará a executar o código (Figura 47). Se as conexões estiverem corretas, o LED irá piscar e mostrar o comportamento análogo ao circuito LED blinker, piscando rapidamente, depois apagando e piscando novamente, representando a intermitência dos pulsos e o sinal de um pulsar.

Após a construção do circuito LED blinker para Arduino, os estudantes podem realizar o passo a passo descrito no “[Roteiro Passo a Passo Tracker Online Análise Região RGB](#)”, para analisar os vídeos gravados com o smartphone e gerar dados e gráficos no software livre Tracker Online.

Figura 47 - Momento em que o código-fonte é enviado à placa Arduino e executa as funções loop, digitalWrite e delay, para fazer com que o LED acenda de forma intermitente a cada 1,337 segundos.



Fonte: Lucas Ferreira (UnB/IF/MNPEF).

APÊNDICE B - INSTRUMENTO DE COLETA

A seguir serão apresentadas as perguntas utilizadas na coleta dos dados desse trabalho, através de um questionário *online* estruturado.

1. Qual é o seu nível de interesse pela Astrofísica, Astronomia e Pulsares?
2. Você já tinha ouvido falar sobre os pulsares antes de realizar o experimento?
3. Em qual região do Espectro Eletromagnético o LED emite?
4. Em qual região do Espectro Eletromagnético um pulsar emite?
5. Em qual região do Espectro Eletromagnético os astrônomos comumente detectam os pulsares?
6. Você compreendia o que era um pulsar?
7. Para você, a definição de pulsar é:
8. Você entendeu o funcionamento do circuito LED blinker?
9. Qual foi o nível de dificuldade para a gravação do vídeo no smartphone?
10. Você já tinha utilizado o programa Tracker?
11. Qual foi o nível de dificuldade para usar o programa Tracker?
12. O quão interessante você achou o processamento de vídeos através do programa Tracker?
13. Qual foi o nível de dificuldade para processar o vídeo no programa Tracker?
14. Qual foi o nível de dificuldade para analisar os dados no programa Tracker?
15. Você já tinha usado o Chat GPT?
16. Você acredita que inteligência artificial em sala de aula pode ser uma coisa:
17. Qual o nível de dificuldade para processar os dados com o Chat GPT?
18. O que você achou de usar o Chat GPT em sala de aula e para realizar o experimento?
19. Você entendeu o funcionamento do circuito LED blinker?
20. No experimento, o LED piscando representa:
21. Sobre o experimento e o material utilizado, classifique os itens abaixo:
 - Clareza dos procedimentos (passo a passo)
 - Qualidade do experimento
 - Qualidade do material
 - Interação com os colegas
 - Auxílio do professor
 - Facilidade de usar o Tracker
 - Facilidade de processar os dados
 - Facilidade em entender os dados
22. Com o experimento, o quanto você se sentiu motivado a estudar Física?
23. No experimento, o que ms chamou/prendeu sua atenção?

APÊNDICE C - PLANO DE AULA SIMULAÇÃO PULSAR 3D

Este recurso educacional oferece um plano de aula abrangente para explorar as propriedades e o comportamento dos pulsares por meio de uma simulação interativa em 3D, disponível em inglês e português. Voltado para estudantes do ensino fundamental, médio e superior, a aula proporciona uma experiência prática de aprendizado sobre como os pulsares emitem radiação, o papel de seus campos magnéticos e os efeitos de sua rotação. A atividade é planejada para durar 50 minutos e inclui atividades envolventes, como discussões em classe, uma exploração guiada da simulação Pulsar 3D e aprendizado baseado em cenários.

Um plano de aula detalhado em como utilizar o Pulsar 3D em sala de aula e em projetos pode ser acessado em <https://zenodo.org/records/13824696>.

Figura 48 - Plano de aula e atividades a partir do uso da simulação Pulsar 3D.

Pulsar 3D Simulation Lesson Plan (Class Activity)

FERREIRA, LUCAS (Researcher)¹; ANDRADE, VANESSA CARVALHO DE (Supervisor)¹

Description: This educational resource provides a comprehensive lesson plan for exploring the properties and behavior of pulsars using an interactive 3D simulation, both in English and Portuguese. Aimed at middle school, high school, and undergraduate students, the lesson offers a hands-on learning experience to understand how pulsars emit radiation, the role of their magnetic fields, and the effects of their rotation. The lesson is designed to last 50 minutes and includes engaging activities such as class discussions, a guided exploration of the Pulsar 3D simulation, and scenario-based learning.

Students will have the opportunity to visualize these complex concepts through an interactive 3D simulation accessible via computers, tablets, or smartphones. A set of evaluation questions and discussion prompts is also provided to assess student understanding and encourage deeper reflection on Pulsars.

Pulsar 3D Simulation: <https://cometsinthesky.github.io/pulsar-3D/>

Pulsar 3D Github page: <https://github.com/cometsinthesky/pulsar-3D>

Keywords: Pulsars; Neutron Stars; Pulsar 3D Simulation; 3D Simulation; Astronomy Education; Magnetic Fields; Pulsar Emissions; Science Education; Science Outreach; Interactive Learning.

Citation: FERREIRA, L.; ANDRADE, V. C. Pulsar 3D Simulation Lesson Plan (Class Activity). Zenodo. 2024. In: <https://zenodo.org/records/13824696>

Files

Plano de aula simulação Pulsar 3D (PT-BR).pdf

Plano de aula simulação Pulsar 3D
Lucas Ferreira (UnB/IF/MNPEF); Prof.ª Dr.ª Vanessa Andrade (UnB/IF/MNPEF)

Tópico da aula: Explorando as características e o comportamento dos Pulsares através de uma simulação interativa em 3D.

Etapas: Ensino Fundamental II, Ensino Médio e Ensino Superior

Objetivo: Os estudantes explorarão as propriedades dos pulsares interagindo com uma simulação 3D. Eles aprenderão como os pulsares emitem radiação, entenderão seus campos magnéticos e observarão como sua rotação afeta esses fenômenos.

Statistics: 41 VIEWS, 33 DOWNLOADS

Versions: Version v1 (10.5281/zenodo.13824696) - Sep 22, 2024

External resources: Indexed in OpenAIRE

Details: DOI: 10.5281/zenodo.13824696; Resource type: Lesson; Publisher: Zenodo; Conference: Global Hands-On Universe Conference 2024 (G-HOU), Online, 24-27 September, 2024; Languages: English, Portuguese

Fonte: [Zenodo](https://zenodo.org/records/13824696)/Lucas Ferreira (UnB/IF/MNPEF) e Vanessa C. Andrade (UnB/IF/MNPEF).

Através do plano de aula é possível explorar as propriedades e o comportamento dos pulsares, de forma direcionada e utilizando a simulação Pulsar 3D em sala de aula. O plano de aula está disponível em português e em inglês. Voltada para estudantes do ensino fundamental II, ensino médio e graduação, o plano de aula proporciona uma experiência prática de aprendizado

para compreender como os pulsares emitem radiação, o papel de seus campos magnéticos e os efeitos de sua rotação. Com duração de 50 minutos, o plano de aula inclui atividades hands-on, uso de recursos digitais para o ensino de física, astronomia e ciências, bem como discussões em sala, uma exploração guiada da simulação 3D do Pulsar e aprendizagem baseada em cenários. Os estudantes terão a oportunidade de visualizar esses conceitos complexos por meio de uma simulação 3D interativa, acessível em computadores, tablets ou smartphones. Um conjunto de perguntas avaliativas e sugestões de discussão também está disponível para verificar a compreensão dos estudantes e incentivar uma reflexão mais aprofundada sobre os pulsares, a descoberta de Jocelyn Bell e os impactos da descoberta dos pulsares.

Os estudantes terão a oportunidade de visualizar esses conceitos complexos por meio de uma simulação interativa em 3D, acessível em computadores, tablets ou smartphones. Também é fornecido um conjunto de questões de avaliação e sugestões de discussão para avaliar o entendimento dos estudantes e promover uma reflexão mais profunda sobre os pulsares.

Simulação Pulsar 3D: <https://cometsinthesky.github.io/pulsar-3D/>.

Página do GitHub da Simulação Pulsar 3D: <https://github.com/cometsinthesky/pulsar-3D>.

APÊNDICE D - PROPOSTA DE PROJETO MULTIDISCIPLINAR REFERENTE À SD

Figura 49 - Seção do planejamento trimestral referente à proposta de projeto multidisciplinar enviada à coordenação pedagógica da escola.

Avaliação Processual 2

Projeto 2: "Universe Lighthouses: Making a Pulsar simulator"

Sala Maker: 2, 7 e 8/08

Deadline: Dia 09/08

Construir um experimento sobre pulsares e circuitos eletrônicos na Sala Maker (2, 7 e 8/08). Os estudantes deverão apresentar os experimentos construídos e explicar a relação do experimento com os conteúdos propostos.

As duplas serão definidas pelo professor em sala de aula.

Os estudantes também irão gerar imagens com inteligência artificial através de prompts, sobre os objetos e tema de cada dupla, para serem expostas em um mural da escola.

"Science Cinema" (Auditório) - [Interstellar \(2014\)](#)

Dia: 21 e 23/08 (Manhã)

Materiais necessários:

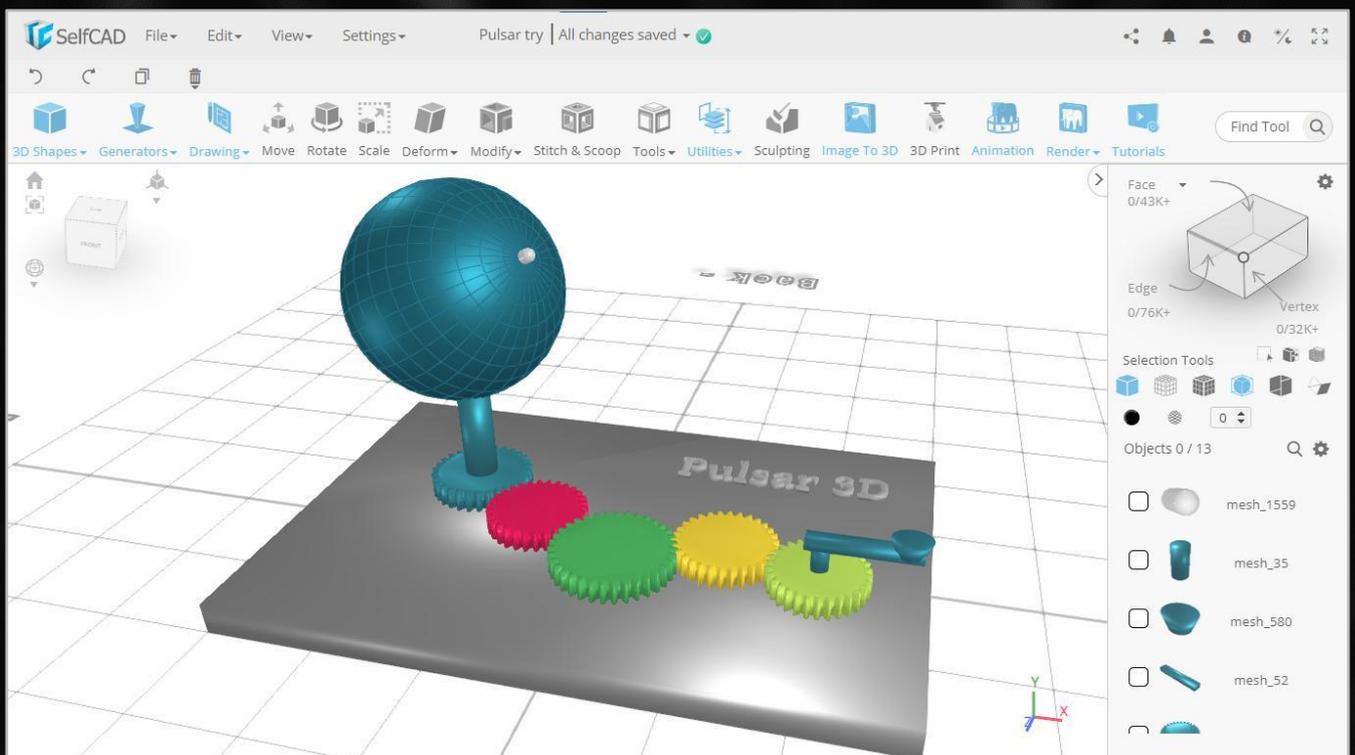
- LED, capacitor, protoboard, resistência, fios de conexão, transistor.
- Smartphone ou Tablet.

Fonte: Lucas Ferreira (UnB/IF/MNPEF).

APÊNDICE E - MODELO PARA IMPRESSÃO 3D

Figura 50 - Esboço para impressão 3D do experimento “Pulsar 3D”, na plataforma online SelfCAD.

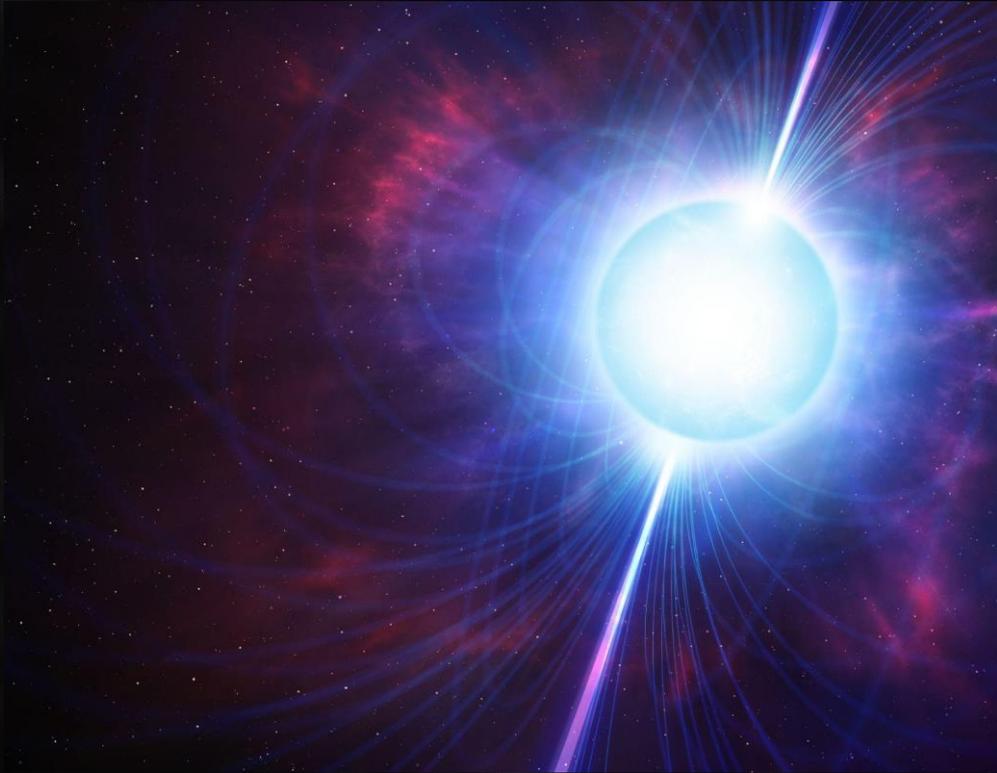
Na esfera, que representa uma estrela de nêutrons em rotação, é colocado um LED para representar o fenômeno dos pulsares. A ideia é fazer com que os estudantes interajam com o experimento, relacionado o movimento que é feito na manivela (à direita) com o movimento e rotação da esfera com o LED (esquerda). Para acessar o conteúdo, basta cadastrar uma conta gratuita e acessar o link <https://www.selfcad.com/shared-objects/2a215b3e6e37732i416d2a1i53m4571q3v4v>.



Fonte: SelfCAD/Lucas Ferreira (UnB/MNPEF)

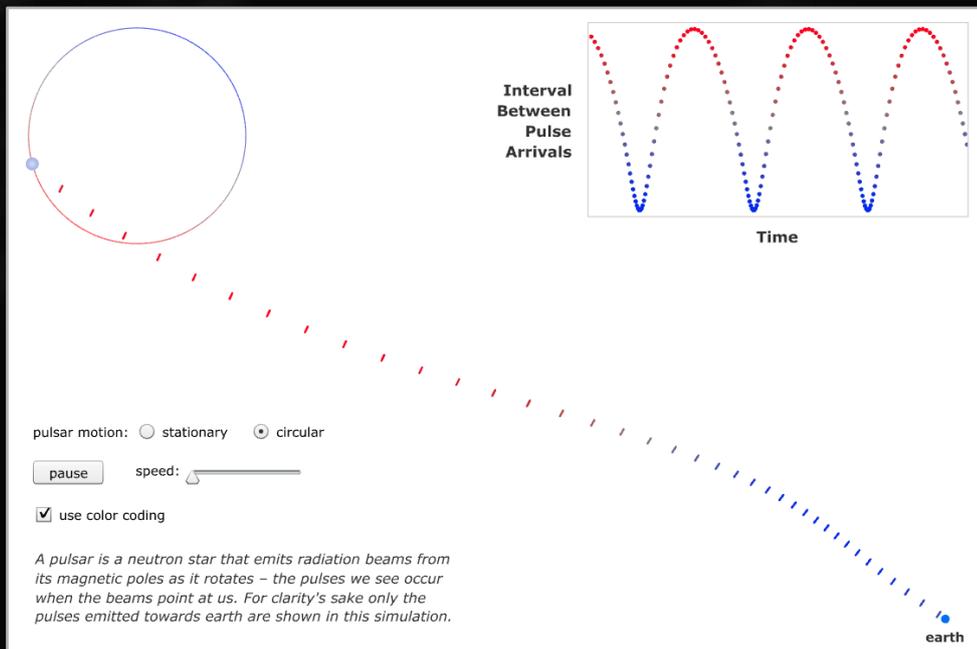
ANEXOS

Figura 51 - Ilustração científica de um pulsar.



Fonte: Mark Garlick/Science Photo Library.

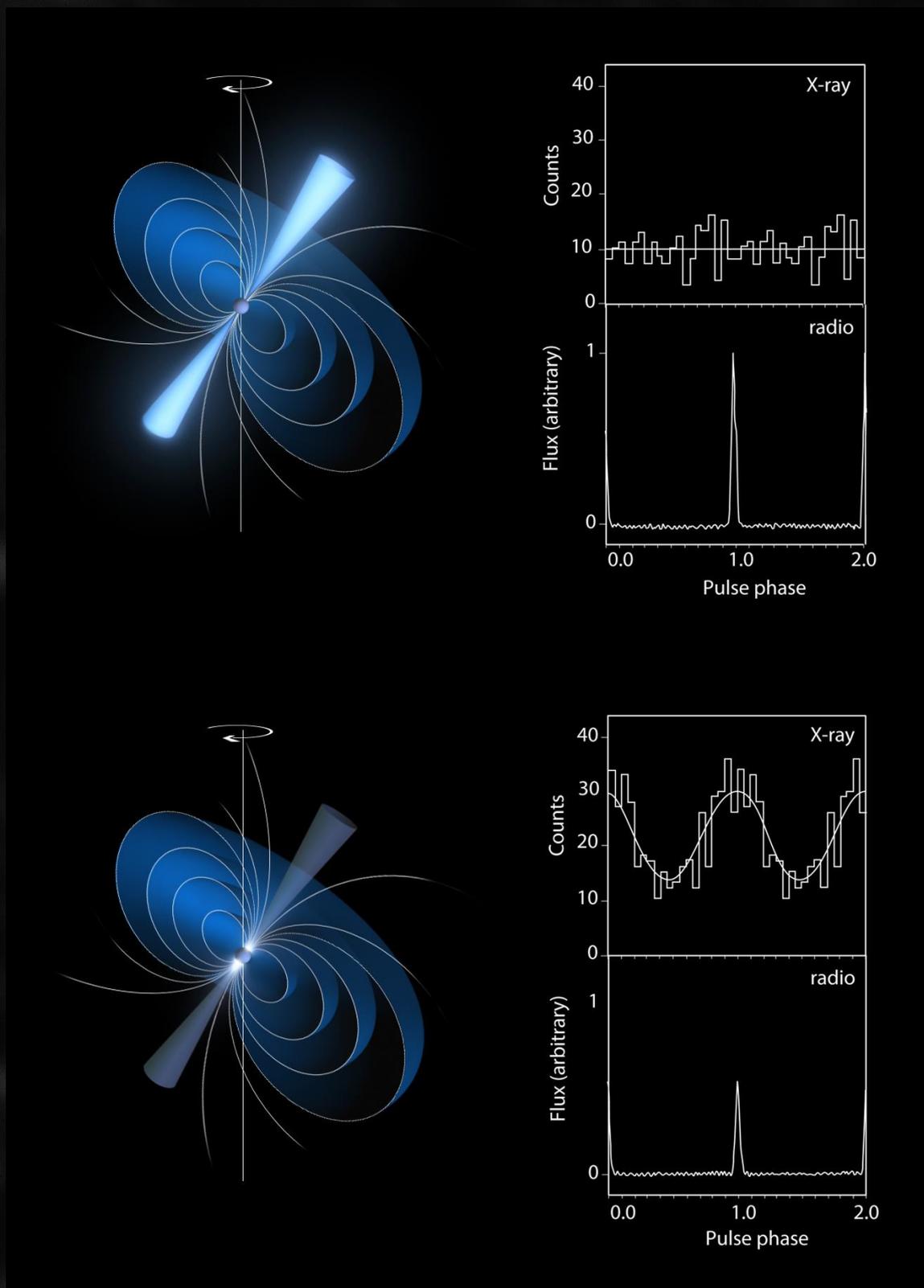
Figura 52 - Simulador de pulsares desenvolvido pelo Nebraska Astronomy Applet Project (NAAP) da Universidade de Nebraska-Lincoln.



Fonte: NAAP/UNL. Disponível em:

<https://astro.unl.edu/classaction/animations/extrasolarplanets/pulsarPeriodSim001.html>.

Figura 53 - Ilustração científica dos dois estados de emissão observados do pulsar PSR B0943+10, que é conhecido por alternar entre um modo "brilhante" e "silencioso" em comprimentos de onda de rádio. Observações do PSR B0943+10, realizadas simultaneamente com o observatório de raios-X XMM-Newton da ESA e radiotelescópios terrestres.



Fonte: SRON, NOVA e ASTRON; ESA/ATG medialab.

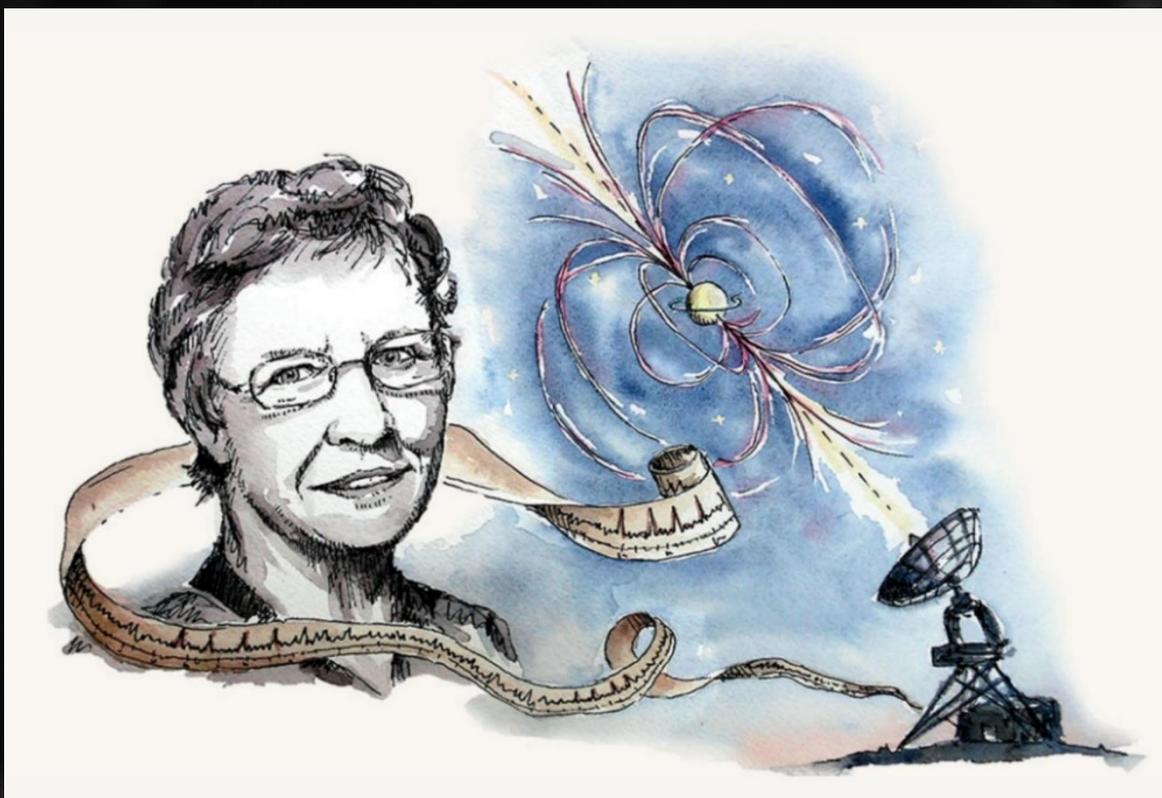
Disponível em: <https://www.sron.nl/news/chameleon-pulsar-baffles-astronomers/>.

Figura 54 – Poster para impressão da Jocelyn Bell e descoberta dos pulsares.



Fonte: Perimeter Institute. Disponível gratuitamente em:
https://resources.perimeterinstitute.ca/products/forces-of-nature-jocelyn-bell-burnell?_pos=1&_psq=jocelyn&_ss=e&_v=1.0.

Figura 55 - Ilustração em aquarela para uso didático da Jocelyn Bell e a descoberta dos pulsares.



Fonte: The Cooper Square Review. Disponível em: <https://coopersquarereview.org/10-women-in-science-you-should-know/#slide-jocelyn-bell-burnell>.

Figura 56 - Ilustração para uso didático da Jocelyn Bell e a descoberta dos pulsares.



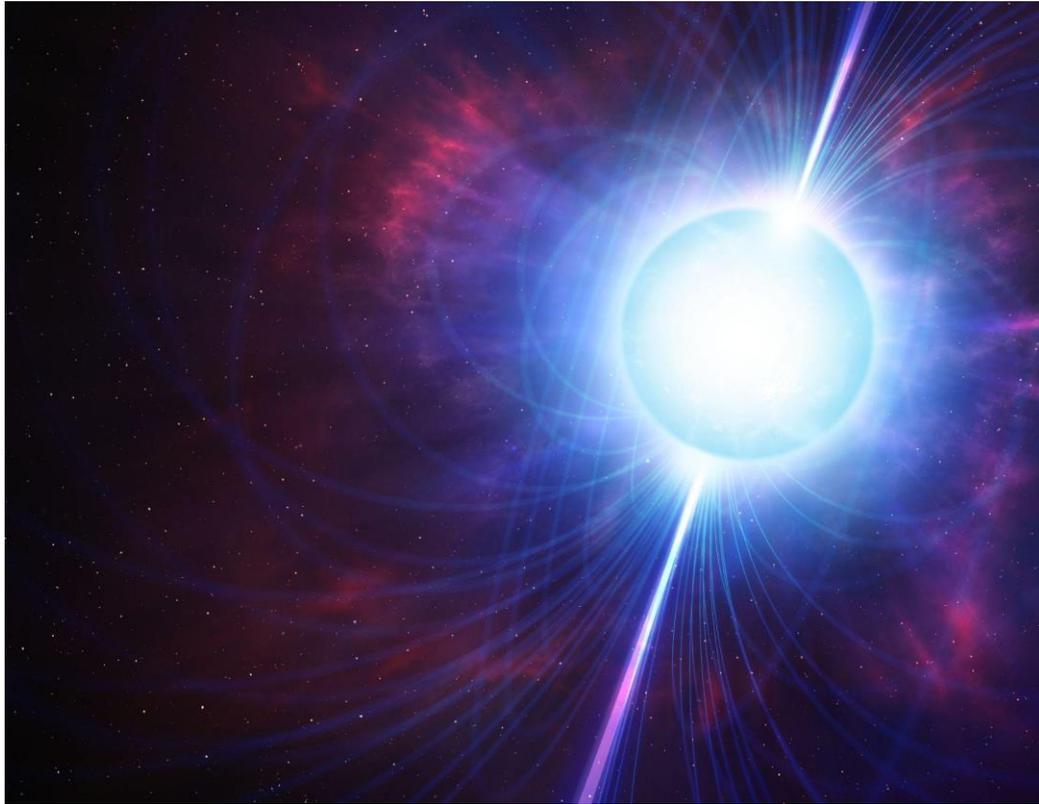
Fonte: The Hong Kong University of Science and Technology: <https://sciencefocus.hkust.edu.hk/transcending-the-prizes-jocelyn-bell-burnell>.

“Se não fosse pelas estrelas, particularmente aquelas que morreram, nós não estaríamos aqui. Somos intimamente, e no fim das contas, filhos das estrelas, a tal ponto que, na verdade, nós somos estrelas”.

Jocelyn Bell, 2013.

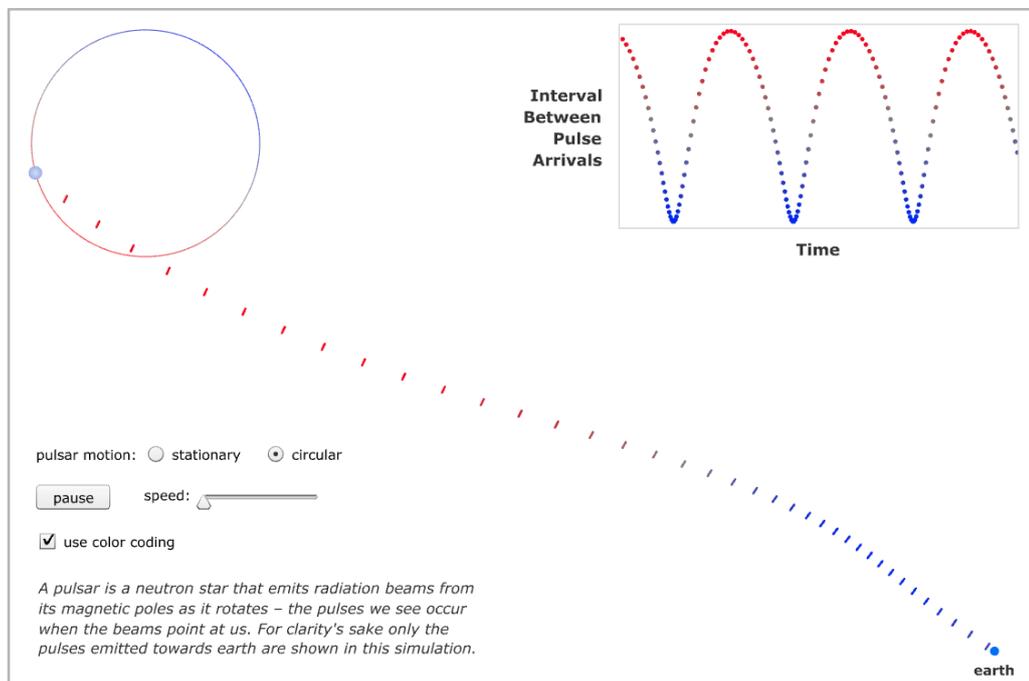
ANEXOS

Figura 52 - Ilustração científica de um pulsar.



Fonte: Mark Garlick/Science Photo Library. Disponível em:

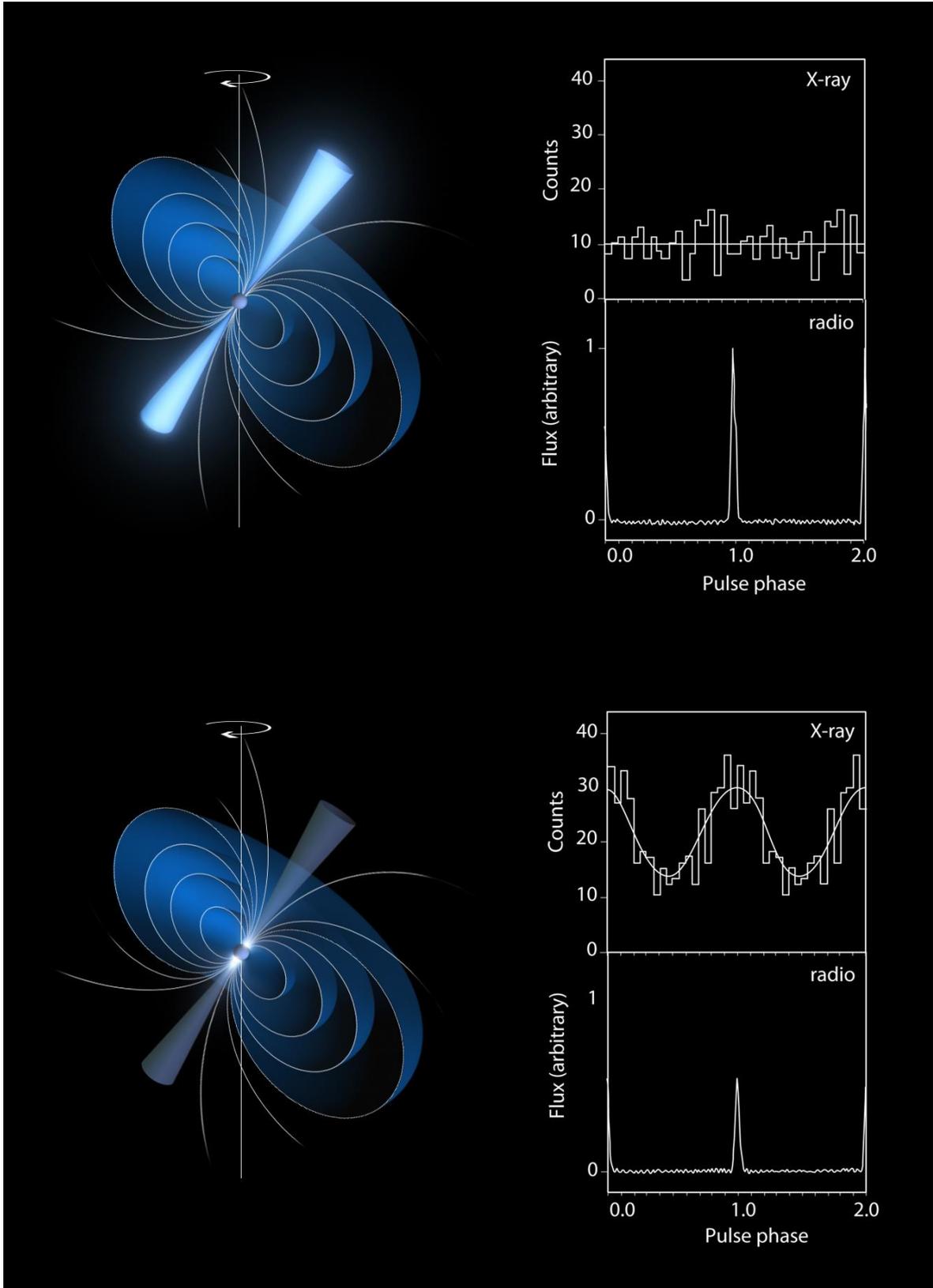
Figura 53 - Simulador de pulsares desenvolvido pelo Nebraska Astronomy Applet Project (NAAP) da Universidade de Nebraska-Lincoln.



Fonte: NAAP/UNL. Disponível em:

<https://astro.unl.edu/classaction/animations/extrasolarplanets/pulsarPeriodSim001.html>.

Figura 54 - Ilustração científica dos dois estados de emissão observados do pulsar PSR B0943+10, que é conhecido por alternar entre um modo "brilhante" e "silencioso" em comprimentos de onda de rádio. Observações do PSR B0943+10, realizadas simultaneamente com o observatório de raio-x XMM-Newton da ESA e radiotelescópios terrestres.



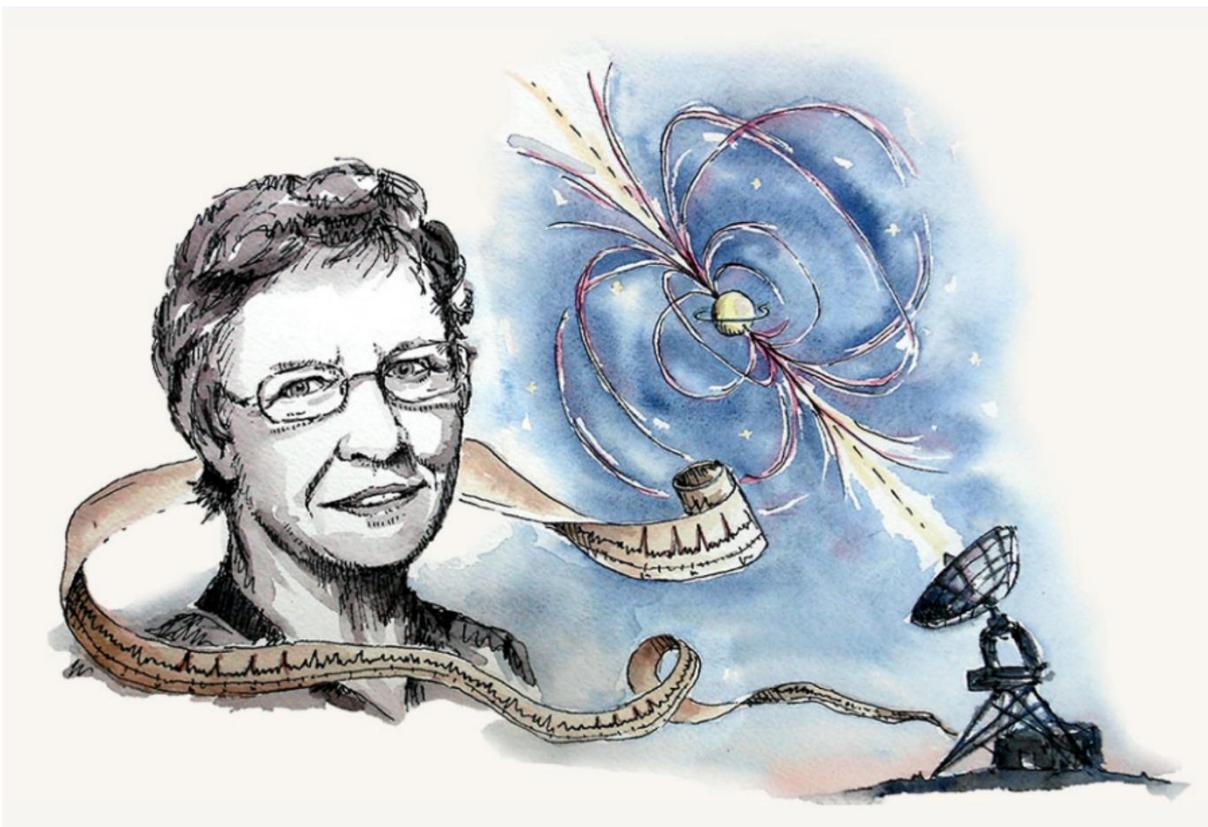
Fonte: SRON, NOVA e ASTRON; ESA/ATG medialab.
Disponível em: <https://www.sron.nl/news/chameleon-pulsar-baffles-astronomers/>.

Figura 55 - Poster para impressão da Jocelyn Bell e descoberta dos pulsares.



Fonte: Perimeter Institute. Disponível gratuitamente em:
https://resources.perimeterinstitute.ca/products/forces-of-nature-jocelyn-bell-burnell?_pos=1&_psq=jocelyn&_ss=e&_v=1.0.

Figura 56 - Ilustração em aquarela para uso didático da Jocelyn Bell e a descoberta dos pulsares.



Fonte: The Cooper Square Review. Disponível em: <https://coopersquarereview.org/10-women-in-science-you-should-know/#slide-jocelyn-bell-burnell>.

Figura 57 - Ilustração para uso didático da Jocelyn Bell e a descoberta dos pulsares.



Fonte: The Hong Kong University of Science and Technology: <https://sciencefocus.hkust.edu.hk/transcending-the-prizes-jocelyn-bell-burnell>.

“Se não fosse pelas estrelas, particularmente aquelas que morreram, nós não estaríamos aqui. Somos intimamente, e no fim das contas, filhos das estrelas, a tal ponto que, na verdade, nós somos estrelas”.

Jocelyn Bell, 2013.

