



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CAMPUS REITOR JOÃO DAVID FERREIRA LIMA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA

Larissa do Nascimento Pires

**JOCELYN BELL BURNELL E OS PULSARES: UM ESTUDO HISTÓRICO-
EPISTEMOLÓGICO PARA A EDUCAÇÃO CIENTÍFICA**

Florianópolis

2022

Larissa do Nascimento Pires

**JOCELYN BELL BURNELL E OS PULSARES: UM ESTUDO HISTÓRICO-
EPISTEMOLÓGICO PARA A EDUCAÇÃO CIENTÍFICA**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação
em Educação Científica e Tecnológica da Universidade
Federal de Santa Catarina para obtenção do título de
Mestre em Educação Científica e Tecnológica.
Orientador: Prof. Dr. Luiz O. Q. Peduzzi

Florianópolis

2022

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Pires, Larissa do Nascimento

Jocelyn Bell Burnell e os Pulsares : um estudo histórico epistemológico para a educação científica / Larissa do Nascimento Pires ; orientador, Luiz O. Q. Peduzzi, 2022.
205 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Físicas e Matemáticas, Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica, Florianópolis, 2022.

Inclui referências.

1. Educação Científica e Tecnológica. 2. Ensino de Física. 3. História e Filosofia da Ciência. 4. História da Astronomia. 5. Mulheres na Ciência. I. Peduzzi, Luiz O. Q.. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica. III. Título.

Larissa do Nascimento Pires

Jocelyn Bell Burnell e os Pulsares: um estudo histórico-epistemológico para a Educação Científica

O presente trabalho em nível de mestrado foi avaliado e aprovado por banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof. Dr. Alan Alves Brito

Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)

Profa. Dra. Thaís Cyrino de Mello Forato

Universidade Federal de São Paulo (UNIFESP)

Profa. Dra. Gabriela Kaiana Ferreira

Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)

Certificamos que esta é a **versão original e final** do trabalho de conclusão que foi julgado adequado para obtenção do título de mestre em Educação Científica e Tecnológica.

Profa. Dra. Mariana Brasil Ramos

Coordenação do Programa de Pós-Graduação

Prof. Dr. Luiz O. Q. Peduzzi

Orientador

Florianópolis, 2022

Dedico esta dissertação ao meu Tio Renato.

Lembro-me daquela tarde de domingo, que você me perguntou o que eu estudaria no mestrado.

Tio, quando você melhorar, eu espero poder ler esta pesquisa com você.

AGRADECIMENTOS

Apesar do distanciamento social em dois anos atípicos, os momentos de escrita desta dissertação foram melhores devido à presença, ainda que por meio de inúmeras videoconferências, de importantes pessoas. Graças a elas, escrever este trabalho consistiu em uma tarefa enriquecedora e de muito aprendizado para mim. Assim, quero agradecer enormemente...

À minha mãe Rose e ao meu pai Edio, por serem pais tão maravilhosos. Obrigada por sempre me apoiarem em meus sonhos, por me ajudarem a acreditar em mim mesma, por vibrarem com minhas conquistas, por estarem presentes nos meus momentos desafiadores e por sempre reconhecerem a importância da educação, da ciência e da pesquisa.

Às/aos docentes da Licenciatura em Física do IFSC Araranguá. Especialmente, ao professor Felipe Damasio, por me presentear com uma edição da Revista Galileu, em que havia uma pequena reportagem sobre Jocelyn Bell Burnell. Agradeço também à professora Mônica Knöpker e ao professor Israel Müller dos Santos, por serem professoras/es incríveis.

Ao meu orientador Luiz Peduzzi, pelos instigantes ensinamentos sobre a Física e sua História, compartilhados em inúmeras tardes de reuniões. Agradeço muito por ter aceitado investigar comigo a história dos pulsares, por ser um exemplo de orientador exigente, mas também compreensivo e dedicado na leitura de cada linha desta dissertação.

Ao grupo de pesquisa *Apeiron*. Agradeço à Sarah Orthmann, Cristina Spolti, Letícia Jorge, Anabel Raicik, Carlos Batista e Professor Peduzzi pelas enriquecedoras discussões sobre a História e Filosofia da Ciência e o Ensino de Física.

À Sarah Orthmann, minha irmã de orientação, minha historiadora da ciência favorita, obrigada pela importante amizade que construímos durante esses dois anos para compartilhar conquistas e desafios. Guardo com carinho no coração cada conversa e cada videochamada divertida que pude vivenciar com você. Espero que nossa amizade seja para a vida!

Ao Lucas Albuquerque, agradeço enormemente pelas importantes trocas de experiências, especialmente no início da minha caminhada no mestrado... Obrigada pelo acolhimento e apoio naquele inesquecível dia da prova de arguição oral.

À professora Gabriela Kaiana, que prontamente concedeu espaço de sua disciplina de INSPE A para que eu pudesse discutir a história dos pulsares no Estágio de Docência e por compartilhar o interesse em estudar a História das Mulheres na Ciência. Obrigada, novamente, por ter me ajudado a realizar o sonho de fazer uma pergunta para a Jocelyn!

Às/aos colegas da Turma de Mestrado 2020. Lembro-me com imensa saudade dos quinze dias que começamos a nos conhecer e agradeço pelas reuniões virtuais em que discutimos

nossas pesquisas e artigos. Agradeço especialmente ao Bruno Tavares, por ser esse biólogo e professor-pesquisador incrível, obrigada por compartilhar comigo aqueles divertidos encontros para produzirmos as postagens da V SIDECT. Obrigada por ser esse tão amigo gentil.

Às/aos professores da banca de qualificação e de defesa: Indianara Lima Silva, Victória Flório Pires de Andrade, Thais Cyrino de Mello Forato, Gabriela Kaiana Ferreira e Alan Alves Brito. Obrigada pela disponibilidade em lerem o trabalho e por contribuírem com ideias tão maravilhosas.

Às/aos docentes das disciplinas obrigatórias e eletivas do PPGECT, pelo esforço em construir discussões importantes nas aulas em um contexto tão desafiador. Quero, em especial, agradecer às professoras Miriam Grossi, Bárbara Amorim e Olga Zigelli, da disciplina “Introdução aos Estudos de Gênero”, cujas discussões foram valiosas na investigação da trajetória da Jocelyn. Também, à professora Andreia Guerra e ao professor Ivã Gurgel, por ofertarem uma disciplina tão incrível de História Cultural.

Ao povo brasileiro, que possibilitou o desenvolvimento desta pesquisa integralmente com a bolsa de mestrado e ao CNPq.

À Jocelyn Bell Burnell, obrigada por construir a história de uma cientista tão maravilhosa e inspiradora.

Muito obrigada! ♥

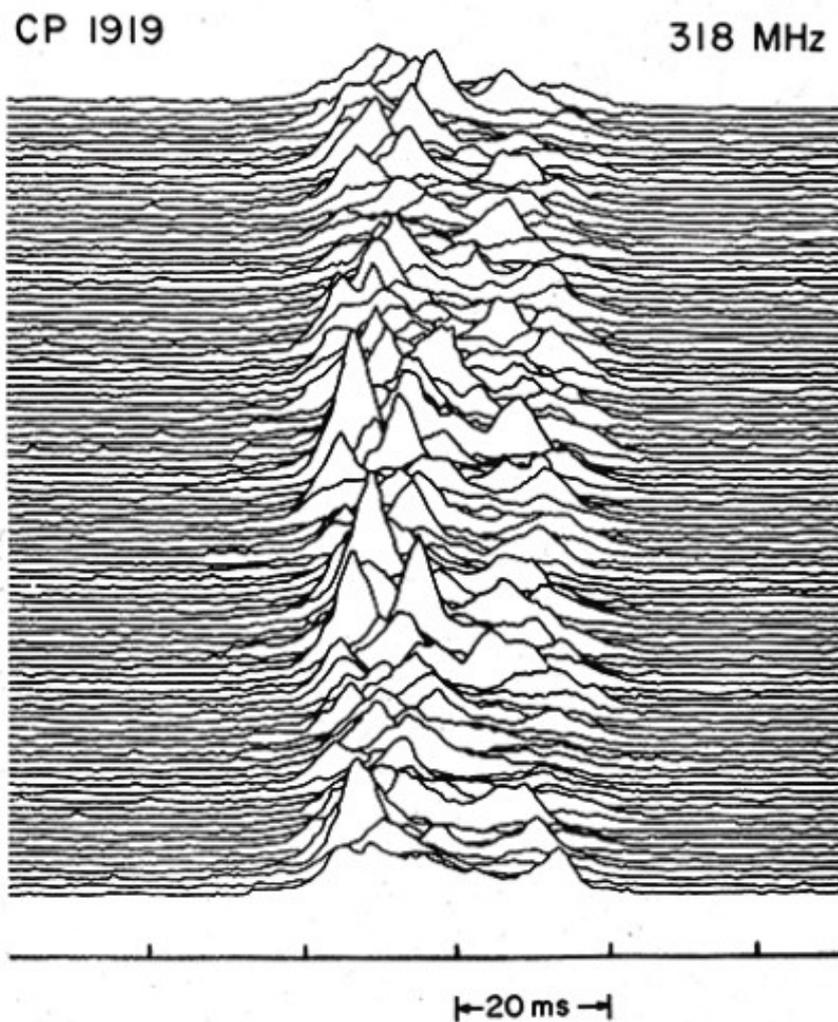


Fig. 2. - 100 consecutive pulses from the pulsar CP 1919. Time increases from bottom to top. Pulsar period is 1.34 seconds.

A imagem, presente na tese de doutorado intitulada *Radio Observations of the Pulse Profiles and Dispersion Measures of Twelve Pulsars* do radioastrônomo Harold D. Craft Jr., ilustra ondas de rádio emitidas pelo primeiro pulsar identificado por Jocelyn Bell Burnell.

O registro serviu de inspiração para a capa do álbum *Unknown Pleasures*, da banda *Joy Division*.

RESUMO

Diversas pesquisas da área de Ensino de Ciências evidenciam a importância do desenvolvimento, em sala de aula, de discussões *sobre* ciência, e não apenas a simples e usual apresentação dos resultados científicos. Nesta perspectiva, argumenta-se a potencialidade da abordagem didática de elementos da História e da Filosofia da Ciência (HFC) de maneira a promover reflexões profícuas sobre a Natureza da Ciência (NdC). Ademais, investigações do campo de História das Mulheres nas Ciências destacam a importância do desenvolvimento de narrativas históricas sobre trajetórias e contribuições de mulheres cientistas, de forma a ensinar uma educação científica mais plural e diversa. O objetivo geral desta dissertação consistiu em desenvolver um estudo histórico-epistemológico sobre a identificação e compreensão dos primeiros pulsares, evento científico protagonizado pela astrônoma Jocelyn Bell Burnell e propor uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa sobre a temática na perspectiva de formação de docentes em Física e em Astronomia. Os estudos desenvolvidos, com base em aspectos da Análise Documental, no formato de artigos, indicam a potencialidade da discussão da história da descoberta dos pulsares em reflexões de NdC, como a serendipidade na ciência e a importância da coletividade no processo de construção conceitual sobre um novo fenômeno, por meio de referenciais epistemológicos como os de Thomas Kuhn e Ludwik Fleck. Também, igualmente sugerem a possibilidade de discussão de elementos de Gênero e Ciências que se manifestam na trajetória de Jocelyn Bell Burnell, a exemplo do Efeito Matilda, com base em autoras como Margaret Rossiter e Londa Schiebinger. Por último, argumenta-se que a proposta de Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS), fundamentada nos pressupostos educacionais da Teoria da Aprendizagem Significativa Crítica (TASC) de Marco Antônio Moreira, apresenta contribuições no sentido de proporcionar o desenvolvimento em sala de aula, de aspectos históricos sobre os pulsares, fomentando a discussão de elementos sobre a História da Astronomia e sobre a História de Mulheres Cientistas no processo de formação de professoras/es de Física.

Palavras-Chave: Pulsares. Estrelas de Nêutrons. História e Filosofia da Ciência. Natureza da Ciência. Mulheres na Ciência. Gênero e Ciências. Formação de Professores.

ABSTRACT

Several researches in the area of Science Teaching evidence the importance of the development, in the classroom, of discussions about science, and not just the simple and usual presentation of scientific results. In this perspective, it is argued the potential of the didactic approach of elements of the History and Philosophy of Science (HPC) in order to promote fruitful reflections on the Nature of Science (NoS). Furthermore, investigations in the field of History of Women in Science highlight the importance of developing historical narratives about the trajectories and contributions of women scientists, in order to give rise to a more plural and diverse scientific education. The general objective of this dissertation was to develop a historical-epistemological study on the identification and understanding of the first pulsars, a scientific event carried out by the astronomer Jocelyn Bell Burnell, and to propose a Potentially Significant Teaching Unit on the subject to the perspective of teacher education in Physics and Astronomy. The studies developed, based on aspects of Documentary Analysis, in the form of articles, indicate the potential of the discussion of the history of the discovery of pulsars in reflections about NoS, such as serendipity in science and the importance of collectivity in the process of conceptual construction about a new phenomenon, through epistemological references such as Thomas Kuhn and Ludwik Fleck. Also, the studies suggest the possibility of discussing elements of Gender and Science that are manifested in the trajectory of Jocelyn Bell Burnell, such as the Matilda Effect, based on authors such as Margaret Rossiter and Londa Schiebinger. Finally, it is argued the proposal of a Potentially Significant Teaching Unit (PSTU), based on the educational assumptions of the Critical Significant Learning Theory (CSLT) of Marco Antônio Moreira, presents contributions in the sense of providing development in the classroom, of historical aspects about pulsars, promoting the discussion of elements on the History of Astronomy and on the History of Women Scientists in the process of education of Physics Teachers.

Keywords: Pulsars. Neutron Stars. History and Philosophy of Science. Nature of Science. Women in Science. Gender and Science. Teacher Education.

LISTA DE FIGURAS

Artigo 2

Figura 1 - Jocelyn Bell e o radiotelescópio Interplanetary Scintillation Array.	69
Figura 2 – Jocelyn Bell e os longos gráficos, no ano de 1974.	72
Figura 3 - Registro casual do sinal CP1919 por Jocelyn Bell em agosto de 1967.....	73
Figura 4 – Registro dos pulsos em novembro de 1967.....	75
Figura 5 – Cabeçalho do artigo publicado na <i>Nature</i> no início de 1968.	85

Artigo 4

Figura 1 – Jocelyn Bell Burnell.....	153
Figura 2 – Jocelyn Bell Burnell na <i>Open University</i>	156

LISTA DE QUADROS

Artigo 1

Quadro 1 – Listagem de periódicos acessados.....	35
Quadro 2 – Listagem de eventos acessados.....	36
Quadro 3 – Listagem de artigos selecionados dos periódicos.....	37
Quadro 4 – Listagem de artigos selecionados das atas dos eventos.....	39
Quadro 5 – Listagem de dissertações e teses.....	40

Artigo 5

Quadro 1 – Proposição da UEPS.....	183
------------------------------------	-----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BDTD – Biblioteca Digital de Teses e Dissertações

CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior

CBEF – Caderno Brasileiro de Ensino de Física

ENPEC – Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências

EPEF – Encontro de Pesquisa em Ensino de Física

HFC – História e Filosofia da Ciência

NdC – Natureza da Ciência

RBEF – Revista Brasileira de Ensino de Física

RELEA – Revista Latino-Americana em Educação em Astronomia

SNEF – Simpósio Nacional de Ensino de Física

TAS – Teoria de Aprendizagem Significativa

TASC – Teoria de Aprendizagem Significativa Crítica

UEPS – Unidade de Ensino Potencialmente Significativa

UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	15
1.1 ELEMENTOS METODOLÓGICOS.....	20
REFERÊNCIAS	22
1 JOCELYN BELL BURNELL E A DESCOBERTA DOS PULSARES: REVISANDO PESQUISAS DO ENSINO DE FÍSICA E DE ASTRONOMIA EM UMA PERSPECTIVA HISTÓRICA	26
1.1 INTRODUÇÃO	26
1.2 OS PULSARES: BREVE CONTEXTUALIZAÇÃO HISTÓRICA	30
1.3 CAMINHO METODOLÓGICO.....	34
1.4 CARACTERIZAÇÃO GERAL DAS PESQUISAS.....	37
1.4.1 Periódicos	37
1.4.2 Eventos.....	38
1.4.3 Dissertações e Teses	40
1.5 ANÁLISE DAS PESQUISAS	42
1.5.1 Contexto de Detecção dos Primeiros Pulsares	42
1.5.2 Contexto de Pré-Detecção dos Pulsares.....	45
1.5.3 Contexto de Pós-Detecção dos Pulsares	48
1.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	51
REFERÊNCIAS	53
2 LITTLE GREEN MEN: O EPISÓDIO DE DETECÇÃO DOS PULSARES E O PROTAGONISMO DE JOCELYN BELL BURNELL	61
2.1 INTRODUÇÃO	61
2.2 PRESSUPOSTOS TEÓRICO-METODOLÓGICOS	64
2.3 O EPISÓDIO DE DETECÇÃO DOS PULSARES.....	65
2.3.1 A Procura por Quasares por Jocelyn Bell	65
2.3.2 Belisha Beacon: O Achado Inesperado.....	72

2.3.3	Os Homenzinhos Verdes: como explicar e anunciar os sinais?	76
2.3.4	Um Adendo Nesta História: Steady State <i>versus</i> Big Bang	81
2.3.5	O Segundo Achado: Adeus, Little Green Men!.....	82
2.3.6	Encaminhamentos para o Contexto Pós-Detecção.....	84
2.4	A DETECÇÃO DOS PULSARES: REFLEXÕES EPISTEMOLÓGICAS	87
2.5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	96
	REFERÊNCIAS	99
3	PULSATING STARS: O CONTEXTO HISTÓRICO DE PÓS-DETECÇÃO DOS PULSARES NO CAMPO DA FÍSICA E DA ASTRONOMIA	106
3.1	INTRODUÇÃO	106
3.2	PRESSUPOSTOS TEÓRICO-METODOLÓGICOS	108
3.3	O CONTEXTO DE PÓS-DETECÇÃO DOS PULSARES.....	110
3.3.1	As Primeiras Comunicações.....	110
3.3.2	O Comportamento Enigmático dos Pulsares	114
3.3.3	Vela e Caranguejo: Os Pulsares	119
3.3.4	Descobertas “Quase” Acidentais.....	124
3.4	PÓS-DETECÇÃO DOS PULSARES: REFLEXÕES EPISTEMOLÓGICAS ...	127
3.5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	133
	REFERÊNCIAS	136
4	LOOK DEAR, YOU’VE MADE A DISCOVERY: ASPECTOS DA VIDA E DA TRAJETÓRIA DA ASTRÔNOMA JOCELYN BELL BURNELL.....	141
4.1	INTRODUÇÃO	141
4.2	ELEMENTOS DA VIDA E TRAJETÓRIA DE BELL BURNELL.....	144
4.2.1	Susan Jocelyn Bell.....	144
4.2.2	1965-1968: Atuação em Cambridge	147
4.2.3	No-Bell.....	151
4.2.4	Pós-Pulsares.....	154

4.3	DISCUSSÕES DE GÊNERO NA HISTÓRIA DE BELL BURNELL	157
4.4	CONSIDERAÇÕES FINAIS	164
	REFERÊNCIAS	167
5	OS FARÓIS ASTRONÔMICOS NA SALA DE AULA: PROPOSIÇÃO DE UMA UNIDADE DE ENSINO SOBRE OS PULSARES PARA A FORMAÇÃO DOCENTE EM FÍSICA E ASTRONOMIA	172
5.1	INTRODUÇÃO	172
5.2	UEPS: ELEMENTOS TEÓRICO-METODOLÓGICOS	175
5.3	PULSARES EM SALA DE AULA: PROPOSIÇÃO DA UEPS	179
5.4	CONSIDERAÇÕES SOBRE A UEPS	188
	REFERÊNCIAS	191
	CONSIDERAÇÕES FINAIS	194
	REFERÊNCIAS	201

INTRODUÇÃO

*“Science is a quest for understanding.
A search for truth seems to me to be full of pitfalls.
I think a search for understanding is much more serviceable to humankind,
and is a sufficiently ambitious goal of itself”.*

Jocelyn Bell Burnell¹

Dentre vários aspectos, pesquisas em educação em ciências evidenciam a importância da abordagem, em sala de aula, de elementos *sobre* a ciência que possam extrapolar a simples apresentação dos resultados científicos (MATTHEWS, 1995; GIL PÉREZ *et al.*, 2001; MARTINS, 2007; FORATO; PIETROCOLA; MARTINS, 2011; MOURA, 2014; PEDUZZI; RAICIK, 2020). Esta necessidade passou a ser discutida em decorrência de um ensino de ciências “que se limita, com frequência, a uma simples transmissão de conhecimentos já elaborados” (GIL PÉREZ *et al.*, 2001, p. 135), o que gera a disseminação de concepções problemáticas sobre a construção da ciência (MATTHEWS, 1995). Esses aspectos compreendem, em nível de exemplo, o entendimento da ciência como embasada por um hegemônico método universal, cujos conhecimentos são obtidos necessariamente pela observação ou experimentação, de maneira neutra (GIL PÉREZ *et al.*, 2001). Assim, para contribuir com uma abordagem mais adequada *sobre* a ciência, defende-se “[...] agregar aos conteúdos específicos, os seus aspectos metacientíficos, formativos e culturais, ou seja, buscando uma Educação em, sobre e pela Ciência” (FORATO; PIETROCOLA; MARTINS, 2011, p. 29).

Mesmo não se constituindo em uma abordagem que possibilite modificar esse contexto em sua totalidade, elementos de História e da Filosofia da Ciência (HFC), quando discutidos no âmbito de ensino, podem possibilitar “[...] um entendimento mais integral de matéria científica, isto é, podem contribuir para a superação do mar de falta de significação que se diz ter inundado as salas de aula de ciências” (MATTHEWS, 1995, p. 165). A abordagem destes aspectos proporciona a desconstrução de certos imaginários científicos mediante a discussão de elementos sobre a natureza do conhecimento científico (MOURA, 2014; PEDUZZI; RAICIK, 2020), pois, predominantemente “[...] as Ciências são apresentadas de forma [...] descontextualizada, desconsiderando-se o modo como foram construídas e produzidas” (HEERDT; BATISTA,

¹ Tradução: “*Ciência é busca de entendimento. A busca pela verdade me parece cheia de armadilhas. Acho que a busca por entendimento é muito mais útil para a humanidade e é uma meta suficientemente ambiciosa por si mesma*”. Referência: DISCOVERY of Pulsars (Temporada 1, Episódio 1) Beautiful Minds [Seriado de Televisão]. United Kingdom: BBC, 2010.

2016, p. 35). De outra forma, Gurgel (2020, p. 346), em um recente editorial, aponta a importância desta abordagem no ensino de ciências:

Ensinar precisa ser mais do que fazer estudantes entenderem as “verdades das ciências”; precisamos justificá-las. [...] O conhecimento deve ser apresentado junto com seu contexto de produção. Com isso, voltamos ao papel da história das ciências no ensino. Ela é o principal meio de apresentar o processo de construção das ciências.

No âmbito dos estudos sobre História da Ciência, entretanto, algumas pesquisadoras/es² (LIMA, 2015; CORDEIRO, 2017; MAIA FILHO; SILVA, 2019) apontam a existente omissão histórica de exemplos de mulheres que realizaram importantes contribuições para o campo científico. De fato, “são poucos os trabalhos desenvolvidos no Brasil que abordam a história da ciência e discutem episódios nos quais estão presentes pesquisadoras mulheres” (LIMA, 2015, p. 53). Neste sentido, ações de pesquisa que possam atenuar esta lacuna são relevantes para uma disseminação de

[...] uma ciência mais plural e diversa, contrariando a visão androcêntrica das ciências, mulheres precisam se sentir representadas nas ciências e tecnologia, e certamente, escrever sobre o seu passado é uma forma de tornar isso uma realidade (MAIA FILHO; SILVA, 2019, p. 137).

Em relação ao contexto em educação em ciências, além do relativo desconhecimento destes exemplos pelas/os discentes, outro possível imaginário *sobre* a ciência diz respeito a noções problemáticas sobre o trabalho científico como sendo produzido por “[...] minorias especialmente dotadas, transmitindo-se assim expectativas negativas à maioria dos alunos, com claras discriminações de natureza social e sexual” (GIL PÉREZ *et al.*, 2001, p. 133). Este contexto desconsidera, no âmbito da ciência, “a colaboração de mulheres, latinas/os, negras/os, africanas/os, orientais [...] assumindo como inexistentes as contribuições desses grupos para o desenvolvimento científico e tecnológico” (LIMA, 2015, p. 53).

Neste sentido, intencionando demonstrar uma ciência que envolve “casualidades, erros, intuições, ações criativas; produção de homens e mulheres” (PEDUZZI; RAICIK, 2020, p. 42), esta pesquisa objetiva ensejar estudos sobre contribuições e trajetórias de exemplos de mulheres cientistas. Nesta perspectiva, como recorte de pesquisa, selecionamos a figura da astrônoma britânica Jocelyn Bell Burnell. A escolha desta cientista ocorreu como resultado de uma pesquisa sobre mulheres na ciência iniciada na graduação, que investigou as contribuições de mulheres laureadas no Prêmio Nobel de Física (PIRES, 2019). A partir do desenvolvimento deste estudo,

² A opção de escrita da diferenciação de gênero na ordem feminina/masculina consiste em um posicionamento simbólico, que objetiva ressaltar o protagonismo de mulheres em instituições como a ciência.

foi possível evidenciar como potencialidades futuras de pesquisa, a necessidade de se investigar a atuação de mulheres que contribuíram significativamente para a ciência do Século XX, mas que não foram reconhecidas pela láurea (CORDEIRO, 2013).

Este é o caso de Bell Burnell, cujas contribuições são percebidas no campo da Astronomia. Em sua pesquisa de doutorado, esta cientista identificou a existência de objetos estelares que posteriormente foram denominados *pulsares*, que são, essencialmente, estrelas de nêutrons que transformam sua energia de rotação em energia eletromagnética. A pesquisa protagonizada por Bell Burnell foi reconhecida no Prêmio Nobel de Física em 1974; no entanto, apenas o orientador da cientista, Antony Hewish, recebeu a láurea (ZAGUETTO; VENANCIO, 2014).

Considerando esta contextualização, esta dissertação de mestrado apresenta como objetivo geral desenvolver um estudo histórico-epistemológico sobre a descoberta dos pulsares por Jocelyn Bell Burnell na década de 1960 e propor uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa sobre esta temática para a formação inicial de docentes em Física e em Astronomia. Com base neste objetivo, a pergunta de pesquisa que pretendemos responder é a seguinte: *“Que discussões de e sobre ciência, direcionadas ao contexto de formação inicial de docentes em Física e em Astronomia, podem ser desenvolvidas por meio da investigação de elementos históricos envolvidos na descoberta dos pulsares, que foram identificados pela astrônoma Jocelyn Bell Burnell?”*. Para atender este objetivo geral, apresentamos cinco intenções mais específicas a serem discutidas no trabalho, as quais são:

(a) evidenciar, por meio de uma pesquisa bibliográfica, como trabalhos acadêmicos publicados em periódicos, eventos de ensino de ciências e dissertações e de teses do ensino de Física e de Astronomia abordam aspectos sobre a história da descoberta dos pulsares e o protagonismo de Jocelyn Bell Burnell;

(b) elencar discussões relativas à Natureza da Ciência que se apresentam em elementos históricos sobre a descoberta dos pulsares por Jocelyn Bell Burnell, considerando referenciais modernos do campo da Epistemologia e Filosofia da Ciência;

(c) realizar um estudo biográfico sobre a trajetória acadêmica de Jocelyn Bell Burnell, considerando referenciais de Gênero e Ciências, que evidencie elementos para discussão sobre a presença das mulheres no campo científico;

(d) explicitar conhecimentos de Física e de Astronomia que proporcionem o entendimento conceitual dos pulsares;

(e) propor uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa, com base no referencial da Teoria da Aprendizagem Significativa Crítica, que promova o desenvolvimento

deste estudo para a educação científica na formação inicial de docentes em Física e em Astronomia.

A discussão destes objetivos específicos será estruturada por meio da escrita de artigos. No âmbito do Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica da Universidade Federal de Santa Catarina, por exemplo, determinadas pesquisas estão adotando esta modalidade de escrita (CORDEIRO, 2011, 2016; TENFEN, 2011; RAICIK, 2015, 2019; DAMASIO, 2017; JORGE, 2018). Este formato também é utilizado por pesquisadoras/es em outras instituições, como no Programa de Pós-Graduação em Ensino, Filosofia e História das Ciências da Universidade Federal da Bahia (TEIXEIRA, 2010, SANTANA, 2011, QUEIROZ, 2014; SANTOS, 2017; LAMBIASE, 2019). Ainda que seja desafiador escrever neste formato, existem importantes potencialidades em desenvolver dissertações e teses na forma de múltiplos artigos.

Em nível de exemplo, existe a possibilidade de uma maior comunicação entre os pares durante o processo de redação do trabalho, por meio do retorno de pareceres dos artigos em periódicos e em eventos, o que permite vivenciar “a experiência da divulgação de seus trabalhos perante a comunidade e as críticas decorrentes deste processo” (DAMASIO, 2017, p. 32). Também, este formato alternativo de escrita proporciona que cada artigo, “[...] enquanto for considerado como parte independente do trabalho, em geral, é pensado como uma pesquisa própria, com seus métodos e técnicas próprias” (TEIXEIRA, 2010, p. 10). Este aspecto demonstra a diversificação de métodos de pesquisa, pelo fato de que cada artigo pode exigir um caminho metodológico diferente a depender dos objetivos específicos.

Não obstante, problemáticas também se apresentam na adesão a este formato de escrita, como a sobreposição, que consiste na repetição de alguns argumentos nos artigos que constituem a dissertação; e a fragmentação, relacionada à separação das discussões em vários artigos (TEIXEIRA, 2010). Por outro lado, a reiteração de determinados aspectos “[...] em momentos oportunos, e em contextos distintos, nos artigos que compõem a pesquisa, confere [...] maior clareza e identidade a ela” (RAICIK, 2019, p. 21). Além disso, em relação à fragmentação das discussões, o capítulo introdutório pode amenizar esse aspecto, pelo fato de que “[...] ao descrever o contexto no qual o trabalho foi desenvolvido, mostra a conexão entre os capítulos na constituição do trabalho como um todo” (TEIXEIRA, 2010, p. 11). Da mesma forma, as considerações finais do trabalho “[...] contornam esta limitação, proporcionando uma visão geral da investigação” (DAMASIO, 2017, p. 32). Deste modo, ainda que os artigos que constituem esta dissertação possam ser compreendidos de maneira independente, todos contemplam discussões

de aspectos relacionados à história da descoberta dos pulsares e possíveis implicações para sua abordagem no ensino de Física e de Astronomia.

No primeiro artigo, desenvolvemos uma pesquisa bibliográfica sobre a abordagem das estrelas de nêutrons e dos pulsares no ensino de Física e de Astronomia, com o objetivo de estabelecer um panorama sobre as formas pelas quais se discute este tema no âmbito do ensino. Assim, o artigo intitulado “*Jocelyn Bell Burnell e a Descoberta dos Pulsares: Revisando Pesquisas do Ensino de Física e de Astronomia em uma Perspectiva Histórica*” contempla uma análise dos aspectos históricos sobre as estrelas de nêutrons e os pulsares presentes em pesquisas publicadas em periódicos e em eventos de ensino de ciências, além de dissertações de mestrado e teses de doutorado do campo do ensino de Física e de Astronomia. Além disso, sugere algumas potencialidades de discussões de aspectos relativos à Natureza da Ciência por meio do estudo da história dos pulsares.

O segundo artigo da dissertação que tem como título “*Little Green Men: o Episódio de Detecção dos Pulsares e o Protagonismo de Jocelyn Bell Burnell*” apresenta elementos históricos sobre o contexto de detecção dos pulsares, evento científico que aconteceu ao término da década de 1960, sob o enfoque do trabalho acadêmico da astrônoma Jocelyn Bell Burnell. A construção dessa discussão está baseada em relatos elaborados pela própria cientista e pelo seu orientador e de estudos que proporcionam uma retrospectiva histórica de aspectos deste episódio. O artigo contempla discussões sobre a natureza da ciência, embasadas em Thomas Kuhn e Norwood Hanson, que envolvem, por exemplo, a presença da serendipidade em descobertas científicas e no episódio tratado, em particular, além de promover vínculos com o ensino de Física e de Astronomia.

Apresentamos no terceiro artigo, intitulado “*Pulsating Stars: o Contexto Histórico de Pós-Detecção dos Pulsares no Campo da Física e da Astronomia*”, as influências do trabalho protagonizado por Jocelyn Bell Burnell para o campo da Astronomia, por meio da discussão de elementos envolvidos no contexto científico de compreensão conceitual desse novo objeto celeste pela comunidade científica. As discussões de natureza da ciência consideradas no artigo enfatizam o processo de construção coletiva do conhecimento científico, mediante considerações fundamentadas em Ludwik Fleck e Thomas Kuhn. As reflexões geradas demonstram a potencialidade do episódio histórico em desenvolver discussões que questionam noções empírico-indutivistas de ciência.

Compreendendo que os cientistas não devem ser mencionados somente pelos conhecimentos que produzem, no quarto artigo, “*Look Dear, You’ve Made a Discovery: Aspectos da Vida e da Trajetória da Astrônoma Jocelyn Bell Burnell*”, pretendemos apresentar elementos da

trajetória acadêmica de Jocelyn Bell Burnell, com base em referenciais que articulam discussões de gênero e ciências. De maneira a problematizar a presença das mulheres na ciência, evidenciaremos aspectos observados na carreira da astrônoma que possibilitam refletir sobre dificuldades encontradas por mulheres na ascensão e na permanência no campo científico e acadêmico. Além disso, discutiremos seu papel decisivo na descoberta dos pulsares. Assim, acreditamos que seja possível refletir sobre a necessidade de ações que oportunizem a construção de uma ciência mais plural em um contexto de omissão histórica das contribuições das mulheres na ciência e na tecnologia.

No quinto artigo, “*Os Faróis Astronômicos na Sala de Aula: Proposição de uma Unidade de Ensino sobre os Pulsares para a Formação Docente em Física e Astronomia*”, apresentamos uma proposta de Unidade Didática voltada para a formação inicial da Licenciatura em Física e em Astronomia, baseadas nos termos de uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS), em coerência com o referencial da Teoria da Aprendizagem Significativa Crítica (TASC) de Marco Antônio Moreira. Os artigos da dissertação, ou extratos dos mesmos, farão parte das atividades desenvolvidas na unidade de ensino.

Na seção de Considerações Finais, discutiremos o objetivo geral e os objetivos específicos que orientaram o desenvolvimento da dissertação perante os resultados alcançados, evidenciando os avanços e os limites encontrados no decorrer da pesquisa. Considerando a configuração da dissertação no formato de artigos, também estabeleceremos uma integração das discussões exploradas nos cinco capítulos, de maneira a evidenciar a unidade da pesquisa. Pretendemos, ademais, apontar temáticas relacionadas à história da descoberta dos pulsares que podem ser exploradas em outras investigações. Desse modo, intencionamos que este trabalho possa ensejar o desenvolvimento de uma melhor *compreensão* sobre a própria ciência, sobre o importante lugar das mulheres nas ciências e contribuir com estudos sobre História e Filosofia da Ciência na perspectiva do ensino de Física e de Astronomia. Como apontado por Jocelyn Bell Burnell, “a ciência é a busca por compreensão [...] [que é] uma meta suficientemente ambiciosa por si mesma” (BELL BURNELL, 2010).

1.1 ELEMENTOS METODOLÓGICOS

Neste sentido, a pesquisa apresenta uma perspectiva histórica, com base em fontes documentais e bibliográficas. Desenvolvemos a escrita do trabalho a partir de recomendações preconizadas por estudos em historiografia da ciência, de maneira a contribuir “[...] para uma leitura mais crítica das versões históricas presentes no ensino” (FORATO; PIETROCOLA;

MARTINS, 2011, p. 36). Para a construção dos estudos históricos apresentados especialmente no segundo, terceiro e quarto artigos, consideramos alguns elementos metodológicos da *Análise Documental* (LÜDKE; ANDRÉ, 1986; CELLARD, 2012; KRIPKA; SCHELLER; BONOTTO, 2015; LIMA JUNIOR *et al.*, 2021), que permite “[...] examinar e compreender o teor de documentos [...] e deles, obter as mais significativas informações, conforme os objetivos de pesquisa estabelecidos” (LIMA JUNIOR *et al.*, 2021, p. 38).

Justificamos a escolha desta metodologia pelo fato de seus objetivos se aproximarem às intenções da pesquisa, pois por meio do estudo de documentos, “[...] pode-se operar um corte longitudinal que favorece a observação do processo de [...] evolução de [...] conceitos, conhecimentos [...] bem como o de sua gênese até os nossos dias” (CELLARD, 2012, p. 295). Neste sentido, objetivamos analisar o processo de construção conceitual dos pulsares, com base em documentos primários, “[...] produzidos por pessoas que vivenciaram diretamente o evento que está sendo estudado” (GODOY, 1995, p. 22). Consideramos, por exemplo: relatos sobre o episódio publicados por Jocelyn Bell Burnell; extratos da transcrição do discurso de seu orientador, Antony Hewish, na cerimônia do Prêmio Nobel de Física em 1974; e artigos de cientistas que contribuíram para a construção conceitual desse fenômeno. Além disso, elencamos fontes secundárias, como bibliografias escritas por historiadores e filósofos da ciência, de maneira a se discutir diferentes interpretações de estudiosos que se debruçaram sobre aspectos desse episódio.

Sabendo que o estudo histórico “[...] não deve permanecer somente na descrição, mas deve ir além, oferecendo explicações e discutindo cada contribuição dentro de seu contexto científico” (MARTINS, 2005, p. 306), analisamos esses documentos históricos e bibliográficos, especialmente, a partir de referenciais epistemológicos. Para a análise de documentos, Cellard (2012, p. 306) aponta que “é importante formular, desde o início, algumas ideias diretrizes, propondo um quadro teórico [...] a fim de orientar as análises minuciosas”. Neste sentido, para desenvolver a discussão de aspectos sobre a NdC, definimos a utilização de referenciais epistemológicos, como os estudos de Thomas Kuhn, Ludwik Fleck e Norwood Hanson. Também, ao se discutir sobre a trajetória de Jocelyn Bell Burnell, serão considerados referenciais feministas que abordem as relações entre gênero e ciências.

Para direcionar implicações deste estudo para o ensino de Física e de Astronomia, o referencial educacional que embasa o desenvolvimento da Unidade Didática consiste na Teoria da Aprendizagem Significativa Crítica (TASC), cujos princípios se baseiam, especialmente, nos estudos de Moreira (MOREIRA, 1999, 2005). Neste âmbito, há a intenção de considerarmos,

como metodologia de ensino, os pressupostos indicados pelas Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS) (MOREIRA, 2011). Com base em seus aspectos sequenciais, pretendemos construir um módulo de ensino que apresente como temática a abordagem histórico-epistemológica sobre os pulsares, de maneira a contribuir na formação inicial de licenciandas/os em Física e em Astronomia.

REFERÊNCIAS

- BELL BURNELL, J. Discovery of Pulsars (Temporada 1, Episódio 1) **Beautiful Minds** [Seriado de Televisão]. United Kingdom: BBC, 2010.
- CELLARD, A. A análise documental. In: POUPART, J. *et al.* (Ed.). **A Pesquisa Qualitativa: enfoques epistemológicos e metodológicos**. 3. ed. Petrópolis: Editora Vozes, 2012. p. 295–315.
- CORDEIRO, M. D. **Dos Curie a Rutherford: aspectos históricos e epistemológicos da radioatividade na formação científica**. 2011. Florianópolis. 234 p. Dissertação (Mestrado em Educação Científica e Tecnológica) - Universidade Federal de Santa Catarina.
- CORDEIRO, M. D. Questões de gênero na ciência e na educação científica: uma discussão centrada no Prêmio Nobel de Física de 1903. In: Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, 9., Águas de Lindóia. **Anais...** Águas de Lindóia: Associação Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências, 2013.
- CORDEIRO, M. D. **Ciência e Valores na História da Fissão Nuclear: Potencialidades para a Educação Científica**. 2016. Florianópolis. 228 p. Tese (Doutorado em Educação Científica e Tecnológica) - Universidade Federal de Santa Catarina.
- CORDEIRO, M. D. Mulheres na Física: um pouco de história. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 34, n. 3, p. 669–672, 2017.
- DAMASIO, F. **História da Ciência na Educação Científica: uma abordagem epistemológica de Paul Feyerabend procurando promover a Aprendizagem Significativa Crítica**. 2017. Florianópolis. 404 p. Tese (Doutorado em Educação Científica e Tecnológica) - Universidade Federal de Santa Catarina.
- FORATO, T. C. M.; PIETROCOLA, M.; MARTINS, R. A. Historiografia e Natureza da Ciência na sala de aula. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 28, n. 1, p. 27–59, 2011.
- GIL PÉREZ, D. *et al.* Para uma imagem não deformada do trabalho científico. **Ciência & Educação**, v. 7, n. 2, p. 125–153, 2001.
- GODOY, A. S. Pesquisa qualitativa: tipos fundamentais. **Revista de Administração de Empresas**, v. 35, n. 3, p. 20–29, 1995.
- GURGEL, I. Reflexões Político-Curriculares sobre a Importância da História das Ciências no Contexto da Crise da Modernidade. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 37, n. 2, p. 333–350, 2020.

HEERDT, B.; BATISTA, I. L. Questões de Gênero e da Natureza da Ciência na Formação Docente. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 21, n. 2, p. 30-51, 2016.

JORGE, L. **Na Formação de Professores e Cientistas: uma HQ sobre aspectos da NdC e imagens: encantar-se com os entre-(en)laces.** 2018. Florianópolis. 335 p. Dissertação (Mestrado em Educação Científica e Tecnológica) - Universidade Federal de Santa Catarina.

KRIPKA, R. M. L.; SCHELLER, M.; BONOTTO, D. D. L. Pesquisa documental na pesquisa qualitativa: conceitos e caracterização. **Revista de Investigaciones UNAD**, v. 41, n. 2, p. 55–73, 2015.

LAMBIASE, R. G. P. **Perspectivas e desafios da licenciatura para a educação profissional: um estudo de caso.** 2019. Salvador. 137 p. Tese (Doutorado em Ensino, Filosofia e História das Ciências) – Universidade Federal da Bahia, Universidade Estadual de Feira de Santana.

LIMA JUNIOR, E. B. *et al.* Análise Documental como Percurso Metodológico na Pesquisa Qualitativa. **Cadernos da FUCAMP**, v. 20, n. 44, p. 36–51, 2021.

LIMA, I. P. C. Lise Meitner e a fissão nuclear: uma visão não eurocêntrica da ciência. **Revista Gênero**, v. 16, n. 1, p. 51–65, 2015.

LÜDKE, M.; ANDRÉ, M. E. D. . Métodos de coleta de dados: observação, entrevista e análise documental. In: LÜDKE, M.; ANDRÉ, M. E. D. . (Ed.). **Pesquisa em educação: abordagens qualitativas.** São Paulo: Editora Pedagógica e Universitária, 1986. p. 25–44.

MAIA FILHO, A. M.; SILVA, I. L. A trajetória de Chien Shiung Wu e a sua contribuição à Física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 36, n. 1, p. 135–157, 2019.

MARTINS, A. F. P. História e Filosofia da Ciência no ensino: Há muitas pedras nesse caminho. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 24, n. 1, p. 112–131, 2007.

MARTINS, L. A. C. P. História da Ciência: objetos, métodos e problemas. **Ciência & Educação**, v. 11, n. 2, p. 305–317, 2005.

MATTHEWS, M. R. História, filosofia e ensino de ciências: a tendência atual de reaproximação. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 12, n. 1, p. 164–214, 1995.

MOREIRA, M. A. **Teorias da Aprendizagem.** São Paulo: Editora Pedagógica e Universitária, 1999.

MOREIRA, M. A. Aprendizagem Significativa Crítica. **Indivisa, Boletín de Estudios e Investigación**, n. 6, p. 83–101, 2005.

MOREIRA, M. A. Unidades de Enseñanza Potencialmente Significativas - UEPS. **Aprendizagem Significativa em Revista**, v. 1, n. 2, p. 43–63, 2011.

MOURA, B. A. O que é Natureza da Ciência e qual sua relação com a História e Filosofia da Ciência. **Revista Brasileira de História da Ciência**, v. 7, n. 1, p. 32–46, 2014.

PEDUZZI, L. O. Q.; RAICIK, A. C. Sobre a Natureza da Ciência: asserções comentadas para uma articulação com a história da ciência. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 25, n. 2, p. 19–55, 2020.

PIRES, L. N. **As Mulheres e o Prêmio Nobel**: as pesquisas de Maria Goeppert-Mayer e Donna Strickland e suas implicações no ensino de Física. 2019. Araranguá. 101 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Física) - Instituto Federal de Santa Catarina.

QUEIROZ, M. R. P. P. **A matemática financeira situada em contextos bancários e em livros didáticos**. 2014. Salvador, 135 p. Tese (Doutorado em Ensino, Filosofia e História das Ciências) – Universidade Federal da Bahia, Universidade Estadual de Feira de Santana.

RAICIK, A. C. **Experimentos exploratórios**: os contextos da descoberta e da justificativa nos trabalhos de Gray e Du Fay. 2015. Florianópolis. 233 p. Dissertação (Mestrado em Educação Científica e Tecnológica) - Universidade Federal de Santa Catarina.

RAICIK, A. C. **Experimentos exploratórios e experimentos cruciais no âmbito de uma controvérsia científica**: o caso de Galvani e Volta e suas implicações para o ensino. 2019. Florianópolis. 330 p. Tese (Doutorado em Educação Científica e Tecnológica) - Universidade Federal de Santa Catarina.

SANTANA, T. S. **A regulação da produção discursiva entre professor e alunos em um ambiente de modelagem matemática**. 2011. Salvador. 112f. Dissertação (Mestrado em Ensino, Filosofia e História das Ciências) – Universidade Federal da Bahia, Universidade Estadual de Feira de Santana.

SANTOS, G. L. D. **Um modelo teórico de matemática para o ensino do conceito de função**. 2017. Salvador. 165f. Tese (Doutorado em Ensino, Filosofia e História das Ciências) – Universidade Federal da Bahia, Universidade Estadual de Feira de Santana.

TEIXEIRA, E. S. **Argumentação e abordagem contextual no ensino de Física**. 2010. Salvador. 148 p. Tese (Doutorado em Ensino, Filosofia e História das Ciências) - Universidade Federal da Bahia, Universidade Estadual de Feira de Santana.

TENFEN, D. N. **Mapas conceituais como ferramenta para a organização do conhecimento em uma disciplina sobre história da Física**. 2011. Florianópolis. 206 p. Dissertação (Mestrado em Educação Científica e Tecnológica) - Universidade Federal de Santa Catarina.

ZAGUETTO, A. P.; VENANCIO, T. Os percalços do Nobel: deslizes e polêmicas do grande prêmio. **ComCiência**, n. 164, 2014.

Artigo 1

JOCELYN BELL BURNELL E A DESCOBERTA DOS PULSARES: REVISANDO PESQUISAS DO ENSINO DE FÍSICA E DE ASTRONOMIA EM UMA PERSPECTIVA HISTÓRICA

“Scientists should never claim that something is absolutely true. You should never claim perfect, or total, or 100% because you never ever get there”.

Jocelyn Bell Burnell³

³ Tradução: “Os cientistas nunca devem alegar que algo é absolutamente verdadeiro. Você nunca deve reivindicar perfeição, ou totalidade, ou 100%, porque você nunca chegará lá”. Referência: DISCOVERY of Pulsars (Temporada 1, Episódio 1) Beautiful Minds [Seriado de Televisão]. United Kingdom: BBC, 2010.

1 JOCELYN BELL BURNELL E A DESCOBERTA DOS PULSARES: REVISANDO PESQUISAS DO ENSINO DE FÍSICA E DE ASTRONOMIA EM UMA PERSPECTIVA HISTÓRICA⁴

RESUMO: A detecção das estrelas de nêutrons consiste em um dos eventos científicos mais singulares para o campo da Astronomia. Esta descoberta, protagonizada pela astrônoma Jocelyn Bell Burnell, possibilitou a identificação dos primeiros sinais que viriam posteriormente a serem reconhecidos como pulsares, o que permitiu uma melhor compreensão sobre o processo de evolução das estrelas. No ensino de Física e de Astronomia, no entanto, existe um desconhecimento das/os docentes e discentes sobre o processo de evolução estelar. Neste artigo, desenvolvemos uma pesquisa bibliográfica de maneira a investigar como a história da descoberta dos pulsares e a atuação de Jocelyn Bell Burnell neste episódio se manifesta em trabalhos publicados nas últimas décadas no campo do ensino de Física e de Astronomia, bem como em pesquisas acadêmicas destas áreas. Para o estudo, selecionamos 35 trabalhos, dentre artigos publicados em periódicos e eventos, além de dissertações e teses. O desenvolvimento da análise se baseou em fontes primárias e secundárias que versam sobre elementos históricos relativos à descoberta dos pulsares. Concluímos que pontuais trabalhos realizam uma discussão histórica sobre estes objetos celestes, principalmente produções acadêmicas no campo da Física e da Astronomia, enquanto pesquisas no campo do ensino concentram discussões em um âmbito mais conceitual. Indicamos que este episódio apresenta potencialidades para estudos sobre natureza da ciência e sobre a visibilidade das mulheres na ciência.

Palavras-Chave: Pulsares; Estrelas de Nêutrons; Jocelyn Bell Burnell; História da Física e da Astronomia.

1.1 INTRODUÇÃO

Embora o fascínio em relação às estrelas remonte aos primórdios da humanidade, constituindo “tanto um refúgio quanto uma referência para os seres humanos” (STASINSKA, 2010, p. 674), a compreensão desses objetos começou a se delinear com o desenvolvimento da Astronomia e da Astrofísica. De fato, as maiores contribuições deste campo do conhecimento “não são as aplicações tecnológicas, ou os seus [...] avanços científicos, mas a oportunidade de

⁴ Este capítulo foi publicado na íntegra no volume 26, número 3 da *Revista Investigações em Ensino de Ciências* no ano de 2021. Disponível em: <https://www.if.ufrgs.br/cref/ojs/index.php/ienci/article/view/2517>. Acesso em: 18 abr. 2022.

alargarmos os nossos limitados horizontes, a fim de descobrirmos a beleza e a grandeza do universo, bem como o nosso lugar nesse contexto” (DARROZ *et al.*, 2014, p. 119).

Um dos esforços científicos desenvolvidos por astrofísicas/os consiste na compreensão das características e do comportamento das estrelas. A consolidação do Diagrama de Hertzsprung-Russell possibilitou compreendermos que a depender de determinadas características como sua massa e sua temperatura, as estrelas estão destinadas a serem anãs brancas, estrelas de nêutrons ou até buracos negros ao final de sua evolução estelar. Sobre isso, o historiador da ciência Steven Dick (2013, p. 337), aponta que “[...] uma vez aceito o conceito de evolução estelar, o problema era determinar quais estrelas estavam em quais estágios e como a física funcionava em condições variadas, entre os maiores quebra-cabeças da história da ciência”.

Neste âmbito, a detecção das estrelas de nêutrons consistiu em um dos eventos científicos mais singulares para o campo da Astronomia (MCNAMARA, 2008), possibilitando-nos uma melhor compreensão acerca da evolução estelar. Este achado se demonstrou mediante as pesquisas desenvolvidas, durante a década de 1960, por radioastrônomos da Universidade de Cambridge. Neste contexto, a astrônoma britânica Jocelyn Bell Burnell, em meio a sua pesquisa de doutorado, protagonizou a detecção dos primeiros sinais astronômicos que viriam posteriormente a ser reconhecidos como pulsares (MCGRAYNE, 1998). Estes objetos, além de possibilitarem o desenvolvimento de estudos sobre uma diferenciada categoria de corpos estelares, foram responsáveis pela corroboração de previsões teóricas relativas às estrelas de nêutrons. Assim, McNamara (2008, p. 1), em seu livro *Clocks In The Sky: The Story of Pulsars*, evidencia algumas características destes objetos:

Os pulsares, ao que parece, têm o potencial de revelar aspectos muito diversos do universo, como a natureza do espaço-tempo e as propriedades fundamentais da matéria. [...] E, ao girarem, emitem raios de radiação - luz, rádio e raios-X - que fluem para o espaço. Se um dos raios cruza a Terra, o pulsar parece piscar como um sinal de alerta que marca o local de um cataclismo estelar. Essa gama de características únicas torna os pulsares como laboratórios para testar fenômenos com significado não apenas astronômico, mas cosmológico. A incrível precisão dos pulsares permite que os astrônomos estudem uma das previsões mais importantes da relatividade geral, as ondas gravitacionais. As taxas de rotação dos pulsares são tão precisas que são consideradas uma das fontes de tempo mais exatas.

Em relação à discussão deste conceito no contexto de ensino de Física e de Astronomia, pesquisadoras/es relatam a relativa escassez na abordagem didática acerca de conhecimentos de Astrofísica (HENRIQUE; ANDRADE; L’ASTORINA, 2010; DARROZ *et al.*, 2014). Algumas pesquisas evidenciam, especificamente, que aspectos relativos ao comportamento e evolução das estrelas não são compreendidos em sua totalidade pelas/os docentes atuantes na educação básica

(LEITE; HOSOUME, 2007; SANZOVO; LABURÚ, 2013). Esta situação, predominantemente, é decorrente de um contexto educacional que envolve a ausência de discussões destas temáticas na formação docente inicial e continuada, o que gera insegurança das/dos professoras/es na abordagem dos temas (PEIXOTO; RAMOS, 2011), além da existência de equívocos conceituais, inclusive sobre as estrelas, presentes nas principais fontes de consulta das/os docentes, como os livros didáticos (LANGHI; NARDI, 2007).

Em relação às alunas e aos alunos, a pesquisa de Iachel (2011, p. 21) descreve que, ao analisar as concepções prévias de centenas de discentes do ensino médio sobre as estrelas, “poucos alunos apresentaram ideias de que as estrelas possuem um tempo determinado de ciclo evolutivo, podendo terminar seus processos como uma nebulosa, ou um buraco negro”. Deste modo, constatações como esta nos permitem conjecturar quanto ao desconhecimento sobre discussões conceituais, mas também históricas, sobre as etapas da evolução estelar.

Para contribuir com este contexto, entendemos que a abordagem de Astronomia e de Astrofísica “não cabe como um mero acréscimo de conteúdos a serem tratados em aula, mas [...] pode promover ricos debates sobre a história e a filosofia das ciências” (GAMA; HENRIQUE, 2010, p. 13). Assim, é consensual em pesquisas no âmbito da educação científica que por meio da utilização didática da História e Filosofia da Ciência (HFC) é possível não somente demonstrar os resultados científicos, mas também identificar o contexto de construção destes conhecimentos. No contexto do presente trabalho, o estudo do episódio histórico de descoberta dos pulsares proporciona evidenciar, por exemplo, como cientistas puderam contribuir para o entendimento deste objeto celeste. Por certo, “estudar a História e Filosofia da Ciência é compreender as origens das ideias científicas e as diversas influências sofridas e exercidas por ela” (MOURA, 2014, p. 41).

Além disso, estudar a história dos pulsares permite igualmente problematizar um recorrente debate no campo da educação científica: a discussão histórica sobre a presença de mulheres nas ciências. Justificamos a necessidade destas abordagens pelo fato de que “a promoção da igualdade de gênero nas ciências viabilizará a participação ampla das mulheres, que poderão melhor contribuir para a ciência e tecnologia e serem reconhecidas por suas contribuições” (LIMA, 2013, p. 889). O campo da Astronomia, em especial, apresenta contribuições de diversas mulheres, como Hipátia de Alexandria (350/370-415), Henrietta Swan Leavitt (1868-1921), Cecília Payne-Gaposchkin (1900-1979), Katherine Johnson (1918-2020), Margaret Burbidge (1919-2020), Vera Rubin (1928-2016), bem como Jocelyn Bell Burnell. Desta forma, o desenvolvimento de pesquisas que apresentem o trabalho de mulheres cientistas pode ensejar a apresentação de exemplos de pesquisadoras no contexto educacional, pois a recorrente

ausência desta temática em sala de aula acaba por perpetuar uma visão da ciência pouco inclusiva e pouco diversa por parte das/os discentes e das/os docentes. Em outras palavras, pesquisas “[...] que analisam a presença histórica e os obstáculos enfrentados por essas cientistas [...] permitem que o Ensino de Ciências ultrapasse visões equivocadas de quem faz Ciência, [e que] apesar das dificuldades as mulheres estão produzindo conhecimento” (HEERDT *et al.*, 2018, p. 235).

Percebendo a relevância da discussão desta temática em diferentes perspectivas, objetivamos investigar como a história da descoberta dos pulsares e a atuação de Jocelyn Bell Burnell neste episódio se manifesta em trabalhos do campo do ensino de Física e de Astronomia, bem como em pesquisas acadêmicas destas áreas, com publicação nas últimas décadas. Assim, nesta pesquisa, visamos responder a seguinte pergunta de pesquisa: *“Como os trabalhos do campo de ensino de Ciências e trabalhos acadêmicos de Física e de Astronomia abordam o episódio histórico de descoberta dos pulsares e a contribuição da astrônoma Jocelyn Bell Burnell?”*. Para tanto, desenvolvemos uma revisão bibliográfica em periódicos e em eventos de ensino de Física e de Astronomia, em dissertações e em teses do campo da Física e da Astronomia e das suas respectivas áreas de ensino.

A fundamentação teórica para a análise dos conteúdos históricos presentes nos trabalhos coletados envolveu fontes primárias⁵, como artigos redigidos pela própria astrônoma (BELL BURNELL, 1977, 1983, 2004) e artigos científicos publicados por outros cientistas envolvidos no processo de entendimento dos pulsares (CHADWICK, 1932; BAADE; ZWICKY, 1934; TOLMAN, 1939; OPPENHEIMER; VOLKOFF, 1939; SCHMIDT, 1963; LANDAU, 1965; PACINI, 1967; STAELIN; REIFENSTEIN, 1968; GOLD, 1968; HEWISH *et al.*, 1968; LARGE; VAUGHAN; MILLS, 1968; HULSE; TAYLOR, 1975; CHANDRASEKHAR, 1994); e fontes secundárias, como obras e artigos que dissertam sobre a história dos pulsares (MCGRAYNE, 1998; LONGAIR, 2006; KIDGER, 2007; MCNAMARA, 2008; DICK, 2013; YAKOVLEV *et al.*, 2013; GRAHAM-SMITH, 2014).

Neste artigo, descrevemos uma breve retrospectiva histórica sobre as/os cientistas envolvidas/os no episódio de detecção dos pulsares, evidenciando o protagonismo de Jocelyn Bell Burnell. Em seguida, discutimos os resultados que evidenciam como aspectos históricos sobre a descoberta dos pulsares são explorados nos trabalhos publicados nos últimos anos, intencionando estabelecer um panorama quanto à abordagem deste conceito. A partir disso,

⁵ No contexto desta pesquisa, compartilhamos da definição de fontes primárias e secundárias exposta por Martins (2005, p. 310). Segundo a autora, no âmbito das pesquisas em História da Ciência, fonte primária consiste em um “material da época estudada escrito pelos pesquisadores estudados” e fonte secundária diz respeito a “estudos historiográficos e obras de apoio a respeito do período e dos autores investigados”.

objetivamos também evidenciar as possíveis contribuições do trabalho para futuras pesquisas que possam auxiliar professoras e professores a discutirem este episódio em sala de aula.

1.2 OS PULSARES: BREVE CONTEXTUALIZAÇÃO HISTÓRICA

Os primeiros estudos do que viria a ser conhecido como estrela de nêutrons têm início na década de 1930. Considerando o átomo como constituído por prótons e elétrons, no artigo *On The Theory of Stars*, publicado em 1932, Lev Landau (1908-1968) estabelece a possível existência de estrelas extremamente densas, denominando-as de nucleus stars (LANDAU, 1965). Embora não seja esta a concepção moderna sobre as estrelas de nêutrons, Landau é considerado o primeiro cientista a conjecturar a existência dessas estrelas. Segundo Yakovlev *et al.* (2013, p. 292), “o entendimento de Landau de que prótons e elétrons constituem núcleos atômicos [...] fornece uma prova adicional de que o artigo foi concebido antes da descoberta do nêutron [...] [e] a antecipação de Landau de estrelas densas (de nêutrons) que se parecem com núcleos atômicos gigantes foi presciente”. Além disso, o cientista apresentou contribuições sobre a massa máxima de anãs brancas, aspecto corroborado pelos cálculos posteriores elaborados por outros cientistas (MCNAMARA, 2008).

Em fevereiro de 1932, imediatamente depois de Landau publicar suas considerações, James Chadwick (1891-1974) identifica o nêutron e publica o artigo *Possible Existence of a Neutron* na revista *Nature*. A partir da pesquisa de Chadwick (1932), a previsão inicial de Landau foi explorada pelos astrônomos Fritz Zwicky (1898-1974) e Walter Baade (1893-1960), no ano de 1934. Estes sugeriram a existência das estrelas de nêutrons, além de sugerir que estas se originavam a partir das explosões de supernovas (BAADE; ZWICKY, 1934). Segundo estes autores,

Com todas as reservas, avançamos a ideia de que uma supernova representa a transição de uma estrela comum para uma estrela de nêutrons, consistindo principalmente de nêutrons. Essa estrela pode ter um raio muito pequeno e uma densidade extremamente alta (BAADE; ZWICKY, 1934, p. 263).

Em 1939, Robert Oppenheimer (1904-1967) e George Volkoff (1914-2000), em conjunto com o trabalho de Richard Tolman (1881-1948), sugeriram matematicamente que a massa máxima destas estrelas poderia ser de aproximadamente $0,7M_{\text{sol}}$ (OPPENHEIMER; VOLKOFF, 1939; TOLMAN, 1939), embora valores atuais coloquem este limite na ordem de $3M_{\text{sol}}$. (LONGAIR, 2006). No início da década de 1930, o físico Subrahmanyan Chandrasekhar (1910-1995) já havia calculado um limite análogo para as chamadas anãs brancas (CHANDRASEKHAR, 1994), embora esta pesquisa não tenha recebido, na época, a aceitação de

certos cientistas, como Arthur Eddington (1882-1944). O Limite de Chandrasekhar descreve que a massa máxima de uma anã branca é de aproximadamente $1,4 M_{\text{Sol}}$ (DICK, 2013).

Em meio a este cenário, o campo da Radioastronomia estava começando a se desenvolver. As contribuições na identificação das primeiras fontes de radio estelar por Karl Jansky (1905-1950) e Grote Weber (1911-2002), no início da década de 1930, desencadearam o desenvolvimento dos chamados radiotelescópios, capazes de identificar fontes estelares que emitissem radiação além da faixa da luz visível. Por meio da utilização dos radiotelescópios, os astrônomos puderam identificar os quasares, que se tornaram prioridade nos estudos desses cientistas: nesse contexto, destaca-se o achado de Maarten Schmidt (1929-), que em 1963 identificou o primeiro quasar denominado 3C273 (SCHMIDT, 1963). Com o objetivo de desenvolver mais pesquisas sobre fontes de rádio celestes, o astrônomo Antony Hewish (1924-2021) submeteu um projeto na Universidade de Cambridge para que o grupo de radioastrônomos pudesse construir um radiotelescópio, intitulado *Interplanetary Scintillation Array*, cuja finalidade seria catalogar fontes de rádio, como quasares, a partir do fenômeno chamado de cintilação interplanetária:

Essas flutuações na intensidade das fontes de rádio ocorriam à medida que as ondas de rádio passavam por nosso Sistema Solar. O espaço interplanetário não está totalmente vazio, mas contém gás ionizado fluindo do sol. Irregularidades neste plasma afetam as ondas de rádio por refração e difração; o efeito é conhecido como cintilação interplanetária (GRAHAM-SMITH, 2014, p. 108).

Uma das integrantes do grupo de radioastrônomos de Cambridge era a estudante de pós-graduação Susan Jocelyn Bell (1943-), que nasceu na cidade de Belfast, Irlanda do Norte. Após se formar com honras em Física pela Universidade de Glasgow (MCGRAYNE, 1998), Bell ingressou em seu doutorado em Cambridge, no ano de 1965, sob a orientação de Hewish. Sua tarefa consistia em construir e operar o radiotelescópio, além de analisar os sinais registrados em longos gráficos na procura de quasares:

Quando o telescópio começou a funcionar em julho de 1967, Burnell mudou do trabalho muscular para o cérebro. Aos 24 anos, ela era responsável por operar o telescópio e analisar seus dados [...] O telescópio varria o céu inteiro a cada quatro dias e expelia dados com quatro canetas [...] que cobriam quase 30 metros de papel gráfico diariamente. Burnell analisou os dados manualmente. O telescópio era novo e ninguém estava familiarizado com seu comportamento; então a análise não foi computadorizada (MCGRAYNE, 1998, p. 365).

Após poucos meses do telescópio entrar em operação, Bell Burnell identificou, de maneira inesperada, “[...] um pequeno ruído incomum [...] [que] reaparecia nos 30 metros de

gráfico de papel que o radiotelescópio que ela [a cientista] controlava produzia todos os dias” (KIDGER, 2007, p. 30): estes sinais não puderam ser considerados como quasares e nem como interferências de outros radiotelescópios. Em um primeiro momento, considerou-se que os sinais poderiam ser resultado de interferência humana ou de problemas técnicos com o radiotelescópio (BELL BURNELL, 2004). Com base em outras observações e o auxílio de outros astrônomos, a cientista e os demais membros do grupo identificaram, no mês de novembro de 1967, que este sinal regular apresentava o período de 1,3 segundos (BELL BURNELL, 1977), estando situado na constelação de Vulpecula (BELL BURNELL, 2004).

O grupo de pesquisa de Hewish começou a conjecturar, também, quanto à possibilidade desse sinal consistir na tentativa de uma comunicação extraterrestre – denominando o registro inesperado de *Little Green Men*. Neste contexto, Hewish iniciou a procura de um possível Efeito Doppler emitido pela fonte incomum:

Se os sinais se originassem de um pequeno planeta girando em torno de um sol distante no espaço, os sinais mostrariam evidências de uma mudança Doppler [...] quando um planeta orbitando ao redor de seu sol vem em direção à Terra, suas ondas de rádio são comprimidas. Conforme um planeta se afasta da Terra, as ondas se espalham novamente. No entanto, a equipe de Hewish não encontrou nenhuma evidência de uma mudança Doppler, descartando a possibilidade (MCGRAYNE, 1998, p. 367-368).

Entrementes, Bell encontrou outro sinal periódico em outra posição celeste no final de dezembro de 1967, com um período ainda menor que o primeiro, com 1,2 segundos (BELL BURNELL, 2004). Esse achado, nas palavras da astrônoma, veio a derrubar a hipótese de comunicação extraterrestre, pelo fato de que “era altamente improvável que dois grupos de Little Green Men pudessem escolher a mesma frequência incomum e técnica improvável para sinalizar para o mesmo discreto planeta Terra!” (BELL BURNELL, 1983, p. 168). Em meados de janeiro de 1968, a cientista detectou o terceiro e o quarto sinais com diferentes períodos, ainda menores. A partir desses resultados, o grupo de pesquisa decidiu divulgar os achados por meio da submissão do artigo *Observation of a Rapidly Pulsating Radio Source*, com Hewish e Bell como os primeiros autores, na Revista Nature, em fevereiro de 1968. Até o momento da publicação, não havia consenso sobre a natureza desses sinais. No artigo, o próprio grupo de pesquisa sugeriu que tais achados poderiam ser a manifestação de anãs brancas ou estrelas de nêutrons (HEWISH *et al.*, 1968). Outros cientistas, como Fred Hoyle (1915-2001), conjecturaram que estes pulsos poderiam ser oriundos de uma remanescente de supernova (MCNAMARA, 2008).

A partir desse contexto de detecção deste novo objeto, as contribuições teóricas protagonizadas anteriormente foram retomadas. De fato, a identificação dos primeiros pulsares corroborou “a ideia de Baade e Zwicky de que uma estrela de nêutrons poderia ser o

remanescente deixado para trás após a explosão de uma supernova” (LONGAIR, 2006, p. 67). Cabe destacar que, antes da detecção realizada por Bell Burnell e colaboradores, os cientistas apresentavam um interesse teórico no estudo destas estrelas; no entanto, esforços destinados para seu estudo observacional eram reduzidos, pois por “serem estrelas muito compactas, com raios de apenas 10 até 20 km, acreditava-se que a única chance de observá-las seria como emissores de raios-X fracos” (LONGAIR, 2006, p. 192). Segundo Graham-Smith (2014, p. 108), ainda, “é justo dizer que a maioria dos primeiros radioastrônomos começaram com uma formação em engenharia de comunicação em vez de física nuclear, e a ideia de uma estrela de nêutrons não estava em suas mentes quando o primeiro pulsar foi descoberto”.

Em 1967, alguns meses antes das primeiras detecções realizadas por Bell, Franco Pacini (1939-2012) indicou que a origem da fonte de energia detectada na Nebulosa do Caranguejo, considerada uma remanescente de supernova, poderia ser de estrelas de nêutrons em rotação, como sugerido trinta anos antes; além de supor a existência de campos magnéticos no interior dessas estrelas (PACINI, 1967). Entretanto, foram as contribuições de Thomas Gold (1920-2004) que se tornaram mais conhecidas: em seu artigo *Rotating Neutron Stars as the Origin of the Pulsating Radio Sources*, publicado imediatamente em seguida ao trabalho protagonizado por Bell Burnell. Este astrônomo indicou a possível relação entre as estrelas de nêutrons e os pulsares (MCNAMARA, 2008), além de indicar que a radiação emitida pelo pulsar se originava a partir da sua energia rotacional (GOLD, 1968).

A imagem favorita para a natureza do fenômeno do pulsar foi descrita por Thomas Gold (1920-2004) em 1968, semelhante em muitos aspectos à proposta de Pacini de 1967, e consistia em uma estrela de nêutrons magnetizada, rotativa e isolada na qual o eixo magnético da estrela e seu eixo de rotação estão desalinhados [...] Os pulsos de rádio foram assumidos como originados de feixes de emissão de rádio emitidos ao longo do eixo magnético (LONGAIR, 2006, p. 193).

Na mesma época, corroborando a previsão feita por estes cientistas e por Baade e Zwicky, dois grupos de pesquisadores identificaram a presença de pulsares em diferentes remanescentes de supernova: em outubro de 1968, Michael Large e Alan Vaughan, da Universidade de Sydney, publicam o achado de um pulsar na Constelação de Vela no artigo *A Pulsar Supernova Association?*, mencionando a possibilidade real de que os pulsares são estrelas de nêutrons em rotação formadas na explosão de supernovas (LARGE, VAUGHAN; MILLS, 1968). Em seguida, em dezembro de 1968, David Staelin (1938-2011) e Edward Reifeinstein publicam o artigo *Pulsating Radio Sources Near the Crab Nebula* na revista *Science*, legitimando Large, Vaughan e Mills, demonstrando a existência de um pulsar na Nebulosa do Caranguejo,

com emissão na faixa das ondas de rádio, com período de 33 milissegundos (STAELIN; REIFENSTEIN, 1968). Este último consiste na “supernova que explodiu em 1054 e que foi extensivamente estudada pelos astrônomos chineses da época” (LONGAIR, 2006, p. 193).

O reconhecimento da comunidade científica quanto à relevância da detecção dos pulsares ocorreu no ano de 1974 quando Antony Hewish, com seu colega de grupo Martin Ryle (1918-1984), recebeu o Prêmio Nobel de Física, pelo “seu papel decisivo na descoberta dos pulsares” (NOBEL PRIZE, 2022a). Na época, a omissão de Jocelyn Bell Burnell se tornou um fato polêmico na história da premiação, havendo reações negativas à escolha do Comitê do Nobel por muitos cientistas, como Fred Hoyle (1915-2001) e Thomas Gold (1920-2004) (MCGRAYNE, 1998; MCNAMARA, 2008). Todavia, embora inicialmente a cientista tenha considerado sua omissão na láurea uma decisão justa, décadas depois, especialmente ao adentrar em discussões de gênero na ciência, em especial na Astronomia, ela passou a considerar que sua ausência da premiação pode ter sido influenciada por questões de gênero (MCNAMARA, 2008).

No mesmo ano, Russell Hulse (1950-) e Joseph Taylor (1941-) detectaram pela primeira vez um sistema de pulsares binários (HULSE; TAYLOR, 1975), que lhes possibilitou investigar indiretamente a existência de ondas gravitacionais, previstas por Albert Einstein (1879-1955). Ambos foram reconhecidos no Prêmio Nobel de Física de 1993, pela “descoberta de um novo tipo de pulsar, uma descoberta que abriu novas possibilidades para o estudo da gravitação” (NOBEL PRIZE, 2022b).

1.3 CAMINHO METODOLÓGICO

Um dos motivos que despertam o interesse no desenvolvimento de pesquisas bibliográficas consiste no fato de que, nestas pesquisas, “os resultados de muitos trabalhos são agrupados para oferecer uma visão geral do estado corrente do desenvolvimento de um assunto, em um dado tempo” (FIGUEREDO, 1990, p. 132). Nesse sentido, observamos que artigos publicados recentemente em periódicos de ensino de Física e de Astronomia apresentam esforços de pesquisas bibliográficas sobre temáticas baseadas no levantamento de trabalhos publicados em periódicos e em eventos, além de teses e dissertações, como por exemplo: física quântica (SILVA; ALMEIDA, 2011), interdisciplinaridade no ensino de ciências (MOZENA; OSTERMANN, 2014), física e literatura (LIMA; RICARDO, 2015), efeito fotoelétrico (SILVA; ERROBIDART, 2015), reflexão da luz (RIBEIRO; CARNEIRO, 2016), história e filosofia da ciência (DAMASIO; PEDUZZI, 2017), ensino de astronomia nos anos iniciais (PACHECO; ZANELLA, 2019), nanociência e nanotecnologia (TONET; LEONEL, 2019), entre outros.

Na presente revisão bibliográfica, visamos estabelecer um panorama sobre como a história da descoberta dos pulsares e a atuação de Jocelyn Bell Burnell neste episódio tem sido descrita em pesquisas em ensino de ciências, publicadas até o primeiro trimestre de 2020, em periódicos e em eventos da área, além de dissertações de mestrado e teses de doutorado em ensino de Física e de Astronomia. As palavras-chave utilizadas para a busca dos trabalhos foram as seguintes: “Jocelyn Bell Burnell”, “Estrela de Nêutrons”, “Pulsar” e “Radioastronomia”. A partir destes termos, procuramos pesquisas para investigar os seguintes indicadores, construídas a priori, com base na fundamentação teórica apresentada na seção anterior: (a) contexto da detecção dos primeiros pulsares por Jocelyn Bell Burnell; (b) contexto de pré-deteção dos primeiros pulsares, relacionado à predição destas estrelas; e (c) contexto pós-deteção dos pulsares, relacionado ao processo de compreensão conceitual destas estrelas pela comunidade científica.

Primeiramente, iniciamos a busca em periódicos sobre ensino de ciências, de Física e de Astronomia, que foram selecionados com base em seu reconhecimento na avaliação Qualis Periódicos na área de Ensino (Quadriênio 2013-2016), realizada pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES). As quinze revistas consultadas possuem Qualis A1, A2, B1 ou B2. O Quadro 1 apresenta os periódicos acessados e suas respectivas classificações:

Quadro 1 – Listagem de periódicos acessados.

NOME DO PERIÓDICO	QUALIS-ENSINO
A Física na Escola	B2
Alexandria: Revista de Educação em Ciência e Tecnologia	A2
Caderno Brasileiro de Ensino de Física	A2
Ciência & Educação	A1
Contexto & Educação	A2
Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências	A1
Enseñanza de las Ciencias	A1
Experiências em Ensino de Ciências	B1
História, Ciências, Saúde - Manguinhos	A2
Investigações em Ensino de Ciências	A2
Revista Brasileira de Ensino de Física	A1
Revista Brasileira de História da Ciência	B1
Revista Brasileira de Pesquisa em Ensino de Ciências	A2
Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias	A1
Revista Latino-Americana de Educação em Astronomia	B2

Fonte: Autoria própria.

Nestes periódicos, desenvolvemos a coleta de trabalhos por meio da leitura dos números das revistas publicados nos últimos vinte anos. Com a reduzida quantidade de trabalhos encontrados, ampliamos a procura, com a consulta de artigos que apresentassem conceitos correlacionados com as palavras-chave selecionadas, como “Buraco Negro”, “Evolução Estelar”, “Onda Gravitacional”, além de trabalhos mais amplos relacionados à Educação em Astronomia. Em tal busca, encontramos artigos nos quais às menções aos pulsares e/ou a Jocelyn Bell Burnell eram encontradas no corpo do texto, embora não aparecessem nos títulos e/ou resumos.

Para a coleta dos trabalhos nas atas de eventos, desenvolvemos uma estratégia semelhante, mediante a leitura dos títulos e resumos dos trabalhos apresentados em comunicações orais e em comunicações em painéis. Os eventos que foram escolhidos, a partir de sua relevância para as áreas do ensino da Física e da Astronomia, estão expostos no Quadro 2:

Quadro 2 – Listagem de eventos acessados.

NOME DO EVENTO	SIGLA
Encontro de Pesquisa em Ensino de Física	EPEF
Encontro Nacional de Astronomia	ENAST
Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências	ENPEC
Simpósio Nacional de Ensino de Astronomia	SNEA
Simpósio Nacional de Ensino de Física	SNEF
Encontro de Pesquisa em Ensino de Física	EPEF

Fonte: Autoria própria.

Além dos periódicos e dos eventos de ensino de ciências, procedemos à procura de dissertações de mestrado e teses de doutorado, publicadas/os nos últimos vinte anos, nas seguintes bases de dados bibliográficos: Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD) e Catálogo de Teses e Dissertações da CAPES. Desenvolvemos estas coletas mediante o sistema de busca do repositório. Nestas consultas, recorremos a diferentes combinações dos termos “Jocelyn Bell Burnell”, “Radioastronomia”, “Estrela de Nêutrons”, “Pulsar”, “Evolução Estelar” e “Astrofísica Estelar”. Para tanto, objetivando restringir a quantidade de trabalhos coletados de maneira que possuíssem relações diretas com o objeto de pesquisa, realizamos consultas com a utilização de operadores de truncagem e de proximidade, além dos operadores booleanos. Devido à restrita quantidade de dissertações e teses em ensino encontradas nestas bases de dados, optamos também por uma sondagem de pesquisas acadêmicas, não relacionadas ao ensino, do campo da Física e da Astronomia.

1.4 CARACTERIZAÇÃO GERAL DAS PESQUISAS

1.4.1 Periódicos

Das quinze revistas acessadas, em três encontramos trabalhos sobre a temática: Caderno Brasileiro de Ensino de Física (CBEF), Revista Brasileira de Ensino de Física (RBEF) e Revista Latino-Americana de Educação em Astronomia (RELEA). Nestas revistas, em específico, realizamos a busca em todos os volumes, extrapolando, portanto, o período dos últimos vinte anos inicialmente considerado, o que resultou na seleção de 19 artigos. Após a leitura inicial do conteúdo destes trabalhos, observamos que sete dos artigos apenas mencionavam as palavras-chave de maneira pontual, sem discorrer detalhes históricos ou mesmo conceituais; e que outros dois dissertavam acerca de aspectos sobre radioastronomia sem vínculos com os pulsares. Considerando estes critérios de exclusão, restaram 10 artigos para a análise. Avaliando o escopo dessas revistas, percebemos que as discussões se restringem em periódicos com enfoque específico ao ensino de Física e Astronomia. Ainda assim, destacamos que embora a RELEA possua um enfoque às pesquisas sobre ensino de Astronomia, ela apresenta somente um artigo relacionado com a temática. O Quadro 3 apresenta os títulos destes artigos e o periódico em que foram publicados:

Quadro 3 – Listagem de artigos selecionados dos periódicos.

AUTORIA	NOME DO ARTIGO	PERIÓDICO
Livi (1987)	Um visitante inesperado: a supernova 1987A	CBEF
Lattari e Trevisan (2001)	Radioastronomia: noções iniciais para o Ensino Médio e Fundamental como ilustração de aula	CBEF
Bianchi (2004)	Radioastronomia: Uma mirada más amplia	RELEA
Steiner (2010)	Buracos Negros: Sementes ou Cemitérios de Galáxias?	CBEF
Horvath (2013)	Uma proposta para o ensino da astronomia e astrofísica estelares no Ensino Médio	RBEF
Fróes (2014)	Astronomia, astrofísica e cosmologia para o Ensino Médio	RBEF
Bassalo e Cattani (2016)	Detecção de ondas gravitacionais	CBEF
Cordeiro (2017)	Mulheres na Física: um pouco de história	CBEF
Bassalo e Cattani (2018)	O Prêmio Nobel de Física de 2017 e as Instituições Brasileiras de Pesquisas Físicas	CBEF
Rodríguez (2018)	Polarización de la luz: conceptos básicos y aplicaciones en astrofísica	RBEF

Fonte: Autoria própria.

Alguns autores (STEINER, 2010; BASSALO; CATTANI, 2016, 2018) apresentam, respectivamente, um aspecto mais informativo sobre fatos históricos relativos aos conceitos de buracos negros e de ondas gravitacionais, que estão relacionados indiretamente com o conceito de pulsares. Outras/os autoras/es (LATTARI; TREVISAN, 2001; BIANCHI, 2004), por sua vez, expõem materiais de consulta para que as/os docentes possam inserir discussões relativas à radioastronomia nas aulas de ciências, mencionando os pulsares como um dos objetos que foram passíveis de observação mediante o desenvolvimento da radioastronomia.

O editorial de Cordeiro (2017, p. 671), por sua vez, aponta uma denúncia quanto ao fato de mulheres que desenvolveram relevantes contribuições para a ciência não serem reconhecidas, como o caso de Jocelyn Bell Burnell. A autora sugere a inclusão destas cientistas no contexto de ensino de Física: “Mesmo quem busca tratar a Física pela atualidade dos tópicos de ponta, como da colisão das estrelas de nêutrons ocorrida no mês de outubro deste ano [...], tem espaço para falar da contribuição de Burnell”.

A pesquisa de Rodríguez (2018), por exemplo, apenas discorre sobre elementos conceituais sobre os pulsares para a compreensão do fenômeno de polarização de ondas eletromagnéticas, pelo fato dos pulsos emitidos por esses objetos serem polarizados. As pesquisas de Livi (1987), Horvath (2013) e Fróes (2014) consistem em artigos de orientação quanto a possíveis temáticas específicas sobre astrofísica estelar a serem abordadas no âmbito do ensino de Física e possuem em comum o fato de mencionarem as estrelas de nêutrons na discussão do evento histórico da explosão estelar ocorrida na Nebulosa de Caranguejo.

1.4.2 Eventos

No que diz respeito aos eventos⁶, dos cinco acessados, somente dois apresentaram trabalhos sobre as temáticas abordadas: o Simpósio Nacional de Ensino de Astronomia (SNEA⁷) e o Simpósio Nacional de Ensino de Física (SNEF). Neste último evento, buscamos por trabalhos nas atas dos últimos vinte anos, cujos resumos e trabalhos completos estavam disponíveis na íntegra. Nessa primeira coleta, identificamos 12 como de potencial interesse; posteriormente, com a leitura destes trabalhos, observamos que sete deles apenas indicavam aspectos gerais sobre os descritores analisados, principalmente relacionados com a radioastronomia e a importância dos radiotelescópios. Dessa forma, para a análise, selecionamos

⁶ Sobre as atas do EPEF e ENPEC, encontramos somente um trabalho em cada evento, com menções pontuais às palavras-chave. Quanto ao ENAST, as atas de algumas edições do evento não estavam disponíveis, o que impossibilitou sua inserção nos dados da coleta.

⁷ Alguns poucos trabalhos encontrados no SNEA não foram ser incluídos na coleta pelo fato de não poderem ser acessados na íntegra; constavam apenas seus resumos no site do evento.

cinco trabalhos. Os títulos e seus autores, bem como o evento em que foram apresentados estão expostos no Quadro 4:

Quadro 4 – Listagem de artigos selecionados das atas dos eventos.

AUTORIA	NOME DO ARTIGO	PERIÓDICO
Alves <i>et al.</i> (2007)	A evolução dos instrumentos de observação astronômica e o contexto histórico-científico	SNEF
Carvalho Neto <i>et al.</i> (2017)	Trabalhando de forma prática o experimento de detecção de ondas gravitacionais do observatório LIGO	SNEF
Costa, Polati e Allen (2018)	Uma proposta de discussão de controvérsias históricas e epistemológicas acerca da evolução estelar para o ensino médio	SNEA
Carvalho, Silva e Cabral (2018)	Contribuições femininas no desenvolvimento da física: uma pesquisa em periódicos da área de ensino	SNEF
Araújo, Guedes e Pereira (2019)	Da prática da radioastronomia amadora com o Radio Jove à criação de produtos educacionais para o ensino de física	SNEF

Fonte: Autoria própria.

Identificamos que estes trabalhos publicados em eventos trazem reflexões mais explícitas sobre a abordagem dos pulsares em propostas didáticas e suas implicações para o ensino; sendo exceção a pesquisa de Alves *et al.* (2007), a qual discute os equipamentos astronômicos e a relevância da radioastronomia na detecção dos pulsares. Podemos conjecturar o fato de que devido à temática ser recente, ainda não houve uma adesão teórica sobre o tema por parte do campo acadêmico em ensino de ciências – em nível de exemplo, no EPEF e no ENPEC não foram encontrados trabalhos. Diferentemente do SNEF e do SNEA, eventos que abarcam relatos de experiências, já se apresentam pesquisas sobre intervenções didáticas que mencionam os pulsares em novas temáticas no ensino, como Evolução Estelar e Radioastronomia.

A pesquisa de Carvalho Neto *et al.* (2017), por exemplo, discorre sobre a possibilidade de articulação de conceitos sobre Relatividade no contexto de discussão sobre ondas gravitacionais, mencionando sua relevância para o estudo das estrelas de nêutrons. Por último, Costa, Polati e Allen (2018) descrevem alguns aspectos de análise da implementação de uma sequência didática no ensino médio sobre evolução estelar, o qual fez menções às contribuições de Jocelyn Bell Burnell.

Outro trabalho (ARAÚJO; GUEDES; PEREIRA, 2019), resultado da dissertação de mestrado de Araújo (2017) – considerada no corpus de análise desta pesquisa – descreve as reflexões sobre a implementação de um produto educacional, cujo objetivo consistiu na abordagem de conceitos de radioastronomia e na exploração experimental dos radiotelescópios

amadores. Destacamos que, ao mencionarem a pesquisa realizada por Bell Burnell na sequência didática, os autores indicam o desenvolvimento de um experimento o qual simula o comportamento de um pulsar. Outra pesquisa (CARVALHO; SILVA; CABRAL, 2019), por sua vez, apresenta implicações mais acadêmicas, que dizem respeito à preocupação, também ilustrada por Cordeiro (2017), quanto às raras abordagens sobre exemplos de mulheres cientistas no contexto de educação em ciências; os resultados do trabalho indicaram a ausência de pesquisas que evidenciassem as contribuições da astrônoma Jocelyn Bell Burnell.

1.4.3 Dissertações e Teses

Em relação à busca de trabalhos de mestrado e de doutorado do campo do ensino de Física e de Astronomia na Biblioteca Digital de Teses e Dissertações e no Catálogo de Teses e Dissertações da CAPES, foram encontradas cinco dissertações de mestrado (RODRIGUES, 2016; ARAÚJO, 2017; SILVA, 2017; NAPOLEÃO, 2018; VIEIRA, 2018) que evidenciaram a abordagem didática da temática dos pulsares para contextualização do campo da Radioastronomia e da Astrofísica Estelar.

Por conta desta reduzida quantidade, ampliamos a procura para dissertações e teses do campo da Física e da Astronomia. Nesta perspectiva, desconsiderando pesquisas que discorriam sobre o episódio de maneira superficial em introduções e/ou em preâmbulos de capítulos que objetivavam discutir estes conceitos, selecionamos 15 trabalhos. Em grande parte destes trabalhos (JACOBSEN, 2007; RAZEIRA, 2008; PIRES, 2009; GOMES, 2011, 2016; ALLOY, 2012; CASALI, 2013; OLIVEIRA, 2015; MARQUEZ, 2018; LADISLAU, 2019) constatamos uma característica em comum: destinavam seções das dissertações ou das teses para abordar especificamente aspectos históricos, o que pode evidenciar uma justa preocupação de físicas/os e astrônomas/os com o componente histórico deste conceito. No Quadro 5, demonstramos as informações relativas às pesquisas encontradas nestas bases de dados:

Quadro 5 – Listagem de dissertações e teses.

AUTORIA	NOME DO TRABALHO	TIPO
Cavagnoli (2005)	A importância dos mésons estranhos nas propriedades das estrelas de nêutrons	Dissertação
Dexheimer (2006)	Compressibilidade da Matéria Nuclear em Estrelas de Nêutrons	Dissertação
Jacobsen (2007)	Plasma de Quarks e Glúons no Interior de Estrelas de Nêutrons	Dissertação
Razeira (2008)	Naturalidade, Quebra de Simetria de Isospin e a Estrutura Interna das Estrelas de Nêutrons	Tese
Pires (2009)	Population Study of Radio-Quiet and Thermally Emitting Isolated Neutron Stars	Tese
Gomes (2011)	Transições de Fase Hádron-Quark em Estrelas de Nêutrons	Dissertação

Alloy (2012)	Pasta nuclear e a evolução de protoestrelas de nêutrons	Tese
Casali (2013)	Objetos estelares compactos sujeitos a campos magnéticos fortes	Tese
Oliveira (2015)	Modelo para o Índice de Frenagem de Pulsares	Dissertação
Alfradique (2016)	Modelos de Estrelas Relativísticas com Campo Magnético Dipolar	Dissertação
Gomes (2016)	Vínculos Magnéticos na Equação de Estado e na Estrutura de Estrelas de Nêutrons	Tese
Lopes (2016)	Equações de Estado em Física de Hádrons	Tese
Rodrigues (2016)	Formação e evolução estelar como uma proposta de contextualização para o ensino de Termodinâmica no Ensino Médio	Dissertação
Araújo (2017)	Simuladores experimentais de radiotelescópios para o ensino de Astronomia no nível médio	Dissertação
Mendes (2017)	Evolução do Campo Magnético em Binárias Relativísticas	Tese
Silva (2017)	Evolução Estelar no Ensino de Ciências	Dissertação
Marquez (2018)	Conversão de fases em estrelas compactas	Dissertação
Napoleão (2018)	Astrofísica Estelar para o Ensino Médio: Uma abordagem empírica baseada na observação visual das estrelas variáveis	Dissertação
Vieira (2018)	Astrofísica Estelar para o Ensino Médio: análise de uma proposta	Dissertação
Ladislau (2019)	Análises dos mecanismos de perda de energia e os índices de freamento em pulsares	Dissertação

Fonte: Autoria própria.

De fato, discussões históricas mais aprofundadas se apresentam nos trabalhos do campo da Física e da Astronomia. Nessas pesquisas, observamos a recorrente menção a nomes de cientistas cuja influência se percebe no contexto de construção do conceito de estrelas de nêutrons e dos pulsares. Neste sentido, além de Antony Hewish e Jocelyn Bell Burnell, também mencionam: Lev Landau, James Chadwick, Walter Baade, Fritz Zwicky, George Volkoff, Richard Tolman, Robert Oppenheimer, Thomas Gold, Franco Pacini, Russell Hulse e Joseph Taylor.

Por outro lado, nas dissertações que versam sobre ensino de Física e de Astronomia prevalecem discussões desta temática em um caráter meramente conceitual. Vieira (2018), que desenvolveu uma sequência didática para discussão de aspectos sobre astrofísica estelar, menciona os pulsares de maneira superficial na seção de resultados, elencando a curiosidade dos alunos em relação ao fenômeno de explosão de supernova. Silva (2017), por sua vez, objetivando embasar o desenvolvimento de um produto educacional no formato de um jogo sobre evolução estelar, evidenciou apenas aspectos conceituais sobre os pulsares, sem se aprofundar em seus aspectos históricos. Rodrigues (2016) apresenta uma descrição conceitual semelhante, embora destaque pontualmente o contexto histórico da detecção da Nebulosa do Caranguejo.

As exceções a esta abordagem unicamente conceitual são as dissertações de Araújo (2017) e Napoleão (2018), que exploraram o conceito de pulsares, no contexto do ensino médio,

respectivamente, em discussões sobre radioastronomia e astrofísica estelar. Em termos históricos, Araújo (2017) desenvolve uma contextualização deste episódio, evidenciando determinadas controvérsias envolvidas no trabalho protagonizado por Bell Burnell; mas Napoleão (2018) menciona pontualmente a astrônoma e seu orientador como responsáveis pela detecção dos pulsares.

1.5 ANÁLISE DAS PESQUISAS

1.5.1 Contexto de Detecção dos Primeiros Pulsares

Considerando que parte do objetivo desta pesquisa bibliográfica é evidenciar como as contribuições de Jocelyn Bell Burnell na descoberta dos pulsares são destacadas nos trabalhos coletados, analisamos, primeiramente, como ocorrem essas menções à astrônoma nas pesquisas. Sua menção ocorre de maneiras ligeiramente diferentes, mas que não desconsideram o protagonismo da astrônoma neste episódio. Neste sentido, encontramos nove pesquisas (BIANCHI, 2004; JACOBSEN, 2007; RAZEIRA, 2008; GOMES, 2011, 2016; CASALI, 2013; ALFRADIQUE, 2016; BASSALO; CATTANI, 2016, 2018) que colocam Bell Burnell como a responsável pela observação dos pulsos periódicos de ondas de rádio, que viriam mais tarde a serem compreendidos como pulsares, além de descreverem que a cientista era pertencente a um grupo de pesquisa em Cambridge, liderado por Antony Hewish. Como apontado por autoras/es que se debruçaram sobre os elementos históricos deste episódio (MCGRAYNE, 1998; MCNAMARA, 2008; DICK, 2013), Bell Burnell e Hewish eram integrantes de um grupo cujo objetivo de pesquisa consistia em investigar o comportamento de fontes celestes de ondas de rádio, como quasares. Outras nove publicações (STEINER, 2010; ALLOY, 2012; LOPES, 2016; ARAÚJO, 2017; CORDEIRO, 2017; MENDES, 2017; COSTA; POLATI; ALLEN, 2018; MARQUEZ, 2018; NAPOLEÃO, 2018), por sua vez, apenas citam Bell Burnell e Hewish como os únicos envolvidos na detecção dos pulsares, não se reportando ao grupo de pesquisa. Um destes exemplos está presente em uma das dissertações do campo de ensino de Física:

As estrelas de nêutrons estão associadas ao fenômeno dos pulsares, descoberto na década de 1960 por Jocelyn Burnell e Anthony Hewish: pulsos regulares de radiação eletromagnética provenientes de certas regiões do céu, que posteriormente foram identificadas como locais em que haviam explodido supernovas há séculos ou milênios no passado. A rápida rotação da estrela e seu intenso campo magnético criam feixes de radiação eletromagnética, que se projetam da estrela ao longo do seu eixo magnético. Esses feixes giram com a estrela, mais ou menos como o feixe de luz de um farol. Se, por uma circunstância, a Terra estiver na linha do feixe, nós o veremos sob a forma de um pulso, a cada vez que a estrela gira (NAPOLEÃO, 2018, p. 248).

Não obstante, localizamos algumas exceções a estas constatações: Oliveira (2015) apresenta apenas os nomes do grupo de pesquisa. Três publicações (CAVAGNOLI, 2005; PIRES, 2009; LADISLAU, 2019) mencionam somente a astrônoma, enquanto Dexheimer (2006) associa a detecção dos pulsares apenas ao orientador da cientista. Ademais, somente um trabalho apresenta os nomes de Bell Burnell e Hewish como importantes para o campo da radioastronomia (ARAÚJO; GUEDES; PEREIRA, 2019) e outra pesquisa (CARVALHO; SILVA; CABRAL, 2019) menciona o nome de Bell Burnell como sendo uma protagonista no estudo das estrelas.

Naqueles que aludem à estes cientistas, destacamos que somente quatro trabalhos (CORDEIRO, 2017; MENDES, 2017; COSTA; POLATI; ALLEN, 2018; MARQUEZ, 2018) mencionam a omissão de Jocelyn Bell Burnell à láurea no Prêmio Nobel de Física ocorrida no ano de 1974, recebida pelo seu orientador, Antony Hewish. Em nível de exemplo, há citações como: “A exclusão de Jocelyn Bell se tornou uma das polêmicas ao redor do prêmio Nobel” (MENDES, 2017, p. 23). Em outra pesquisa (COSTA; POLATI; ALLEN, 2018), notamos que um dos seus resultados apresenta que as/os discentes que participaram da implementação da sequência didática desenvolvida pelos autores identificaram como uma problemática o fato de homens levarem predominantemente o crédito pelos trabalhos científicos. Por outro lado, outros trabalhos, mencionam a láurea ao orientador da astrônoma, mas não estabelecem estas críticas (JACOBSEN, 2007; RAZEIRA, 2008; ALLOY, 2012; CASALI, 2013; ALFRADIQUE, 2016).

Em relação a aspectos específicos sobre o contexto da descoberta dos pulsares, podemos perceber que parte considerável das pesquisas analisadas não discorre sobre o processo de desenvolvimento da pesquisa de Jocelyn Bell Burnell, o que implica em relatos históricos que tendem a enfatizar os resultados encontrados pelas/os cientistas, sem considerar os contextos que as/os levaram a desenvolver determinado conhecimento. Neste âmbito, observamos que a grande maioria dos trabalhos aponta que a cientista encontrou os pulsares ao estar estudando fontes celestes que emitiam ondas de rádio. Algumas exceções (BIANCHI, 2004; RAZEIRA, 2008; PIRES, 2009; OLIVEIRA, 2015), entretanto, adentram na discussão de que a cientista objetivava identificar outros objetos estelares, que se tratavam dos quasares, especificamente. Além disso, Casali (2013) e Ladislau (2019) mencionam o fenômeno de cintilação interplanetária, investigado pela astrônoma para estudo das fontes de rádio. Os trechos que apresentamos abaixo são alguns exemplos, que procuram aprofundar, em determinados aspectos, o trabalho protagonizado por Bell Burnell:

Em 1967, enquanto usava um radiotelescópio construído para procurar variações rápidas na emissão de quasares na faixa do rádio, Jocelyn Bell encontrou uma série de sinais de rádio pulsantes extremamente precisos e rápidos (PIRES, 2009, p. 2).

Em Julho de 1967, cientistas de um grupo de radioastronomia da Universidade de Cambridge detectaram sinais usando um radiotelescópio primitivo formado por um enorme conjunto de postes e cabos espalhados por 4,5 [sic] hectares de terra. O radiotelescópio foi desenvolvido por Antony Hewish, líder do grupo, e seus alunos, com objetivo de captar a cintilação das estrelas, particularmente de quasares (OLIVEIRA, 2015, p. 17).

Em novembro de 1967, Jocelyn Bell, estudando a cintilação de ondas de rádio provenientes de fontes compactas no meio interestelar, observou pela primeira vez um sinal consistindo de uma série de pulsos que se repetiam a cada 1,337s localizado em ascensão reta e declinação fixas (LADISLAU, 2019, p. 6).

Além disso, podemos perceber que certos trabalhos evidenciam aspectos do contexto da descoberta dos pulsares, indicando algumas das possíveis hipóteses levantadas por Bell Burnell e pelo grupo de pesquisa ao desenvolverem uma possível explicação para esses pulsos até então desconhecidos, como “a reflexão de ondas de rádio na superfície da lua” (LADISLAU, 2019, p. 7), “provenientes de alguma fonte artificial” (ALLOY, 2012, p. 31), “pulsões radiais de estrelas anãs brancas” (MENDES, 2017, p. 23). Entretanto, a hipótese que se mostrou mais predominante diz respeito à consideração de que os cientistas poderiam ter entrado em contato com civilizações extraterrestres (CAVAGNOLI, 2005; BASSALO; CATTANI, 2016, 2018; LOPES, 2016; COSTA; POLATI; ALLEN, 2018; MARQUEZ, 2018; LADISLAU, 2019), o que, de fato, é a hipótese que apresenta maiores discussões nos relatos históricos sobre este episódio.

Além destes, é imprescindível destacar que o trabalho que apresenta mais detalhes sobre as hipóteses levantadas é a pesquisa de Araújo (2017, p. 64–65), em que menciona uma palestra elaborada pela astrônoma na década de 1970, transcrita em Bell Burnell (1977). Nesta citação, o autor menciona várias hipóteses consideradas pelo grupo, como possibilidade de radiointerferência por outros radiotelescópios, possíveis problemas no próprio equipamento construído pelo grupo de pesquisa e a possibilidade dos sinais consistirem em uma tentativa de comunicação extraterrestre:

Pulsares são corpos celestes cuja existência foi descoberta graças ao advento da Radioastronomia. As técnicas ainda eram relativamente incipientes, no ano de 1967, mas seus recursos permitiram à pesquisadora Jocelyn Bell Burnell (1943) detectar uma fonte de radiação eletromagnética, composta por pulsos de curta duração, extremamente regulares. Cerca de nove anos após a descoberta, Jocelyn Bell, em uma palestra no Eighth Texas Symposium on Relativistic Astrophysics [...] explicou como a descoberta ocorreu, em meio à pesquisa que investigava a influência de partículas carregadas, como as do vento solar, que fazem as ondas de rádio cintilarem, ou parecerem flutuar em amplitude. Efeito semelhante à cintilação que a atmosfera terrestre provoca na luz das estrelas que vemos à noite. No relato, ela menciona seu trabalho de operar o funcionamento do radiotelescópio e analisar os dados, que eram

impressos em papel e como, após analisar centenas de metros de folhas de gráfico, já estava familiarizada com as diversas emissões típicas e pôde diferenciar os ruídos de origem terrestre daqueles das emissões cósmicas. Assim, percebeu pulsos de curta duração, espaçados cerca de $1\frac{1}{3}$ s, na ascensão reta 1919 [...] Os sinais eram de regularidade espantosa e, em seu relato, quando Jocelyn Bell mostrou os gráficos ao seu orientador, Antony Hewish (1924), ele atribuiu sua origem à atividade humana. Ao examinar os sinais no observatório, no entanto, percebeu que seguiam o movimento sideral. Descartaram reflexão de radares na Lua, satélites em órbitas peculiares e até a influência de um grande edifício com cobertura de metal nas proximidades das antenas. As pulsações também foram captadas em outra antena, descartando problemas no equipamento. Houve então especulação de serem sinais de outra civilização, em função de serem pulsos tão regulares, que pareciam sinais artificialmente irradiados, mas os pesquisadores logo descartaram a hipótese quando outros três pulsares foram descobertos em outras regiões do céu, por Jocelyn Bell.

1.5.2 Contexto de Pré-Detecção dos Pulsares

Além de analisarmos nas pesquisas coletadas o contexto de descoberta dos pulsares, é válido identificarmos alguns aspectos históricos anteriores a este episódio. Primeiramente, a análise dos trabalhos nos propiciou elencar uma divergência histórica na menção das contribuições do cientista Lev Landau. Certas pesquisas (CAVAGNOLI, 2005; DEXHEIMER, 2006; JACOBSEN, 2007; RAZEIRA, 2008; LADISLAU, 2019) apresentam que Lev Landau desenvolveu as hipóteses iniciais sobre a existência das estrelas de nêutrons após a detecção do nêutron por James Chadwick. No entanto, no artigo *Lev Landau and The Concept of Neutron Stars*, Yakovlev *et al.* (2013) discutem que o físico elaborou suas hipóteses iniciais considerando o átomo como constituído somente por prótons e elétrons.

Por outro lado, outras pesquisas (GOMES, 2011, 2016; ALLOY, 2012; LOPES, 2016; MENDES, 2017; MARQUEZ, 2018), apresentam referências a essa discussão. Por exemplo, respectivamente nas citações abaixo, Lopes (2016, p. 14) descreve que Landau elaborou suas ideias antes mesmo da existência do conceito de nêutrons, enquanto Mendes (2017, p. 21–22) evidencia datas de escrita e de publicação do artigo de Landau, o que esclarece que ele elaborou suas hipóteses anteriormente à publicação do trabalho de Chadwick:

A primeira ideia a respeito das estrelas de nêutrons apareceu em 1931, um ano da descoberta do próprio nêutron. Um jovem [...] chamado Lev Landau, então com 23 anos, propôs que poderia existir um estado ainda mais denso e compacto que uma anã branca, cuja estabilidade provinha não da degenerescência dos elétrons, mas da própria estrutura da matéria nuclear. Como não se conhecia o nêutron naquela época, ele postulou que a densidade de tais estrelas seria tão grande que os seus constituintes se sobreporiam, transformando a matéria nuclear em um gigantesco núcleo.

A ideia das estrelas de nêutrons surgiu pela primeira vez em 1930 com a finalidade de resolver questões como os estágios finais da evolução estelar, a fonte de energia das supernovas e até mesmo especulando a respeito da fonte de energia de estrelas comuns.

Os primeiros desenvolvimentos teóricos foram feitos pelo físico soviético Lev D. Landau (1908-1968). [...] O artigo em que Landau fala sobre as estrelas de nêutrons foi publicado em fevereiro de 1932, mas na última linha desse artigo está a data de fevereiro de 1931, indicando que ele teria escrito o artigo antes do nêutron ter sido descoberto.

Em dezesseis pesquisas (CAVAGNOLI, 2005; DEXHEIMER, 2006; JACOBSEN, 2007; RAZEIRA, 2008; STEINER, 2010; GOMES, 2011, 2016; ALLOY, 2012; OLIVEIRA, 2015; ALFRADIQUE, 2016; LOPES, 2016; MENDES, 2017; ARAÚJO, 2017; MARQUEZ, 2018; BASSALO; CATTANI, 2018; LADISLAU, 2019), a menção histórica deste episódio também abarca discussões acerca da predição das estrelas de nêutrons por Fritz Zwicky e Walter Baade na década de 1930, os quais descreveram que o surgimento destes objetos resulta de explosões de supernovas. A citação de Gomes (2011, p. 113), por exemplo, ilustra este fato histórico:

Dois anos após a descoberta do nêutron, em 1934, Walter Baade e Fritz Zwicky propõem que explosões de supernovas são a transição de uma estrela comum para um objeto extremamente compacto composto por nêutrons [...] Ainda em 1934, Baade e Zwicky publicaram mais hipóteses acerca dessas estrelas de nêutrons, apontando que estas deveriam ser objetos com densidades extremamente altas, podendo em alguns casos exceder a densidade da matéria nuclear e que seu raio deveria ser muito pequeno, sendo objetos de difícil detecção.

Neste contexto, é interessante destacar que alguns trabalhos apontam a resistente aceitação da comunidade científica em relação à predição elaborada pelos astrofísicos, além da estagnação na continuidade das pesquisas em torno da temática naquela época. Por exemplo, Mendes (2017, p. 22) descreve que “[...] devido a pouca tecnologia existente na época e à impossibilidade de detectar esses objetos essas estrelas foram um pouco esquecidas pela comunidade astronômica”. As citações abaixo apresentam outras razões:

Apesar do expressivo impacto do trabalho de W. Baade e F. Zwicky, a procura por estes objetos estelares não se deu de maneira imediata, pois não se sabia, à época, pelo que procurar: quais seriam as assinaturas destas estrelas, perguntavam-se então os cientistas? (RAZEIRA, 2008, p. 178).

Também em 1939, o astrônomo Fritz Zwicky proclamava sua teoria de que existiam estrelas muito mais densas, as estrelas de nêutrons. Elas seriam responsáveis pelos fenômenos mais energéticos conhecidos, as explosões de supernovas, e pela existência de raios cósmicos – teoria elaborada com a colaboração de Walter Baade. Dado o fato de que ele tinha uma personalidade um tanto quanto inamistosa, ninguém o levou muito a sério até que, em 1968, foram descobertos os pulsares por Antony Hewish e Jocelyn Bell (STEINER, 2010, p. 727).

Houve um decréscimo na produção científica referente a estrelas de nêutrons nos anos que seguiram até a década de 60 devido à Segunda Guerra Mundial. A partir dessa época, surgiram diversos estudos teóricos que buscavam por uma equação de estado na

matéria nuclear à altas densidades, ou seja, uma equação de estado para as estrelas de nêutrons (GOMES, 2011, p. 109).

Não obstante, destacamos que somente uma pesquisa (COSTA; POLATI; ALLEN, 2018) não descreve esta abordagem exposta nos demais trabalhos, evidenciando que a identificação das estrelas de nêutrons, por meio da pesquisa de Bell Burnell, ocorreu de maneira anterior à sua proposição. De fato, embora determinadas características dos pulsares tenham se mostrado inéditas após sua detecção, como a periodicidade de seus pulsos, a descrição construída pelos autores não menciona as previsões realizadas por Baade e Zwicky em 1934 e por Pacini no ano de 1967, as quais posteriormente foram relevantes para a compreensão destes novos objetos celestes.

Há trabalhos que apresentam as contribuições de Richard Tolman, George Volkoff e Robert Oppenheimer, que definiram cálculos, baseados na Relatividade Geral, acerca do limite de massa para uma estrela de nêutrons, objetivando embasar a proposta desenvolvida anos antes por Baade e Zwicky. A maioria das pesquisas insere as contribuições dos três cientistas na definição do limite da massa desta categoria de estrelas (JACOBSEN, 2007; RAZEIRA, 2008; GOMES, 2011, 2016; ALLOY, 2012; CASALI, 2013; MARQUEZ, 2018), embora algumas pesquisas (CAVAGNOLI, 2005; BASSALO; CATTANI, 2016; LOPES, 2016; MENDES, 2017; LADISLAU, 2019) citem apenas Oppenheimer e Volkoff. A contribuição destes cientistas se demonstra pelo fato de que “as estrelas de nêutrons são objetos estelares extremamente compactos e causam considerável deformação no espaço-tempo, de forma que os efeitos previstos pela relatividade geral não são desprezíveis” (ALLOY, 2012, p. 29).

Entretanto, uma discussão interessante e que corrobora os estudos elaborados sobre o episódio (MCNAMARA, 2008; DICK, 2013) diz respeito à apresentada por poucas pesquisas (GOMES, 2011, 2016; ALLOY, 2012; LOPES, 2016; MARQUEZ, 2018) que evidenciam que, embora os cálculos desenvolvidos pelos cientistas tenham sido aceitos pela comunidade científica da época, o valor encontrado por estes cientistas não era considerado a estimativa correta, pois conflitava com o limite descrito por Chandrasekhar. Neste sentido, Marquez (2018, p. 18–19) é um dos autores que discutem esta questão com relativa profundidade:

Um avanço significativo na compreensão deste tipo de objeto [estrelas de nêutrons] foi a obtenção da equação relativística para o equilíbrio hidrostático à partir das equações da relatividade geral de Einstein, resultado publicado simultaneamente por Tolman (1939) e Oppenheimer e Volkoff (1939). Já era patente à época que, ao contrário das anãs brancas, onde cabia o uso da gravitação newtoniana, nas estrelas de nêutrons seria necessário levar em conta os efeitos da gravitação relativística, que surgiriam devido às altíssimas densidades envolvidas nesse tipo de objeto. Enquanto Tolman (1939) dá uma abordagem mais formal, voltada à solução analítica das equações de Einstein, o trabalho

de Oppenheimer e Volkoff (1939) se preocupa com a solução da equação relativística para o equilíbrio hidrostático, apresentando a abordagem ‘física’ ainda hoje usual para a solução desta, além de trazer a primeira aplicação deste método em estrelas de nêutrons. [...] Contudo, na aplicação em matéria estelar, os autores obtiveram como resultado uma massa máxima de $0.71 M_{\text{Sol}}$. Mesmo que à época não houvesse quaisquer indícios observacionais de estrelas de nêutrons ou medições de suas massas, este valor conflitava com o limite de Chandrasekhar. Assim, dificultava-se a explicação quanto ao fenômeno que permitiria o surgimento destes objetos, uma vez que a pressão de degenerescência dos elétrons deveria ser superada nesse processo, algo que apenas ocorreria para massas maiores que $1.4 M_{\text{Sol}}$. A origem desta inconsistência está na simplicidade da EoS [Equation of State] utilizada, que consistia na equação de estado para um gás de Fermi livre, em que os nêutrons não interagem entre si. Embora admitindo que a presença de uma interação repulsiva pudesse contribuir para a elevação dessa massa limite, os autores insistiram, incorretamente, que o resultado obtido por eles estava próximo do verdadeiro. Resultados posteriores estabeleceram que a massa máxima de um objeto para que o colapso gravitacional seja evitado pela pressão de degeneração dos nêutrons, o chamado de limite de Tolman-Oppenheimer-Volkoff (TOV), está situada entre 1.5 e $3 M_{\text{Sol}}$.

Em relação às contribuições de Chandrasekhar, encontramos oito pesquisas (DEXHEIMER, 2006; JACOBSEN, 2007; STEINER, 2010; GOMES, 2011, 2016; BASSALO; CATTANI, 2016; COSTA; POLATI; ALLEN, 2018; MARQUEZ, 2018) que mencionam historicamente seu trabalho no contexto de compreensão das anãs brancas, esboçando o possível limite de massa desta categoria de estrelas. Em outras nove pesquisas analisadas (CAVAGNOLI, 2005; RAZEIRA, 2008; CASALI, 2013; LADISLAU, 2019) esta descrição não é aprofundada, se restringindo apenas à existência deste limite e seu respectivo valor. Entretanto, evidenciamos que dois trabalhos (DEXHEIMER, 2006; COSTA; POLATI; ALLEN, 2018), excepcionalmente, apresentam que a possibilidade da existência de estrelas massivas, como as sugeridas por Chandrasekhar, não foram consideradas por muitos cientistas daquela época. Dexheimer (2006, p. 8), por exemplo, apresenta esta discussão:

Quando em 1930 Subrahmanyan Chandrasekhar, muito jovem ainda, publicou seus estudos sobre os mecanismos de formação e evolução das estrelas anãs brancas, ele predisse que se a massa desses objetos estelares fosse maior do que 1.44 massas solares (limite de Chandrasekhar), a pressão de degenerescência dos elétrons contidos em seu interior seria insuficiente para impedir o seu colapso gravitacional. Suas predições, que consideravam a possibilidade da existência de objetos estelares super-densos, foram na época muito contestadas, levando Arthur Eddington, em particular, a afirmar que: “deve (ou deveria) haver uma lei na natureza que impeça uma estrela de se comportar de forma tão absurda...”.

1.5.3 Contexto de Pós-Detecção dos Pulsares

Quanto à alusão a cientistas que contribuíram com o entendimento conceitual destes objetos celestes, poucas pesquisas (JACOBSEN, 2007; RAZEIRA, 2008; PIRES, 2009; GOMES, 2011, 2016; OLIVEIRA, 2015; LADISLAU, 2019) mencionam as contribuições elaboradas por

Franco Pacini em 1967 e por Thomas Gold em 1968, que puderam embasar a publicação dos sinais de rádio periódicos identificados pela astrônoma. De acordo com estes pontuais trabalhos, estes cientistas descreveram as características das estrelas de nêutrons em mais detalhes, ressaltando que tais objetos celestes consistiam em estrelas altamente magnetizadas, cujo período de rotação aumentava com o passar do tempo. Por exemplo, Pires (2009, p. 2) indica que a relação

[...] entre essas fontes de rádio pulsantes, chamadas pulsares, e o giro rápido altamente magnetizado das estrelas de nêutrons foi estabelecido por Pacini e Gold, que eventualmente introduziram o conceito de “pulsar acionado por rotação”: se a estrela de nêutrons irradia a partir da energia rotacional disponível, o período observado deve ser prolongado gradualmente.

Em determinados trabalhos (JACOBSEN, 2007; RAZEIRA, 2008; ALFRADIQUE, 2016; BASSALO; CATTANI, 2016, 2018) percebemos a recorrência da menção destas estrelas no contexto de discussão sobre os pulsares binários, estabelecendo que o estudo destas, por Hulse e Taylor, possibilitou a identificação indireta das ondas gravitacionais previstas por Albert Einstein mediante a Teoria da Relatividade Geral, como exposta em uma das citações encontradas:

Em dezembro de 1973, o astrofísico norte-americano Russell Alan Hulse [...] foi trabalhar no Arecibo Radio Telescope, em Porto Rico, operado pela Cornell University, na frequência de 430 MHz [...] Seu objetivo era o de preparar sua Tese de Doutorado sob a orientação do astrofísico norte-americano Joseph Hooton Taylor Junior [...] Entre dezembro de 1973 e janeiro de 1975, Hulse descobriu 40 novos pulsares. Contudo, um deles, observado no dia 02 de julho de 1974, na constelação de Águia, não se enquadrava na crença geral de que esses objetos celestes eram estrelas de nêutrons solitárias e girantes. Esse pulsar, denominado de PSR 1913 + 16, onde PSR significa pulsar e o número é a sua posição no céu, apresentava um período de 0,05903 s. Contudo, no dia 25 de agosto de 1974, Hulse tentou obter um período mais acurado para esse pulsar. Depois de realizar um ajuste do efeito Doppler (1842)-Fizeau (1848) devido ao movimento da Terra, Hulse encontrou uma diferença de $27 \mu\text{s}$ ($1 \mu\text{s} = 10^{-6} \text{ s}$) em suas medidas. Em princípio, pensou tratar-se de uma falha em seu programa de computador [...] Reescreveu-o e voltou a observar o PSR 1913 + 16, entre 01 e 02 de setembro de 1974. Novamente encontrou uma variação do período com o tempo, variação essa que permaneceu nas observações subsequentes. Então, no dia 18 de setembro de 1974, escreveu uma carta para Taylor, que se encontrava em Amherst, dizendo-lhe que o PSR 1913 + 16 era um pulsar-binário, com período de ~ 8 horas. Desse modo, Hulse e Taylor, em Arecibo, começaram a realizar uma análise desse objeto celeste usando as leis de Kepler [...] Hulse e Taylor afirmaram que esse objeto celeste poderia servir para testar as OG [Ondas Gravitacionais], pois qualquer sistema que radiasse esse tipo de onda perderia energia. Assim, em virtude dessa perda de energia, as estrelas do pulsar-binário se aproximariam uma da outra e, em consequência, haveria uma diferença em seu período orbital. [...] Esse resultado levou Taylor a fazer o seguinte comentário: *Portanto, 66 anos depois de Einstein prever as ondas gravitacionais, um experimento foi realizado e que apresenta clara evidência de sua existência* (BASSALO; CATTANI, 2016, p. 884–885, grifo dos autores).

Observamos, também, que as pesquisas apresentam divergências históricas relativas à descrição da detecção do pulsar localizado na Nebulosa do Caranguejo. Bassalo e Cattani (2016, 2018) colocam que o primeiro pulsar detectado pela astrônoma britânica estava localizado na Nebulosa do Caranguejo: mas, ainda que este seja um dos pulsares mais famosos, o pulsar de Caranguejo só foi identificado posteriormente à publicação dos achados de Jocelyn Bell Burnell, o que possibilitou corroborar os achados observacionais com os pressupostos teóricos elaborados sobre as estrelas de nêutrons. Nesse âmbito, encontramos pesquisas (JACOBSEN, 2007; GOMES, 2011, 2016) de acordo com esta descrição. Outros trabalhos (CAVAGNOLI, 2005; RAZEIRA, 2008; PIRES, 2009; OLIVEIRA, 2015; ALFRADIQUE, 2016), ainda, também mencionam a detecção do pulsar na Nebulosa de Vela. Estas pesquisas colocam que a detecção destes pulsares ajudou a corroborar a hipótese de que as estrelas de nêutrons se originam nas explosões de supernovas, além de demonstrar que estas estrelas consistem em estrelas de nêutrons em rotação:

Após a descoberta do primeiro pulsar por J. B. Burnell e A. Hewish, dois outros pulsares foram identificados, o pulsar do Caranguejo descoberto por D. H. Staelin e E. C. Reifenstein em 1968 e, no mesmo ano, o pulsar de Vela descoberto por M. I. Large, A. F. Vaughan e B. Y. Mills. Ambos foram identificados no interior de remanescentes de supernovas, respectivamente, a nebulosa do Caranguejo e a de Vela. Ambos tinham um período de rotação muito menor do que o primeiro pulsar observado. Os períodos correspondentes, de 33ms e 89ms, foram decisivos para identificar os pulsares como estrelas de nêutrons ao invés de anãs brancas (RAZEIRA, 2008, p. 183).

Sobre a Nebulosa de Caranguejo, especificamente, algumas pesquisas (LIVI, 1987; HORVATH, 2013; FRÓES, 2014; RODRIGUES, 2016) apresentam apenas que esta nebulosa é constituída por uma estrela de nêutrons muito energética, resultado de uma explosão que fora registrada no longínquo ano de 1054 pelos chineses. De fato, Livi (1987, p. 99) detalha esta discussão ao apontar que

Antes de Tycho Brahe, os europeus desconheciam fenômenos desse tipo, apesar de possivelmente terem tido a oportunidade de vê-lo em julho de 1054. Nessa época os chineses registraram o surgimento de uma estrela, que eles denominaram “visitante”. Ela ficou tão brilhante que, durante três semanas, foi visível até de dia; depois diminuiu seu brilho devagar e sumiu da visão, mesmo na mais escura das noites, em abril de 1056. Usando pequenos telescópios ainda se pode ver no seu lugar a famosa nebulosa do Caranguejo, formada por filamentos gasosos que ainda hoje estão se expandindo. Tudo indica que, num evento espetacular, uma estrela muito fraca para ser visível explodiu, aumentando sua luminosidade pelo menos milhares de vezes e ejetando grande parte da matéria que a formava no espaço. O que sobrou do núcleo da estrela é um pulsar no centro da nebulosa, um objeto tão pequeno que rota trinta vezes por segundo, enviando um pulso cada vez que um de seus polos fica apontado em nossa direção. Quase toda a massa da estrela original foi lançada no espaço, reciclando a matéria cósmica, agora enriquecida com elementos pesados que se formaram nas reações nucleares que ocorreram durante a vida da estrela.

1.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerando a reflexão elaborada por Jocelyn Bell Burnell em uma das suas citações apresentadas no início do artigo, a qual enfatiza que “cientistas nunca devem alegar que algo é absolutamente verdadeiro”, reconhecemos que a revisão bibliográfica desenvolvida pode ser incompleta em determinados aspectos, seja devido ao método de análise ou o recorte estabelecido nos trabalhos coletados. Apesar disso, acreditamos que os resultados indicam um panorama sobre como os pulsares estão sendo discutidos historicamente, em especial, no contexto de ensino de Física e de Astronomia, pelo fato das buscas serem realizadas em diferentes estilos de publicações acadêmicas: periódicos, eventos, dissertações e teses.

Neste sentido, ressaltamos a importância de se explicar como os conceitos científicos, a exemplo dos pulsares, foram historicamente construídos, o que possibilita apontar algumas das figuras científicas relevantes neste processo. Este esforço, em específico, concede visibilidade a exemplos de cientistas que não são mencionados no contexto do ensino de Física e de Astronomia. Neste âmbito, evidenciamos que, parte considerável dos trabalhos analisados assume que a descoberta dos pulsares consistiu em um achado desenvolvido com a contribuição de vários cientistas, não deixando de evidenciar o protagonismo da cientista Jocelyn Bell Burnell.

Apesar disso, não observamos nenhum trabalho no âmbito do ensino que possua o objetivo de discutir este episódio histórico com enfoque no protagonismo desta cientista. Esta constatação corrobora com o que Carvalho *et al.*, (2019) discutem em seu artigo, de que a “divulgação de contribuições de mulheres para o desenvolvimento da física bem como a proposição/análise de sequências didáticas que as abordem não têm sido alvo primordial de pesquisadores da área” (p. 5). Este argumento nos possibilita reconhecer que importantes contribuições de mulheres no desenvolvimento científico e tecnológico, como Jocelyn Bell Burnell, ainda não são devidamente exploradas. Cordeiro (2017) sugere que “deveríamos nos indagar sobre os motivos dessa escassez ser normalizada na educação e na ciência e o que ela diz sobre nossas expectativas da ciência, da sociedade e das relações entre homens e mulheres” (p. 671). Neste viés, destacamos não somente a importância do estudo das contribuições das mulheres cientistas, mas também a necessidade de nos aprofundarmos em aspectos da trajetória dessas mulheres, de maneira a observarmos as dificuldades estruturais presentes nas suas ascensões científicas.

Ainda em relação aos aspectos históricos, percebemos que as discussões sobre este episódio são exploradas pontualmente em artigos de periódicos e em trabalhos de eventos.

Ademais, há pontuais pesquisas que exibem divergências em relação aos relatos históricos apresentados em fontes primárias e secundárias, como aquela observada em termos da história da detecção do pulsar na Nebulosa do Caranguejo. Além disso, dissertações no campo do ensino que apresentam discussões sobre os pulsares elaboram menções de maneira predominantemente conceitual. Neste contexto, consideramos importante destacar que embora exista um recente esforço para o desenvolvimento de pesquisas sobre Evolução Estelar e Radioastronomia, direcionadas ao ensino de Física e de Astronomia, o que proporciona a inserção de discussões sobre as estrelas de nêutrons e os pulsares, pouco se apresenta preocupações acerca da sua abordagem histórica no contexto educacional.

Embora algumas dissertações e teses do campo da Física e da Astronomia mostrem uma relativa preocupação com as discussões históricas envolvidas nestes conceitos, destinando capítulos de suas pesquisas para o desenvolvimento de contextualizações históricas, poucas delas apresentam discussões mais aprofundadas, demonstrando uma escrita histórica predominantemente cronológica. Estas evidências reforçam a relevância da necessidade do desenvolvimento de resgates históricos sobre essa temática, que abarquem não somente a pesquisa protagonizada por Jocelyn Bell Burnell, mas que também estabeleça uma discussão histórica sobre o contexto anterior e posterior ao episódio de identificação dos primeiros pulsares. Nesta perspectiva, é possível não se recair em narrativas históricas sobre a ciência que submetem descobertas como fruto de trabalho de cientistas isoladas/os em seus laboratórios; diferente disso, as narrativas históricas sobre descobertas devem enfatizar as cooperações, mas também as controvérsias, por exemplo.

No sentido de ensejar perspectivas futuras de estudo sobre esta temática, a análise das pesquisas do campo do ensino de Física e de Astronomia, em especial, possibilitou evidenciar a potencialidade dos pulsares como um fenômeno que articula diferentes campos da Física para seu entendimento conceitual, como Mecânica, Óptica, Relatividade, Física Nuclear e de Partículas. Em nível de exemplo, a citação de Napoleão (2018, p. 248) define estes objetos da seguinte maneira:

Estrelas de nêutrons são objetos extremamente compactos, constituídos inteiramente pelos nêutrons que existiam no núcleo das estrelas originais. Todas elas possuem raio muito pequeno (cerca de 10 km, o tamanho de uma cidade) e densidades ainda maiores que as anãs brancas, da ordem de 10^{14} a 10^{15} g/cm³: uma pessoa que pesa 70 kg na Terra pesaria 14 bilhões de toneladas na superfície de uma estrela de nêutrons! Todas elas giram com uma rotação extremamente rápida, da ordem de frações de segundo – o que se explica pela maneira pela qual elas se formaram (o colapso quase instantâneo de um núcleo de cerca de 6.000 km de raio para apenas 10 km) e pelas leis da conservação do momento angular (as mesmas que garantem que uma patinadora no gelo possa girar a velocidades muito maiores quando cola os braços ao corpo).

Além disso, o estudo dos elementos históricos sobre os pulsares presentes nas pesquisas analisadas sugere a possibilidade de profícuas discussões de aspectos relativos à Natureza da Ciência, como indicados, por exemplo, no artigo de Peduzzi e Raicik (2020), podendo-se articular referenciais da moderna filosofia da ciência. Com efeito, algumas pesquisas indicam que o achado dos pulsares protagonizado pela astrônoma ocorreu de maneira inesperada, o que possibilita discutir acerca da serendipidade na ciência; outros trabalhos, por sua vez, ensejam refletir sobre as complexas relações entre teoria-observação no contexto histórico de detecção dos pulsares, na qual podemos discutir, por exemplo, sobre as implicações da hipótese dos *Little Green Men*. Inclusive, alguns trabalhos também evidenciaram a possibilidade de discussões relativas aos fatores que geram a aceitação ou a rejeição de hipóteses científicas, como a dificuldade da aceitação de Arthur Eddington perante as propostas teóricas sobre as anãs brancas descritas por Subrahmanyan Chandrasekhar, além da aceitação da comunidade científica acerca dos cálculos relativos à massa das estrelas de nêutrons desenvolvidas por Richard Tolman, Robert Oppenheimer e George Volkoff, que conflitavam justamente com o que fora encontrado anos antes por Chandrasekhar.

Concluimos este artigo defendendo a riqueza das discussões presentes na história dos pulsares, devido, por exemplo, “[...] sua impressionante previsão a partir da mesma física que levou à ameaça de guerra nuclear, sua descoberta inesperada e as controvérsias que se seguiram” (MCNAMARA, 2008, p. 1). Neste sentido, argumentamos quanto à necessidade de pesquisas e de esforços acadêmicos que possam dar mais visibilidade a discussão desta temática no contexto do ensino de Física e de Astronomia, de forma a se contribuir, também, com estudos, sob uma perspectiva histórica, acerca da origem e evolução das estrelas. Reiteramos que este episódio, ainda que seja relativamente recente no contexto da história da Astronomia, apresenta uma riqueza histórico-filosófica e conceitual muito relevante para o ensino *de e sobre* Ciência.

REFERÊNCIAS

ALFRADIQUE, V. A. P. **Modelos de Estrelas Relativísticas com Campo Magnético Dipolar**. 2016. Niterói. 123 p. Dissertação (Mestrado em Física) - Universidade Federal Fluminense.

ALLOY, M. D. **Pasta nuclear e a evolução de protoestrelas de nêutrons**. 2012. Florianópolis. 160 p. Tese (Doutorado em Física) - Universidade Federal de Santa Catarina.

ALVES, V. C. *et al.* A evolução dos instrumentos de observação astronômica e o contexto histórico-científico. In: Simpósio Nacional de Ensino de Física, 17., São Luiz. **Anais...** São Luiz: Universidade Estadual do Maranhão, 2007.

ARAÚJO, M. L. **Simuladores experimentais de radiotelescópios para o ensino de astronomia no nível médio.** 2017. Feira de Santana. 253 p. Dissertação (Mestrado em Ensino de Astronomia) - Universidade Estadual de Feira de Santana.

ARAÚJO, M. L.; GUEDES, G. P.; PEREIRA, M. G. Da prática da radioastronomia amadora com o Radio Jove à criação de produtos educacionais para o ensino de física. In: Simpósio Nacional de Ensino de Física, 23., Salvador. **Anais...** Salvador: Instituto Federal da Bahia, 2019.

BAADE, W.; ZWICKY, F. Cosmic Rays from Super-Novae. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 20, n. 5, p. 259–263, 1934.

BASSALO, J. M. F.; CATTANI, M. Detecção de ondas gravitacionais. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 33, n. 3, p. 879–895, 2016.

BASSALO, J. M. F.; CATTANI, M. O Prêmio Nobel de Física de 2017 e as Instituições Brasileiras de Pesquisas Físicas. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 35, n. 2, p. 440–460, 2018.

BELL BURNELL, J. Petit Four. **Annals of the New York Academy of Sciences**, v. 302, n. 1 Eighth Texas, p. 685–689, 1977.

BELL BURNELL, J. The Discovery of Pulsars. In: KELLERMANN, K.; SHEETS, B. (Ed.). **Serendipitous Discoveries in Radio Astronomy.** Green Bank: National Radio Astronomy Observatory, 1983.

BELL BURNELL, J. Pliers, pulsars and extreme physics. **Astronomy and Geophysics**, v. 45, n. 1, p. 1.07-1.11, 2004.

BELL BURNELL, J. Astronomy: Pulsars 40 years on. **Science**, v. 318, n. 5850, p. 579–581, 2007.

BELL BURNELL, J. The past, present and future of pulsars. **Nature Astronomy**, v. 1, n. 12, p. 831–834, 2017.

BIANCHI, V. Radioastronomía: Una mirada más amplia. **Revista Latino-Americana de Educação em Astronomia**, n. 1, p. 61–76, 2004.

CARVALHO NETO, J. T. *et al.* Trabalhando de forma prática o experimento de detecção de ondas gravitacionais do observatório LIGO. In: Simpósio Nacional de Ensino de Física, 22., São Carlos. **Anais...** São Carlos: Universidade de São Paulo, 2017.

CARVALHO, R. A.; SILVA, A. C.; CABRAL, T. C. Contribuições femininas no desenvolvimento da física: uma pesquisa em periódicos da área de ensino. In: Simpósio Nacional de Ensino de Física, 23., Salvador. **Anais...** Salvador: Instituto Federal da Bahia, 2019.

CASALI, R. H. **Objetos estelares compactos sujeitos a campos magnéticos fortes.** 2013. Florianópolis. 191 p. Tese (Doutorado em Física) - Universidade Federal de Santa Catarina.

CAVAGNOLI, R. **A importância dos mésons estranhos nas propriedades das estrelas de nêutrons**. 2005. Florianópolis. 93 p. Dissertação (Mestrado em Física) - Universidade Federal de Santa Catarina.

CHADWICK, J. Possible Existence of a Neutron. **Nature**, v. 129, n. 3252, p. 312, 1932.

CHANDRASEKHAR, S. The Maximum Mass of Ideal White Dwarfs. **Journal of Astrophysics and Astronomy**, v. 15, n. 2, p. 115–116, 1994.

CORDEIRO, M. D. Mulheres na Física: um pouco de história. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 34, n. 3, p. 669–672, 2017.

COSTA, B. L.; POLATI, F.; ALLEN, M. P. Uma proposta de discussão de controvérsias históricas e epistemológicas acerca da evolução estelar para o ensino médio. In: Simpósio Nacional de Educação em Astronomia, 5., Londrina. **Anais...** Londrina: Universidade Estadual de Londrina, 2018.

DAMASIO, F.; PEDUZZI, L. O. Q. História e filosofia da ciência na educação científica: para quê? **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 19, p. 1–20, 2017.

DARROZ, L. M. *et al.* Evolução dos conceitos de astronomia no decorrer da educação básica. **Revista Latino-Americana de Educação em Astronomia**, n. 17, p. 107–121, 2014.

DEXHEIMER, V. A. **Compressibilidade da Matéria Nuclear em Estrelas de Nêutrons**. 2006. Porto Alegre. 170 p. Dissertação (Mestrado em Física) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

DICK, S. J. **Discovery and Classification in Astronomy: Controversy and Consensus**. Cambridge: Cambridge University Press, 2013.

FIGUEREDO, N. Da importância dos artigos de revisão da literatura. **Revista Brasileira de Biblioteconomia e Documentação**, v. 23, p. 131–134, 1990.

FRÓES, A. L. D. Astronomia, astrofísica e cosmologia para o ensino médio. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 36, n. 3, p. 1–15, 2014.

GAMA, L. D.; HENRIQUE, A. B. Astronomia na sala de aula: por quê? **Revista Latino-Americana de Educação em Astronomia**, n. 10, p. 7–15, 2010.

GOLD, T. Rotating Neutron Stars as the Origin of the Pulsating Radio Sources. **Nature**, v. 218, n. 5143, p. 731–732, 1968.

GOMES, R. O. **Transições de Fase Hádron-Quark em Estrelas de Nêutrons**. 2011. Porto Alegre. 172 p. Dissertação (Mestrado em Física) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

GOMES, R. O. **Vínculos Magnéticos na Equação de Estado e na Estrutura de Estrelas de Nêutrons**. 2016. Porto Alegre. 233 p. Tese (Doutorado em Ciências) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

GRAHAM-SMITH, F. **Unseen Cosmos: The Universe in Radio**. Oxford: Oxford University Press, 2014.

HEERDT, B. *et al.* Gênero no Ensino de Ciências Publicações em Periódicos no Brasil: o estado do conhecimento. **Revista Brasileira de Educação em Ciências e Educação Matemática**, v. 2, n. 2, p. 217–241, 2018.

HENRIQUE, A. B.; ANDRADE, V. F. P.; L'ASTORINA, B. Discussões sobre a Natureza da Ciência em um curso sobre a história da astronomia. **Revista Latino-Americana de Educação em Astronomia**, n. 10, p. 17–31, 2010.

HEWISH, A. *et al.* Observation of a Rapidly Pulsating Radio Source. **Nature**, v. 217, n. 5130, p. 709–713, 1968.

HORVATH, J. E. Uma proposta para o ensino da astronomia e astrofísica estelares no Ensino Médio. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 35, n. 4, p. 4501, 2013.

HULSE, R. A.; TAYLOR, J. H. Discovery of a pulsar in a binary system. **The Astrophysical Journal**, v. 195, n. 9, p. L51–L53, 1975.

IACHEL, G. O conhecimento prévio de alunos do ensino médio sobre as estrelas. **Revista Latino-Americana de Educação em Astronomia**, n. 12, p. 7–29, 2011.

JACOBSEN, R. B. **Plasma de Quarks e Glúons no Interior de Estrelas de Nêutrons**. 2007. Porto Alegre. 279 p. Dissertação (Mestrado em Física) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

KIDGER, M. **Cosmological Enigmas: Pulsars, Quasars, and Other Deep-Space Questions**. Baltimore: The Johns Hopkins University Press, 2007.

LADISLAU, S. M. **Análises dos mecanismos de perda de energia e os índices de freamento em pulsares**. 2019. São José dos Campos. 101 p. Dissertação (Mestrado em Astrofísica) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

LANDAU, L. On the Theory of Stars. In: **Collected Papers of Lev Davidovich Landau**. London: Elsevier, 1965. 858p. 60–62.

LANGHI, R.; NARDI, R. Ensino de Astronomia: Erros conceituais mais comuns presente em livros didáticos de ciência. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 24, n. 1, p. 87–111, 2007.

LARGE, M. I.; VAUGHAN, A. E.; MILLS, B. Y. A Pulsar Supernova Association? **Nature**, v. 220, n. 5165, p. 340–341, 1968.

LATTARI, C. J. B.; TREVISAN, R. H. Radioastronomia: noções iniciais para o ensino médio e fundamental como ilustração de aula. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 18, n. 2, p. 229–239, 2001.

LEITE, C.; HOSOUME, Y. Os professores de ciências e suas formas de pensar a astronomia. **Revista Latino-Americana de Educação em Astronomia**, n. 4, p. 47–68, 2007.

LIMA, B. S. O labirinto de cristal: As trajetórias das cientistas na física. **Revista Estudos Feministas**, v. 21, n. 3, p. 883–903, 2013.

LIMA, L. G.; RICARDO, E. C. Física e Literatura: uma revisão bibliográfica. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 32, n. 3, p. 577–617, 2015.

LIVI, S. H. B. Um visitante inesperado: a supernova 1987 A. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 4, n. 2, p. 98–103, 1987.

LONGAIR, M. **The Cosmic Century: A History of Astrophysics and Cosmology**. Cambridge: Cambridge University Press, 2006.

LOPES, L. L. **Equações de Estado em Física de Hádrons**. 2016. Florianópolis. 112 p. Tese (Doutorado em Física) - Universidade Federal de Santa Catarina.

MARQUEZ, K. D. **Conversão de fases em estrelas compactas**. 2018. Florianópolis. 158 p. Dissertação (Mestrado em Física) - Universidade Federal de Santa Catarina.

MARTINS, L. A. C. P. História da Ciência: objetos, métodos e problemas. **Ciência & Educação**, v. 11, n. 2, p. 305–317, 2005.

MCGRAYNE, S. B. **Nobel Prize Women in Science: Their Lives, Struggles and Momentous Discoveries**. 2. ed. Washington: Joseph Henry Press, 1998.

MCNAMARA, G. **Clocks in the Sky: The Story of Pulsars**. New York: Praxis, 2008.

MENDES, C. **Evolução do Campo Magnético em Binárias Relativísticas**. 2017. São Paulo. 110 p. Tese (Doutorado em Ciências) - Universidade de São Paulo.

MOURA, B. A. O que é natureza da Ciência e qual sua relação com a História e Filosofia da Ciência. **Revista Brasileira de História da Ciência**, v. 7, n. 1, p. 32–46, 2014.

MOZENA, E. R.; OSTERMANN, F. Uma revisão bibliográfica sobre a interdisciplinaridade no ensino de Ciências da Natureza. **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 16, n. 2, p. 185–206, 2014.

NAPOLEÃO, T. A. J. **Astrofísica Estelar para o Ensino Médio: Uma abordagem empírica baseada na observação visual das estrelas variáveis**. 2018. São Paulo. 425 p. Dissertação (Mestrado em Ensino de Astronomia) - Universidade de São Paulo.

NOBEL PRIZE. **The Nobel Prize in Physics 1974**. 2022a. Disponível em: <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/1974/summary/>. Acesso em: 07 mai. 2022.

NOBEL PRIZE. **The Nobel Prize in Physics 1993**. 2022b. Disponível em: <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/1993/summary/>. Acesso em: 07 mai. 2022.

OLIVEIRA, H. O. **Modelo para o Índice de Frenagem de Pulsares**. 2015. São José dos Campos. 68 p. Dissertação (Mestrado em Física) - Instituto Tecnológico de Aeronáutica.

OPPENHEIMER, J. R.; VOLKOFF, G. M. On Massive Neutron Cores. **Physical Review**, v. 55, n. 4, p. 374–381, 1939.

PACHECO, M. H.; ZANELLA, M. S. Panorama de pesquisas em ensino de Astronomia nos anos iniciais: um olhar para teses e dissertações. **Revista Latino-Americana de Educação em Astronomia**, n. 28, p. 113–132, 2019.

PACINI, F. Energy Emission from a Neutron Star. **Nature**, v. 216, n. 5115, p. 567–568, 1967.

PEDUZZI, L. O. Q.; RAICIK, A. C. Sobre a Natureza da Ciência: asserções comentadas para uma articulação com a história da ciência. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 25, n. 2, p. 19–55, 2020.

PEIXOTO, D. E.; RAMOS, E. M. F. Formação do professor de Física para o ensino de Astronomia: algumas possibilidades e reflexões. In: Simpósio Nacional de Educação em Astronomia, 1., Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro, 2011.

PIRES, A. M. **Population Study of Radio-Quiet and Thermally Emitting Isolated Neutron Stars**. 2009. São Paulo. 280 p. Tese (Doutorado em Filosofia) - Universidade de São Paulo.

RAZEIRA, M. **Naturalidade, Quebra de Simetria de Isospin e a Estrutura Interna das Estrelas de Nêutrons**. 2008. Porto Alegre. 245 p. Tese (Doutorado em Ciências) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

RIBEIRO, J. L. P.; CARNEIRO, M. H. S. A reflexão da luz nos periódicos de Ensino de Física: evidenciando tendências e carências de pesquisa a partir de uma revisão bibliográfica. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 33, n. 2, p. 355–398, 2016.

RODRIGUES, R. S. R. **Formação e evolução estelar como uma proposta de contextualização para o ensino de Termodinâmica no Ensino Médio**. 2016. Florianópolis. 127 p. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) - Universidade Federal de Santa Catarina.

RODRÍGUEZ, J. M. Polarización de la luz: conceptos básicos y aplicaciones en astrofísica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 40, n. 4, p. e4310, 2018.

SANZOVO, D. T.; LABURÚ, C. E. Identificação de conceitos astronômicos em livros paradidáticos na formação de professores de Ciências. In: Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, 9., Águas de Lindóia. **Anais...** Águas de Lindóia: Associação Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências, 2013.

SCHMIDT, M. 3C 273: A Star-Like Object with Large Red-Shift. **Nature**, v. 197, n. 4872, p. 1040–1040, 1963.

SILVA, A. B. **Evolução Estelar no Ensino de Ciências**. 2017. Feira de Santana. 107 p. Dissertação (Mestrado em Ensino de Astronomia) - Universidade Estadual de Feira de Santana.

SILVA, A. C.; ALMEIDA, M. J. P. M. Física quântica no ensino médio: o que dizem as pesquisas. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 28, n. 3, p. 624–652, 2011.

SILVA, R. S.; ERROBIDART, N. C. G. Sobre as pesquisas relacionadas ao ensino do efeito fotoelétrico. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 32, n. 3, p. 618–639, 2015.

STAELIN, D. H.; REIFENSTEIN, E. C. Pulsating Radio Sources near the Crab Nebula. **Science**, v. 162, n. 3861, p. 1481–1483, 1968.

STASINSKA, G. Por que as estrelas são importantes para nós? **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 27, n. 4, p. 672–684, 2010.

STEINER, J. E. Buracos Negros: sementes ou cemitérios de galáxias? **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 27, n. 4, p. 723–742, 2010.

TOLMAN, R. C. Static solutions of einstein's field equations for spheres of fluid. **Physical Review**, v. 55, n. 4, p. 364–373, 1939.

TONET, M. D.; LEONEL, A. A. Nanociência e Nanotecnologia: uma revisão bibliográfica acerca das contribuições e desafios para o ensino de Física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 36, n. 2, p. 431–456, 2019.

VIEIRA, M. B. F. **Astrofísica Estelar para o Ensino Médio**: análise de uma proposta. 2018. São Paulo. 86 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade de São Paulo.

YAKOVLEV, D. G. *et al.* Lev Landau and the concept of neutron stars. **Physics-Uspekhi**, v. 56, n. 3, p. 289–295, 2013.

Artigo 2

LITTLE GREEN MEN: O EPISÓDIO DE DETECÇÃO DOS PULSARES E O PROTAGONISMO DE JOCELYN BELL BURNELL

“Here was I trying to get a Ph. D. out of a new technique, and some silly lot of Little Green Men had to choose my aerial and my frequency to communicate with us!”.

Jocelyn Bell Burnell⁸

⁸ Tradução: “Aqui estava eu tentando obter um doutorado com uma nova técnica, e alguns homenzinhos verdes tiveram que escolher minha antena e minha frequência para se comunicar conosco?”. Referência: BELL BURNELL, J. Petit Four. *Annals of the New York Academy of Sciences*, v. 302, n. 1 Eighth Texas, p. 685–689, 1977.

2 LITTLE GREEN MEN: O EPISÓDIO DE DETECÇÃO DOS PULSARES E O PROTAGONISMO DE JOCELYN BELL BURNELL⁹

RESUMO: No ano de 1967, a então estudante de pós-graduação Jocelyn Bell identificou sinais pulsados de ondas de rádio, que posteriormente puderam corroborar observacionalmente a existência das estrelas de nêutrons. Neste trabalho, desenvolvemos um estudo histórico-epistemológico sobre o episódio de detecção dos pulsares a partir de relatos elaborados por Jocelyn Bell Burnell e por seu orientador, Antony Hewish, e de pesquisas que se debruçaram sobre este tema. Na análise epistemológica, consideramos, predominantemente, aspectos da filosofia da ciência de Thomas Kuhn e Norwood Hanson. Os resultados chamam atenção para o papel da serendipidade em uma descoberta científica e para a importância do trabalho coletivo em um período de ciência normal, que neste caso propiciaram novos estudos teóricos e observacionais para a compreensão deste novo objeto astronômico. Ressaltamos que a discussão da serendipidade e do acaso no contexto de ensino de ciências pode contribuir para desmistificar ideias equivocadas sobre este conceito, favorecendo uma melhor compreensão da natureza do conhecimento científico. O trabalho também possibilita evidenciar o protagonismo de uma mulher cientista em um importante episódio científico.

Palavras-Chave: História da Física e da Astronomia, Natureza da Ciência, Mulheres na Ciência, Estrelas de Nêutrons.

2.1 INTRODUÇÃO

Há pouco mais de cinquenta anos, o campo científico da Astronomia Moderna vivenciou um dos seus mais célebres eventos: a detecção observacional dos pulsares, que posteriormente corroboraram a existência das estrelas de nêutrons, possibilidade sugerida décadas antes, em 1930 (LONGAIR, 2009). Apesar disso, a novidade desse achado residia no fato de que “[...] ninguém suspeitava que estrelas de nêutrons pudessem emitir sinais pulsados de radiofrequência” (ROBERTS, 1989, p. 121). A pesquisa protagonizada pela então estudante de

⁹ Este capítulo foi publicado na íntegra no volume 27, número 1 da *Revista Investigações em Ensino de Ciências* no ano de 2022. Disponível em: <https://www.if.ufrgs.br/cref/ojs/index.php/ienci/article/view/2620>. Acesso em: 05 mai. 2022.

Um recorte das discussões foi apresentado no *XIII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências*, com o título “Serendipidade em descobertas científicas: o episódio de detecção dos pulsares”. Disponível em: <https://www.editorarealize.com.br/index.php/artigo/visualizar/76253>. Acesso em: 18 abr. 2022.

pós-graduação Jocelyn Bell¹⁰ em seu doutorado na Universidade de Cambridge, durante os últimos anos da década de 1960, possibilitou o anúncio de

[...] uma classe totalmente nova de estrelas que emitiam pulsos de ondas de rádio com extraordinária rapidez e precisão. Os pulsares foram logo reconhecidos como estrelas de nêutrons, as cinzas da evolução estelar que os astrônomos supunham serem fracas demais para serem detectadas da Terra (WADE, 1975, p. 358).

A identificação dos pulsares “[...] mostrou que objetos compactos, muito além das estrelas anãs brancas, existiam” (KIDGER, 2007, p. 30). A biógrafa Sharon Bertsch McGrayne, em seu livro *Nobel Prize Women in Science: Their Lives, Struggles and Momentous Discoveries*, descreve que a pesquisa científica protagonizada por Jocelyn Bell “[...] forneceu aos físicos novos laboratórios gigantes para o estudo de matéria superdensa, campos magnéticos superfortes, relatividade geral e gravitação” (MCGRAYNE, 1998, p. 357). Ademais, Almeida (2020) aponta que o reconhecimento da possível existência dos buracos negros se fortaleceu por meio das “[...] descobertas astronômicas dos quasares e pulsares e a ascensão da astrofísica relativística” (p. e20200197-2). Em suma, a identificação destes objetos propiciou uma melhor compreensão do processo de evolução estelar.

Além da sua relevância para o campo da Astronomia, os elementos históricos sobre o episódio de detecção deste novo objeto celeste proporcionam interessantes discussões, sob o ponto de vista educacional, acerca de aspectos relativos ao processo de construção de conhecimentos na ciência. Um destes curiosos aspectos diz respeito ao fato de que, à época da detecção, entre os membros do grupo em que Jocelyn Bell atuava como pesquisadora se considerou “[...] por um tempo que os sinais poderiam ser originários de outra civilização, motivo pelo qual eles apelidaram os pulsares de Little Green Men” (WADE, 1975, p. 358). Não somente isso, McNamara (2008, p. 3) corrobora esta perspectiva elencando outros elementos sobre ciência envolvidos neste episódio:

[...] a história do pulsar também está repleta de controvérsias, carreiras ameaçadas, comentários descuidados à mídia, o equilíbrio entre a comunicação científica aberta e a rivalidade que se esconde dentro e entre as instituições. É uma história de cooperação internacional e pesquisa de ponta em tecnologia. Acima de tudo, porém, é uma história de uma ciência fantástica.

Outro aspecto, não menos importante, que a discussão histórica sobre os pulsares pode ensejar diz respeito à visibilidade das mulheres nas ciências, pelo fato de evidenciar o

¹⁰ À época do episódio de detecção dos pulsares, entre os anos de 1967 e 1968, a cientista assinou sua tese de doutorado com o nome Susan Jocelyn Bell. Entretanto, ao se casar, passou a assinar seus trabalhos com o nome Jocelyn Bell Burnell, como nos artigos em que relata a sua atuação neste episódio histórico.

protagonismo da astrônoma Jocelyn Bell Burnell. Ainda que as investigações no âmbito do ensino de ciências com abordagens histórico-epistemológicas apresentem preocupações “[...] em não reproduzir uma imagem de ciência neutra, rígida e elitista, [estas pesquisas] não têm mostrado a diversidade de personagens que produzem essa ciência” (LIMA, 2019, p. 64). Neste sentido, uma das reivindicações apresentadas em recentes trabalhos no âmbito da educação em ciências (LIMA, 2015; CORDEIRO, 2017; MAIA FILHO; SILVA, 2019) diz respeito à elucidação de exemplos de mulheres cientistas cujas contribuições foram negligenciadas historicamente. De fato, mediante a explanação histórica da atuação de mulheres no campo das ciências “[...] reconfiguramos a área de história das ciências, tornando-a mais representativa, a partir de novos olhares, novas narrativas e novas personagens mulheres” (MAIA FILHO; SILVA, 2019, p. 137).

Cabe ressaltar que recentes trabalhos do campo de ensino se debruçaram em investigar os aspectos históricos de conceitos da Astronomia, Astrofísica e Cosmologia, como a Teoria do Big Bang (ARTHURY; PEDUZZI, 2015), a Lei de Hubble e a evolução do universo (BAGDONAS; ZANETIC; GURGEL, 2017), a pré-história dos buracos negros (ALMEIDA, 2020), as contribuições de Cecília Payne na composição estelar (VIEIRA; MASSONI; ALVES-BRITO, 2021). Em relação aos pulsares, no entanto, Pires e Peduzzi (2021a) desenvolveram uma revisão bibliográfica na qual evidenciaram que esta temática ainda é pontualmente discutida sob uma perspectiva histórica em pesquisas do âmbito do ensino de Física e de Astronomia; algumas exceções, por exemplo, são as pesquisas de Araújo (2017) e Costa, Polati e Allen (2018), que apresentam aspectos históricos sobre os pulsares no contexto do ensino de conceitos de Radioastronomia e Evolução Estelar, respectivamente.

Assim, considerando a potencialidade deste episódio histórico para discussão destes importantes aspectos para o campo da educação em ciências, objetivamos, neste artigo, desenvolver uma discussão histórico-epistemológica acerca do episódio de detecção dos pulsares. Neste sentido, intencionamos prover respostas para as seguintes perguntas de pesquisa: *“Que contribuições apresenta a pesquisa desenvolvida pela cientista Jocelyn Bell Burnell para o campo da Astronomia, no que se refere ao episódio de detecção dos pulsares? Que discussões sobre Natureza da Ciência podem ser abordadas por meio dos aspectos apresentados no episódio de detecção deste objeto?”*.

Nesta perspectiva, o artigo apresenta a seguinte estrutura: inicialmente, elencamos elementos relacionados ao embasamento teórico-metodológico da pesquisa, que envolvem a defesa da utilização didática da História e Filosofia da Ciência. Em seguida, construímos um percurso histórico sobre o episódio de detecção dos pulsares, baseado em relatos das/os cientistas envolvidas/os, o que compreende desde a entrada de Jocelyn Bell no grupo de

radioastrônomos na Universidade de Cambridge até a detecção dos pulsares pela cientista, com base na análise documental de relatos de cientistas envolvidas/os. Posteriormente, por meio da análise epistemológica desta discussão histórica, explicitamos determinados aspectos sobre a Natureza da Ciência que se apresentam neste episódio, com base em reflexões de autores da moderna filosofia da ciência.

2.2 PRESSUPOSTOS TEÓRICO-METODOLÓGICOS

Diversas pesquisas do campo da Educação em Ciências (MATTHEWS, 1995; ABD-EL-KHALICK; LEDERMAN, 2000; MARTINS, 2007; FORATO, 2009; FORATO; PIETROCOLA; MARTINS, 2011; OLIVEIRA; SILVA, 2012; MOURA, 2014; KRUPCZAK; AIRES, 2018; PEDUZZI; RAICIK, 2020) sugerem a utilização, em sala de aula, de elementos de História e de Filosofia da Ciência (HFC). Tais pesquisas apontam potencialidades, por possibilitar que docentes e discentes reconheçam as variadas particularidades presentes no processo de construção do conhecimento científico, sem restringir o ensino apenas à apresentação dos resultados científicos. De outra forma, o reconhecimento dos conteúdos da ciência “[...] é condição necessária, e indispensável, mas não suficiente para saber sobre a ciência, sobre a natureza do empreendimento científico” (PEDUZZI; RAICIK, 2020, p. 20).

Em termos de sua potencialidade pedagógica, cabe ressaltarmos que a abordagem histórico-filosófica promove discussões profícuas acerca de aspectos da Natureza da Ciência (NdC). Em especial, alguns trabalhos (HENRIQUE, ANDRADE; L’ASTORINA, 2010; CARVALHO, NASCIMENTO; SILVA, 2017; GORGES NETO; ARTHURY, 2021) elaboram discussões sobre a articulação de elementos de NdC com a História da Astronomia. Apesar do caráter multifacetado acerca da sua definição, podemos compreender que, em linhas gerais

A Natureza da Ciência é entendida como um conjunto de elementos que tratam da construção, estabelecimento e organização do conhecimento científico. Isto pode abranger desde questões internas, tais como método científico e relação entre experimento e teoria, até outras externas, como a influência de elementos sociais, culturais, religiosos e políticos na aceitação ou rejeição de ideias científicas (MOURA, 2014, p. 32).

Podemos evidenciar determinados aspectos sobre a NdC mediante o desenvolvimento de narrativas sobre episódios históricos, pois, “estudos historiográficos trazem elementos que subsidiam discussões acerca da gênese do conhecimento científico” (MOURA, 2014, p. 33). Neste sentido, a partir de pressupostos elencados por Cellard (2012), construímos uma narrativa histórica baseada em elementos da análise documental. Assim, as fontes primárias utilizadas para

a escrita da narrativa consistem em artigos redigidos por Jocelyn Bell Burnell sobre o episódio de detecção dos pulsares (BELL BURNELL, 1977, 1983, 2004, 2007, 2017) bem como o relato desenvolvido pela astrônoma enquanto estudante de pós-graduação, presente no apêndice da sua tese de doutorado (BELL, 1969). Da mesma forma, como contribuição à narrativa, são elencadas algumas reflexões expostas no discurso de Antony Hewish, orientador de Jocelyn Bell Burnell, na Conferência do Prêmio Nobel de Física do ano de 1974 (HEWISH, 1974). Estas fontes permitem uma imersão em aspectos do contexto de descoberta e justificação do achado científico. Em termos das fontes secundárias, são mencionadas reflexões de estudiosas/os que se debruçaram no estudo deste episódio (WADE, 1975; MCGRAYNE, 1998; LONGAIR, 2006, 2011; MCNAMARA, 2008; DICK, 2013; PENNY, 2013; GRAHAM-SMITH, 2014; VIDAL, 2019), que apresentam possíveis interpretações em retrospectiva sobre o episódio em questão.

A análise preliminar da construção histórica desenvolvida permitiu identificar determinados elementos de Natureza da Ciência que podem ser investigados mediante reflexões baseadas na moderna filosofia da ciência. Por exemplo, é perceptível a presença da serendipidade no processo de detecção dos pulsares. A potencialidade de discussões sobre este aspecto, quando presente no processo de geração de conhecimento, é mencionado por Peduzzi e Raicik (2020). Neste âmbito, as reflexões histórico-epistemológicas desenvolvidas incluíram, predominantemente, conceitos da filosofia da ciência de Thomas Kuhn (2011, 2017, 2018) e Norwood Hanson (1967). Definimos a escolha destes autores pelo fato de que ambos discutem características das descobertas científicas e, principalmente, a presença da serendipidade no trabalho científico. As ponderações de Thomas Kuhn, em específico, oportunizam discutir a existência das práticas científicas em um contexto de ciência normal no âmbito da detecção dos pulsares. Cabe apontar, ainda, no que se refere às discussões sobre serendipidade, que consideramos trabalhos específicos que versam sobre este aspecto na ciência, como os de Rosenman (1988), Van Andel (1994), Merton e Barber (2004), Norrby (2010), Gillies (2015) e Copeland (2019).

2.3 O EPISÓDIO DE DETECÇÃO DOS PULSARES

2.3.1 A Procura por Quasares por Jocelyn Bell

Ainda que os objetos estelares denominados *pulsares* tenham sido identificados no ano de 1967 mediante os esforços acadêmicos de Jocelyn Bell (1943-), de seu orientador Antony

Hewish (1924-2021), além de outros integrantes do grupo de radioastrônomos de Cambridge, “[...] as sementes desta conquista foram plantadas muito antes, durante a emocionante época em que a radioastronomia se desenvolveu em uma busca especializada de físicos e engenheiros” (LONGAIR, 2011, p. 147). As ondas de rádio cósmicas, identificadas por Karl Jansky (1905-1950) e Grote Reber (1911-2022), na década de 1930, possibilitaram o início do desenvolvimento de um emergente campo na Astronomia: a radioastronomia¹¹, que “[...] era capaz de realizar descobertas completamente independentes da astronomia óptica. Uma nova era na pesquisa científica havia começado” (MCNAMARA, 2008, p. 33).

Após a Segunda Guerra Mundial, “a tecnologia do rádio passou por uma grande evolução” (MCNAMARA, 2008, p. 30), possibilitando que muitos grupos de radioastrônomos comesçassem a investigar a natureza das emissões cósmicas de rádio. Neste contexto, “os principais grupos envolvidos eram Cambridge, Manchester e Sydney” (LONGAIR, 2011, p. 147). O grupo de pesquisa de Cambridge era liderado por Martin Ryle (1918-1984), sendo Antony Hewish um dos integrantes. O objetivo desses cientistas consistia em desenvolver técnicas que possibilitassem a obtenção de “alta resolução angular¹² e sensibilidade combinando coerentemente os sinais de rádio recebidos por conjuntos de telescópios” (LONGAIR, 2011, p. 147). Antony Hewish, especificamente, ingressou neste grupo em 1948, sendo seu interesse investigar o “[...] problema geral da propagação da radiação através de meios transparentes irregulares. Todos nós conhecemos o cintilar das estrelas visíveis e minha tarefa era entender por que as estrelas que emitiam em ondas de rádio também cintilavam” (HEWISH, 1974, p. 174). De outra forma,

A pesquisa de Hewish envolveu a compreensão da natureza das flutuações, ou cintilações, das intensidades das fontes de rádio devido às nuvens de plasma em movimento [...] Assim como as estrelas cintilam mesmo nas noites mais claras, as fontes pontuais de emissão de rádio cintilam, especialmente nos longos comprimentos de onda do rádio (LONGAIR, 2011, p. 147).

No decorrer da década de 1950, os princípios físicos do processo de cintilação foram estudados por Hewish (1951, 1952). Em seu discurso na Conferência Nobel, Hewish (1974, p. 174) aponta que “se as fontes de rádio fossem de tamanho angular pequeno o suficiente, elas iluminariam a atmosfera solar com coerência aceitável para produzir padrões de interferência na Terra que seriam detectáveis como uma flutuação muito rápida de intensidade” (HEWISH, 1974,

¹¹ Em sua dissertação de mestrado, Araújo (2017) menciona aspectos históricos do surgimento da radioastronomia.

¹² Resolução angular consiste na relação entre as dimensões do telescópio e a frequência das ondas eletromagnéticas. Na radioastronomia, para se conseguir “[...] um poder de resolução comparável com a resolução dos telescópios ópticos, os instrumentos devem ter dimensões exageradamente grandes” (GREGORIO-HETEM; JATENCO-PEREIRA; OLIVEIRA, 2010, p. 63).

p. 174). Ele aponta que, no entanto, pela falta de evidências disponíveis para verificação desta hipótese, a conjectura não fora levada adiante. No ano de 1962, porém, a astrofísica Margaret Clarke

[...] percebeu que três fontes particulares mostravam variações de intensidade. Ela apontou que duas das fontes eram conhecidas por terem tamanhos angulares de menos de 2 segundos de arco e estimou que um mecanismo de cintilação exigia irregularidades no plasma [...] mas concluiu que as flutuações eram um mistério não resolvido (HEWISH, 1974, p. 174).

A partir destas contribuições e com o auxílio de outros radioastrônomos, Antony Hewish aprofundou seus estudos sobre o fenômeno denominado de cintilação interplanetária, o qual foi corroborado experimentalmente mediante a observação de fontes de rádio já conhecidas (HEWISH; SCOTT; WILLS, 1964). Em um de seus relatos, Jocelyn Bell define este fenômeno como a “aparente flutuação na intensidade da emissão de rádio de uma fonte de rádio compacta” e que ocorre devido “à difração das ondas de rádio na medida em que atravessam o turbulento vento solar no espaço interplanetário” (BELL BURNELL, 1977, p. 685). Com base em investigações sobre estas cintilações provenientes de fontes de rádio, seria possível desenvolver

[...] o estudo de três importantes áreas astronômicas: permitiria que muitos mais quasares fossem descobertos; seus tamanhos angulares poderiam ser estimados; e a estrutura e a velocidade do vento solar poderiam ser determinadas (LONGAIR, 2011, p. 150).

Um dos objetos estelares investigados pelos radioastrônomos de Cambridge foram os quasares, identificados por Maarten Schmidt em meados dos anos de 1960. O achado deste astrofísico fora publicado no artigo 3C273: a star-like object with a large red-shift, na Nature, em 1963, revelando que “o objeto estelar consiste em uma estrela com um grande desvio para o vermelho [...] correspondendo a uma velocidade aparente de 47,400 km/s”, (SCHMIDT, 1963, p. 1040). Além disso, “[...] ser detectável em comprimentos de onda visíveis ou de rádio significava que 3C273 era incrivelmente brilhante, implicando suprimento e energia em uma escala nunca antes conhecida” (MCNAMARA, 2008, p. 37). Os quasares se transformaram no objeto de pesquisa de muitos astrônomos, incluindo Antony Hewish. Neste contexto, a cientista Jocelyn Bell, recém-formada em Física na Universidade de Glasgow, ingressou como estudante de doutorado no grupo de radioastrônomos da Universidade de Cambridge (BELL BURNELL, 1977, 1983, 2004). Em um de seus relatos, a pesquisadora aponta que

A natureza tem sido muito gentil conosco, porque as fontes compactas que mostram esse tipo de cintilação [interplanetária] tendem a ser os quasares, e as fontes de rádio de maior diâmetro angular que não cintilam são as galáxias de rádio mais comuns. Tony Hewish percebeu que essa seria uma excelente técnica para encontrar os quasares e ele fez um pedido de subvenção para construir um grande telescópio, especificamente para monitorar o céu em busca de fontes que mostrassem essa cintilação (BELL BURNELL, 1983, p. 160).

Em outras palavras, mediante esta técnica, havia a possibilidade de não somente “estudar as flutuações de densidade no plasma interplanetário e seus movimentos, mas também [...] descobrir quasares, pois muitos deles são fontes de rádio compactas e, portanto, deveriam exibir grandes cintilações de rádio em baixas frequências” (LONGAIR, 2006, p. 193). Assim, o objetivo da pesquisa de doutorado de Jocelyn Bell consistiu em investigar o diâmetro angular de quasares, considerados “os objetos detectáveis mais distantes do universo e também fontes extremamente poderosas de ondas de rádio” (BELL BURNELL, 2007, p. 579). Além disso, “poucos eram conhecidos, e o objetivo do projeto no qual participei era descobrir mais com um novo radiotelescópio” (BELL BURNELL, 2017, p. 831). Naquela época,

Os quasares eram um fenômeno celeste novo e celebrado. Esses luminosos sinais de rádio eram tão pontuais quanto às estrelas e ainda mais distantes que as galáxias. O que poderia estar tão distante, mas brilhar tão intensamente? [...] As respostas a essa e a centenas de outras perguntas mantiveram a astronomia movimentada, mas o próximo passo lógico era ver quantos quasares estavam lá fora e como eles eram (MCNAMARA, 2008, p. 39).

Para desenvolver estes estudos, o grupo de pesquisa dirigido por Hewish construiu, entre os anos de 1965 e 1967, o radiotelescópio *Interplanetary Scintillation Array* (Figura 1), financiado pela Universidade de Cambridge, cujo objetivo era “[...] realizar um levantamento em grande escala de mais de mil galáxias de rádio usando cintilação interplanetária” (HEWISH, 1974, p. 175). Os dois primeiros anos do doutorado de Jocelyn Bell foram destinados à construção do equipamento, sendo a pesquisadora também responsável pela sua manutenção. Seu orientador descreve que “[...] naquele ano, uma nova estudante de graduação, Jocelyn Bell, se juntou a mim, e ela se tornou responsável pela rede de cabos” do radiotelescópio (HEWISH, 1974, p. 175).

Figura 1 - Jocelyn Bell e o radiotelescópio Interplanetary Scintillation Array.



Fonte: Feder (2019)

O radiotelescópio ocupava uma área de 1,8 hectares, o que equivale a cerca de cinquenta quadras de tênis (BELL BURNELL, 1977) e foi construído com uma série de seis mil postes de madeira, além de trezentos e vinte quilômetros de cabos e mais de dois mil dipolos de cobre (BELL BURNELL, 2004). Em um dos relatos da astrônoma, se apresenta, curiosamente, uma preocupação quanto à permanência física do radiotelescópio, pelo fato de que sua construção ocorreu “[...] no auge da crise de cobre na Rodésia¹³, utilizando várias toneladas de fios de cobre, e sempre tivemos pesadelos de que, ao sairmos em uma manhã, alguém pudesse ter aparecido e removido os fios de cobre com alicates” (BELL BURNELL, 2004, p. 1.7).

A grande área ocupada pelo radiotelescópio era justificada pelo fato de que a frequência de coleta dos sinais, na faixa de 81,5 MHz (comprimento de onda de 3,7 m), era extremamente baixa, “a fim de se registrar as intensidades das rápidas flutuações de fontes de rádio em escalas de tempo tão curtas quanto um décimo de segundo” (LONGAIR, 2011, p. 150). Sobre isso, a cientista também justificou que, pelo fato da cintilação ser um fenômeno que ocorre de maneira muito repentina

[...] tem que ter um sistema que responda rápido o suficiente para acompanhar as mudanças no brilho. Portanto, o instrumento deve ter uma constante de tempo curta, como feito em uma exposição rápida com uma câmera. Se você tem uma constante de tempo curta você perde algumas das vantagens de integrar por um longo tempo. Você tem problemas de relação sinal-ruído e a maneira de contorná-los é aumentar a área de coleta de seu radiotelescópio (BELL BURNELL, 2004, p. 1.7).

¹³ A Rodésia do Norte, atual Zâmbia, foi uma das colônias britânicas responsáveis pela produção de minério de cobre; declarou sua independência no ano de 1963 (MAZRUI; WONDJI, 2010).

O equipamento *Interplanetary Scintillation Array* entrou em operação no mês de julho de 1967 (LONGAIR, 2006). A partir dele, a astrônoma coletou informações sobre quasares localizados a bilhões de anos-luz de distância (MCGRAYNE, 1998). Para a coleta dos sinais de ondas de rádio pelo equipamento, seus fios eram “[...] conectados a um laboratório central de forma que o telescópio tivesse ‘feixes’ que apontavam para o sul e para uma declinação¹⁴ fixa no céu. Conforme a Terra girava, um círculo de céu daquela declinação varria cada feixe a cada dia” (PENNY, 2013, p. 2). Sobre isso, a astrônoma relata que

Usamos quatro feixes por vez para escanear quatro declinações diferentes e, em seguida, mudamos para um conjunto diferente de feixes no dia seguinte, e assim por diante, de modo que demoramos quatro dias examinando todo o céu entre declinações de -10 e +50. Isso significa que cada pedaço do céu foi observado cerca de 30 vezes em um intervalo de 6 meses (BELL BURNELL, 1983, p. 162).

O equipamento registrava as observações em longos gráficos, cuja extensa análise era de responsabilidade da astrônoma. Segundo Bell Burnell (2004, p. 1.8), “uma das coisas com as quais você deve se habituar ao começar a operar um radiotelescópio é o efeito da interferência e como ela aparece nos gráficos [...] Também nos acostumamos a identificar os quasares”. Por sua vez, McGrayne (1998, p. 365) menciona outro relato da astrônoma relativo à diferenciação entre sinais de interferência e os sinais provenientes de quasares:

Radiotelescópios são muito sensíveis - eles têm a finalidade de detectar os fracos sinais de raios cósmicos - mas isso significa que eles são facilmente inundados por interferência de rádio local. Felizmente, a cintilação e a interferência geralmente parecem diferentes nos gráficos, e logo se aprende a distingui-las.

Bell Burnell atuava em sua pesquisa “[...] mapeando os sinais que eram verdadeiras fontes de rádio cintilantes e descartando aqueles que vinham de fontes de interferência feitas pelo homem [...] altímetros de aeronaves e estações de rádio piratas” (WADE, 1975, p. 359). Hewish (1974, p. 175), por sua vez, descreve que as fontes de ondas de rádio poderiam “[...] ser distinguidas da interferência elétrica, uma vez que é improvável que esta se repita com as mesmas coordenadas celestes”. Entretanto, apesar de computadores já existirem naquela época, os sinais registrados eram analisados manualmente por Jocelyn Bell. Sobre este aspecto envolvido no processo de observação destes objetos celestes, a astrônoma menciona algumas das razões para esta escolha metodológica:

¹⁴ De acordo com Oliveira Filho e Saraiva (2014, p. 18), declinação consiste no “arco medido sobre o meridiano do astro, com origem no equador e extremidade no astro”. Seu valor sofre variações entre -90° (declinações no hemisfério sul) e +90° (declinações no hemisfério norte).

Analisá-los [os gráficos] manualmente foi uma decisão deliberada, em parte porque, com o novo equipamento, você não deseja colocá-lo diretamente no computador; você quer dar uma olhada e ver o que está acontecendo e ver se está funcionando bem. A outra razão pela qual foi feito manualmente, é porque não tínhamos certeza de que poderíamos programar um computador para distinguir entre essas cintilações e as interferências humanas. E certamente, quando comecei a fazer a análise, era possível reconhecer as fontes cintilantes, e reconhecer, geralmente como diferente, as interferências humanas (BELL BURNELL, 1983, p. 163-164).

Segundo a cientista, uma varredura completa do céu era registrada em gráficos (Figura 2) cujo comprimento compreendia cerca de 120 metros, atividade que perdurava durante quatro dias. Seu orientador ressalta que era “[...] um grande crédito para Jocelyn Bell que ela era capaz de acompanhar o fluxo de papel dos quatro gravadores” (HEWISH, 1974, p. 175).

Neste contexto, ela menciona que, na época, pensou que “essa era a maneira ideal de fazer ciência” pelo fato de ter participado de “todas essas maravilhosas palestras quando criança sobre o método científico” (BELL BURNELL, 1983, p. 164). Apenas com esta afirmação, é difícil evidenciar qual poderia ter sido o posicionamento da cientista quanto a sua concepção sobre o “método científico”, mas podemos especular algumas possibilidades: uma delas seria que Jocelyn se referiu ao método no sentido de evidenciar uma performance científica cuidadosa, como ela bem demonstra em sua atuação na detecção dos pulsares. Outra possibilidade diz respeito ao fato de que Jocelyn estaria se remetendo a uma perspectiva estereotipada do método científico, associada a uma sequência de etapas para a coleta e a análise de dados por cientistas em seus laboratórios. Esta última conjectura aparenta ser mais plausível, pelo fato de que, quando criança, supostamente, a cientista aprendeu sobre o método científico em um viés positivista. Em contraste, ainda podemos considerar que a cientista pudesse estar elaborando uma possível crítica à noção de um método científico rígido e imutável, pelo fato de que discussões filosóficas críticas esta perspectiva já se faziam existentes na época de escrita dessa citação.

Figura 2 – Jocelyn Bell e os longos gráficos, no ano de 1974.



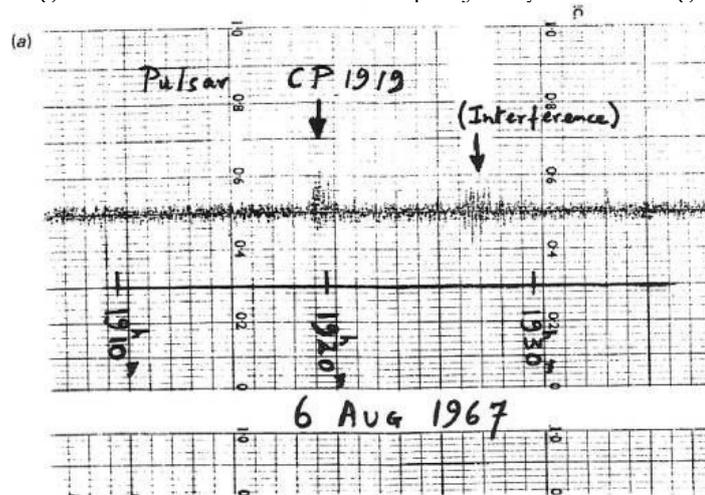
Fonte: Mitchell (2017)

2.3.2 Belisha Beacon: O Achado Inesperado

Em pouco mais de um mês de operação do radiotelescópio a cientista identificou um sinal com um comportamento diferenciado nos seus registros. A posição celestial do achado consistia em um sinal em ascensão reta¹⁵ em 19 horas e 19 minutos (MCNAMARA, 2008). Nos gráficos investigados pela astrônoma, consta que este achado fora registrado pela primeira vez no dia 6 de agosto de 1967 (Figura 3). Sobre este aspecto, Dick (2013, p. 107), argumenta que esta consistiu em uma descoberta acidental pelo fato dos pesquisadores estarem “[...] procurando quasares usando a técnica de cintilação interplanetária”. Wade (1975, p. 359) aponta que “[...] embora ainda houvesse muito a ser feito, o cerne da descoberta estava naquele único instante de reconhecimento”.

¹⁵ De maneira análoga a coordenada terrestre de longitude, a ascensão reta é o “arco medido sobre o equador, com origem no meridiano que passa pelo ponto Áries e fim no meridiano do astro. A ascensão reta varia entre 0h e 24h [...] aumentando para leste” e o ponto Áries consiste em “uma das duas interseções do equador celeste com a eclíptica” (OLIVEIRA FILHO; SARAIVA, 2010, p. 18).

Figura 3 - Registro casual do sinal CP1919 por Jocelyn Bell em agosto de 1967.



Fonte: Roberts (2019)

McNamara (2008, p. 42), aponta que “muitos teriam descartado o minúsculo registro como interferência, mas para Bell não parecia artificial”. Neste sentido, segundo a astrônoma, “em um quarto de polegada¹⁶ daqueles quatrocentos pés¹⁷, havia um pouco do que eu chamo de “scruff”, que não se parecia exatamente com interferência e nem com cintilação” (BELL BURNELL, 1983, p. 164). Em outro relato, ela também retrata que o sinal parecia ser

[...] outro enigma que era intermitente. Nas primeiras vezes em que vi, eu anotei isso como uma pergunta. Mas, pela segunda ou terceira vez, vi esse sinal engraçado e [...] minhas células cerebrais estavam começando a se conectar e disseram: “Já vi esse tipo de sinal antes. Eu já vi esse tipo de sinal, deste pedaço do céu antes, não é?” (BELL BURNELL, 2004, p. 1.8).

Nesse sentido, “ela percebeu que essa fonte [...] às vezes reaparecia quando o telescópio apontava para uma determinada direção” (PENNY, 2013, p. 2). A cientista percebeu características que destoavam do que estava acostumada a observar: o sinal aparecia na mesma parte dos registros ou, melhor dizendo, na mesma parte do céu (BELL BURNELL, 1977) e parecia se movimentar de acordo com o tempo sideral. Além disso, o sinal se manifestava no período noturno, quando geralmente a observação da cintilação de fontes de ondas de rádio era desenvolvida durante o período diurno. Segundo ela, “era um pouco incerto se poderia ser cintilação ou não porque estava acontecendo no meio da noite naquela época do ano”, pois “[...] a cintilação interplanetária era um fenômeno de base solar, então você espera isso durante o dia” (BELL BURNELL, 1983, p. 165). A cientista também reporta que este aspecto “[...] era digno de

¹⁶ 1 pol. = 2,54 cm

¹⁷ 1 pé = 30,48 cm

nota, porque não se esperava que muitas fontes cintilassem a uma distância tão grande do sol” (BELL, 1969, p. 214):

Um cientista, especialmente alguém treinado em ciências físicas, tem um cérebro que armazena problemas, como coisas que você não entende. Aqueles de nós que se formaram como físicos aprenderam a ser econômicos com o cérebro. Sabemos que, se entendermos algo, não precisamos nos preocupar, mas se houver algo que não entendemos, arquivamos em algum lugar. Em cada 400 pés de papel gráfico, ocasionalmente havia um quarto de polegada que eu não entendia (BELL BURNELL, 2004, p. 1.8).

Antony Hewish menciona que a astrônoma apresentou a ele os registros de uma fonte de rádio “[...] sofrendo cintilação quando observada na direção antissolar. Isso era incomum, pois fortes cintilações raramente ocorrem nesta direção e nós pensamos que os sinais poderiam ser interferência elétrica” (HEWISH, 1974, p. 175). Embora estes sinais possuíssem características curiosas, o desenvolvimento de uma investigação aprofundada sobre este achado necessitou ser adiado por um tempo, pelo fato de que o radiotelescópio estava ainda em construção e necessitava de determinados receptores para o estudo de quasares já conhecidos (BELL BURNELL, 1983). Assim, a cientista se concentrou no estudo da fonte 3C273, com o objetivo de “[...] checar aspectos da teoria da cintilação interplanetária” (HEWISH, 1974, p. 177). Sobre isso, ela descreve que

A fonte estava em trânsito durante a noite - um período em que a cintilação interplanetária deveria ser mínima [...] Fosse o que fosse, decidimos que merecia uma inspeção mais detalhada e que isso envolveria fazer gravações mais rápidas nos gráficos durante sua passagem. Perto do final de outubro, quando terminamos de fazer alguns testes especiais em 3C273 e quando finalmente tínhamos nosso conjunto completo de receptores e gravadores, comecei a ir ao observatório todos os dias para fazer as gravações (BELL BURNELL, 1977, p. 686).

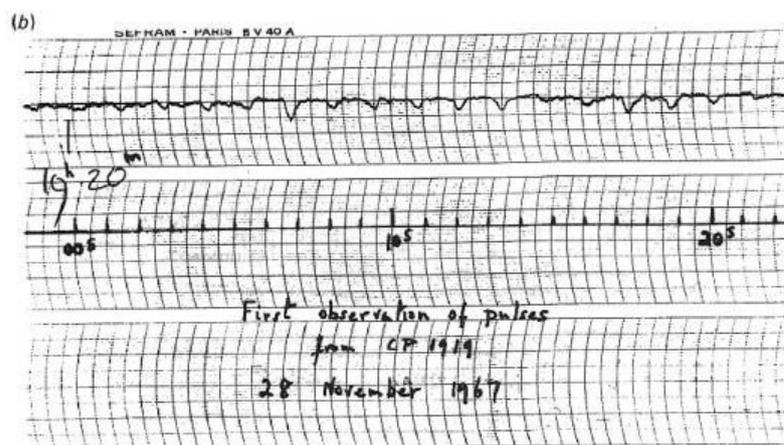
A cientista concentrou seus esforços na procura desta fonte de rádio, em meados de final de outubro ou início de novembro (BELL BURNELL, 1983). Para que fosse possível desenvolver este trabalho, a cientista e seu orientador instalaram um gravador de alta resolução, de maneira a possibilitar a análise do sinal em mais detalhes (WADE, 1975; MCGRAYNE, 1998; LONGAIR, 2006). Conforme ela explica, “[...] planejamos fazer o equivalente a uma ampliação fotográfica. Queríamos que esse sinal ocupasse não apenas um quarto de polegada, mas se espalhasse para que pudéssemos ver sua estrutura” (BELL BURNELL, 2004, p. 1.8). Nessa circunstância, verificava diariamente os registros feitos durante a noite; no entanto, detectou apenas ruídos durante várias semanas (BELL BURNELL, 1977, 1983). Segundo Wade (1975, p. 360), a cientista relata que “Hewish estava pensando naquele momento que era uma estrela eruptiva e que a tínhamos perdido”. A cientista aponta que

Isso era intrigante porque a fonte estava, a essa altura, transitando apenas três ou quatro horas após o sol, cujo estágio a cintilação costuma ser máxima. Ficava cada vez mais claro que essa fonte não era “normal”: o motivo de seu desaparecimento não era conhecido e não havia certeza de que voltaria a aparecer! (BELL, 1969, p. 216).

Apesar disso, os sinais foram observados novamente no dia 28 de novembro de 1967 (Figura 4), que consistiam em “[...] uma série de pulsos de diferentes amplitudes, cada pulso durando cerca de 0,3 segundos, e os pulsos tendo cerca de 1,33 segundos de intervalo” (BELL, 1969, p. 216). Em um dos seus relatos (BELL BURNELL, 2004, p. 1.8), a cientista afirma que encontrou os sinais em meio a seguintes circunstâncias:

Houve uma palestra muito interessante em Cambridge, sobre envelhecimento, que coincidiu com a observação. Lembro-me vividamente [...] em parte porque é um tópico que se torna mais relevante à medida que você envelhece. Pela primeira e última vez, não fui ao observatório naquele dia e fui à palestra [...]. Então, no dia seguinte [...] fiquei no observatório - não ousando voltar para Cambridge, e no gravador de alta velocidade encontrei uma série de pulsos, um sinal fraco que estava obviamente muito próximo do limite de detecção, com alguns dos pulsos faltando, mas mantendo a fase e mantendo um período muito preciso. Você podia ver, mesmo enquanto o gráfico fluía sob as canetas, a regularidade dos *blips* e podia ver que o período era de cerca de 1,3 segundos. [...] É muito interessante suas reações quando você vê esse tipo de coisa. Fui bem treinada na graduação na Universidade de Glasgow, e quando vi este sinal pulsado, metade do meu cérebro estava dizendo: “Puxa vida, é um sinal pulsado”, e a outra metade do meu cérebro estava dizendo: “O que eu faço a seguir?”.

Figura 4 – Registro dos pulsos em novembro de 1967.



Fonte: Roberts (2019)

Devido à diminuição na constante de tempo captada pelo receptor, “os pulsos foram detectados separadamente pela primeira vez” (LONGAIR, 2011, p. 154). A cientista explica que, ao observar que os registros demonstravam uma série de pulsos periodicamente espaçados, comunicou o achado ao seu orientador, cuja “reação inicial foi que a fonte tinha que ser artificial:

não havia nenhum fenômeno natural conhecido que pudesse produzir um sinal de rádio recorrente” (MCNAMARA, 2008, p. 43). A pesquisadora, por outro lado, se mostrou intrigada com a hipótese explicitada pelo orientador e considerou, por um momento, que estes sinais poderiam ser oriundos de alguma estrela:

Entrei em contato com Tony Hewish, que estava lecionando para a graduação em um laboratório em Cambridge e sua primeira reação foi que os sinais deveriam ser interferências humanas. Essa foi uma resposta muito sensata nas circunstâncias, mas [...] não vi por que eles não podiam ser de uma estrela (BELL BURNELL, 1977, p. 686).

Posteriormente, a cientista admitiu para McGrayne (1998, p. 366) que “o que eu não sabia [...] era que seria difícil obter uma variação tão rápida de uma estrela, galáxia ou qualquer outro tipo de objeto cósmico até então conhecido”. A cientista esclarece que, na noite seguinte, Hewish apareceu para verificar os sinais: “este foi um momento de ansiedade, dado o quão fracos eram esses sinais e quão raramente os detectávamos” (BELL BURNELL, 2004, p. 1.9). Apesar disso, os pulsos foram identificados novamente por Bell e Hewish:

Foi aqui que nossos problemas realmente começaram. Tony conferiu as gravações e verificou que essa coisa, seja lá o que fosse, se mantinha exatamente no tempo sideral. Mas pulsos com intervalos de 1,3 segundos pareciam sinais suspeitamente feitos por ação humana. Além disso, 1,3 segundos era uma taxa de pulsação muito rápida para algo tão grande quanto uma estrela (BELL BURNELL, 1977, p. 686).

Segundo Wade (1975, p. 361), o problema visualizado pelos cientistas se apresentava justamente no fato de que “[...] a estrela variável mais rápida conhecida até então possuía um período de um terço de um dia e ninguém poderia conceber uma estrela com um período de 1,3 segundos”. Segundo McGrayne (1998, p. 367), em homenagem à regularidade destes sinais, estes foram denominados pela cientista e pelos seus colegas de maneiras cômicas. A cientista “[...] apelidou o “scruff” de “Belisha Beacon” em homenagem ao globo laranja cintilante que alerta os motoristas sobre travessias de pedestres na Inglaterra. Outros cientistas apelidaram de LGM, de ‘Little Green Men’”. Segundo ela, “começamos a apelidá-lo de ‘homenzinhos verdes’, embora não acreditássemos seriamente que se tratasse de homenzinhos verdes, mas era um nome tão bom quanto qualquer outro” (BELL BURNELL, 2004, p. 1.9).

2.3.3 Os Homenzinhos Verdes: como explicar e anunciar os sinais?

O grupo de radioastrônomos de Cambridge começou a elaborar conjecturas sobre o do que se tratava, de fato, este enigmático “scruff”. Em um primeiro momento, os cientistas, principalmente Hewish, consideraram que o sinal poderia ser produzido artificialmente, mediante

interferência humana (TESH; WADE, 2017); no entanto, mesmo admitindo a origem artificial do sinal, reconheceram que ele

[...] reaparecia com cada revolução das estrelas, não com a rotação da Terra. Poderiam ser sinais de radares refletidos na lua ou em um satélite em uma órbita peculiar? Isso não se encaixava. Burnell e Hewish, então, perceberam que as únicas pessoas na Terra que manteriam as programações de 23 horas e 56 minutos do tempo sideral eram outros astrônomos (WADE, 1975, p. 362).

Considerando esta conjectura, a cientista relata que seu orientador entrou em contato com outros grupos de radioastrônomos da Grã-Bretanha, perguntando se tinham algum programa em andamento desde agosto que pudesse estar causando interferência: a resposta dada por todos os grupos consultados foi negativa (BELL BURNELL, 1983). Corroborando este ponto, Hewish relata:

Não pude acreditar que qualquer fonte natural irradiasse desta maneira e imediatamente consultei colegas astrônomos em outros observatórios para saber se eles tinham algum equipamento em operação que pudesse gerar interferência elétrica em um horário sideral próximo às 19h19m (HEWISH, 1974, p. 177).

Assim, após descartarem a possibilidade de radiointerferência, outra hipótese considerada pelo grupo de pesquisa consistiu em verificar se não havia algum problema técnico com o próprio radiotelescópio (BELL BURNELL, 2007). Segundo a cientista,

Não eram outros astrônomos, não era um radar sendo refletido da lua para o nosso telescópio, não era um satélite em uma órbita engraçada. Fiquei muito preocupada com aquele hangar do Ministério da Aeronáutica feito de metal corrugado, que ficava logo ao sul do telescópio, mas na verdade as ondulações nele têm um comprimento de onda de apenas alguns centímetros [...] então não era isso também. Ainda restava a possibilidade de que tivesse algo a ver com nossa instrumentação (BELL BURNELL, 1983, p. 167).

A cientista ser a principal responsável pela construção do equipamento, ela relatou seu receio com o fato dos sinais serem resultado de uma falha com radiotelescópio: “[...] estava com medo de ter literalmente cruzado alguns fios, que minha estupidez estava prestes a ser descoberta pelos cérebros [...] de Cambridge e eu poderia sair sem um PhD” (BELL BURNELL, 2004, p. 1. 9). Como exposto em alguns relatos (BELL BURNELL, 2017; 2018), esta citação certamente exemplifica que a cientista, durante seu doutorado em Cambridge, vivenciava a chamada Síndrome de Impostora.

Para analisar esta hipótese, o grupo de pesquisa entrou em contato com Robin Collins e seu supervisor Paul Scott (BELL BURNELL, 1979, 1983), com o objetivo de detectar os sinais

“[...] com um telescópio que operava na mesma frequência para ver se eles também podiam captar o sinal” (BELL BURNELL, 2004, p. 1.9). Por meio deste equipamento, Bell e Hewish aguardaram pela manifestação dos sinais próxima à hora do seu trânsito. Entretanto, “[...] na hora marcada nós todos nos agrupamos em volta do registrador gráfico - e nada aconteceu” (BELL BURNELL, 1983, p. 167). Segundo Bell Burnell (1983, 2004), seu orientador e o supervisor de Collins se distanciaram do radiotelescópio, questionando os motivos pelos quais os sinais não haviam aparecido. A cientista, em um dos seus relatos, conta que Scott, especificamente, perguntou a eles: “O que é que aparece em nosso telescópio, mas não aparece no telescópio de vocês?” (BELL BURNELL, 1983, p. 167). Entretanto, Collins havia permanecido próximo ao instrumento e continuou observando os registros:

Então, Robin gritou “Aqui está!” [...] Havíamos calculado mal o alinhamento do segundo feixe do radiotelescópio, felizmente por apenas cinco minutos. Se tivesse passado meia hora, talvez tivéssemos ido para casa e não teríamos encontrado pulsares em Cambridge. Nosso radiotelescópio e receptor foram absolvidos (BELL BURNELL, 2004, p. 1.9).

Posteriormente, admitindo a existência deste objeto, o grupo de pesquisa se concentrou em calcular sua distância até a Terra, cujo trabalho fora desenvolvido por Paul Scott e por John Pilkington (BELL BURNELL, 1983). De fato, Hewish (1974, p. 178) comenta que “não encontrando nenhuma explicação terrestre satisfatória para os pulsos, começamos agora a acreditar que eles só poderiam ser gerados por alguma fonte muito além do sistema solar”. Assim, por meio da medição da dispersão do sinal de ondas de rádio, os cálculos evidenciaram que a fonte estava além do Sistema Solar, mas ainda situada na Via Láctea (BELL BURNELL, 1977, 2017). Em outro relato, a cientista aponta como ocorreu este cálculo protagonizado por Pilkington:

Então começamos a medir a distância. [...] Trabalhar com um instrumento de trânsito é muito complicado. Se algo der errado e você não tiver tudo funcionando perfeitamente durante os cinco minutos certos do dia, você perde 24 horas. E este era um experimento tecnicamente complicado de fazer, embora seja baseado em um fenômeno de dispersão de rádio bem conhecido. [...] Da mesma forma no espaço, os sinais de rádio de estrelas e galáxias se propagam através de um espaço contendo elétrons livres que irão dispersar um sinal de rádio. Portanto, supondo que esses pulsos comecem como o golpe de um relâmpago [...] no momento em que viajarem para a Terra, eles terão se espalhado. A quantidade de dispersão depende de quantos elétrons eles atravessam. Se pudermos adivinhar o número de elétrons no espaço interestelar, então podemos adivinhar a distância. [...] E ele chegou ao resultado interessante de que esta fonte estava a cerca de 65 parsecs, ou algumas centenas de anos-luz de distância [...] na constelação de Vulpecula. Então, depois de cerca de um mês, tínhamos estabelecido que essa coisa mantinha uma ascensão reta constante, estava a essa distância, que pulsava com extrema precisão e com extrema rapidez. E não tínhamos certeza do que era (BELL BURNELL, 2004, p. 1.9).

Percebemos que o grupo elencou diferentes hipóteses na tentativa da compreensão destes objetos. Corroborando este aspecto, Dick (2013, p. 108) reitera que “radares refletidos da Lua, satélites em órbitas peculiares, e os efeitos locais foram eliminados quando o telescópio [de Scott e Collins] confirmou os resultados” da existência destes sinais. Além destas, outra hipótese passou a ser considerada: ainda que inicialmente a nomenclatura não passasse de uma brincadeira, a cientista e seus colegas passaram a considerar, durante um tempo, a hipótese de estes sinais serem uma possível detecção de inteligência extraterrestre (PENNY, 2013; GRAHAM-SMITH, 2014). Vidal (2019, p. 219) argumenta que “a alta frequência incomum das pulsações, bem como sua regularidade, levaram imediatamente à hipótese de que poderia ser uma inteligência artificial”. A cientista pontua, por sua vez, que “a possibilidade de que os sinais fossem de alguma civilização inteligente em outro lugar do universo não foi descartada” (BELL, 1969, p. 221). Para investigar esta hipótese, em meados de dezembro de 1967, os cientistas iniciaram análises no desvio Doppler do movimento desta fonte. As impressões deste momento foram expostas por Bell Burnell e Hewish:

Se não é um sinal terrestre produzido por homens, talvez sejam os “Homenzinhos Verdes” tentando nos sinalizar. OK, se são [...] eles provavelmente estão em um planeta. Seu planeta gira em torno de seu sol, e devemos ser capazes de ver os desvios Doppler, as mudanças no período de pulso conforme eles giram em torno de seu sol. [...] Então, começamos a fazer gravações rápidas dessa coisa todos os dias para estudar a hora de chegada do pulso (BELL BURNELL, 1983, p. 168).

Tínhamos de enfrentar a possibilidade de que os sinais fossem, de fato, gerados em um planeta que girava em torno de alguma estrela distante [...] Eu sabia que as medições de tempo, se continuadas por algumas semanas, revelariam qualquer movimento orbital da fonte como um desvio Doppler, e me senti obrigado a manter uma cortina de silêncio até que esse resultado fosse conhecido com alguma certeza. Sem dúvida, aquelas semanas de dezembro de 1967 foram as mais emocionantes na minha vida (HEWISH, 1974, p. 178).

Enquanto essas análises eram efetuadas, em um momento anterior ao feriado de Natal de 1967, a cientista relata que se dirigiu a sala de seu orientador para elucidar algumas dúvidas, mas, acabou adentrando em uma reunião de teor deliberativo com outros pesquisadores sobre as implicações das divulgações destes achados (BELL BURNELL, 1977, 2004) – encontro que, cabe apontar, a cientista não havia sido convidada. A astrônoma comenta que, de fato, “esta foi uma discussão que eu acho que deveria ter participado, na verdade, desde o início” (BELL BURNELL, 2010).

Na reunião, em razão das evidentes contradições observadas no comportamento dos sinais, além da possibilidade dos sinais possuírem uma origem extraterrestre (MCNAMARA, 2008), os pesquisadores estavam receosos sobre a maneira com que publicariam este achado,

pois, de modo geral, os radioastrônomos consideram que “[...] provavelmente serão as primeiras pessoas na Terra a detectar um sinal de outras civilizações do cosmos” (MCGRAYNE, 1998, p. 367):

Houve uma reunião pouco antes do Natal de 1967 [...] Desci ao escritório de Tony para perguntar algo a ele e, excepcionalmente, a porta estava fechada. Bati e uma voz disse: “Entre”. Enfiei a cabeça pela porta e Tony disse: “Ah, Jocelyn, entre e feche a porta”. Então entrei e fechei a porta. Era uma discussão entre Tony Hewish (meu supervisor), Martin Ryle, (o chefe do grupo), e provavelmente John Shakeshaft (um dos outros membros seniores do grupo). A discussão girou em torno da pergunta: “Como publicamos esse resultado?” (BELL BURNELL, 2004, p. 1.9).

Em meio a possível consideração da hipótese de extraterrestres, estava claro que a divulgação do achado estando associada com a possibilidade de extraterrestres evocaria “[...] visões da imprensa mundial clamando pelas primeiras notícias dos "homenzinhos verdes" que estavam tentando se comunicar conosco” (GRAHAM-SMITH, 2014, p. 109). Reconhecendo a “[...] cobertura sensacional da mídia que iria acontecer, o trabalho de investigação seria prejudicado” (PENNY, 2013, p. 5). Ainda que não houvesse um consenso entre os membros do grupo sobre o achado poder ser uma demonstração de tentativas de comunicação extraterrestre (PENNY, 2013), os cientistas do grupo aventaram esta hipótese em diferentes níveis, considerando que não possuíam, até o momento, “nenhuma sugestão positiva sobre o que pudesse ser” (BELL BURNELL, 1983, p. 168):

Pouco antes do Natal [...] entrei em uma conferência de alto nível sobre como apresentar esses resultados. Não acreditávamos realmente que havíamos captado sinais de outra civilização, mas obviamente a ideia havia nos passado pela cabeça e não tínhamos nenhuma prova de que era uma emissão de rádio inteiramente natural. É um problema interessante se alguém pensa que pode ter detectado vida em outro lugar do universo, mas como anunciar os resultados com responsabilidade? Para quem se conta primeiro? (BELL BURNELL, 1977, p. 686-687).

A divulgação de um achado científico está envolvida em um contexto de “um delicado equilíbrio entre a urgência de entrar na imprensa científica para ganhar prioridade e a necessidade de verificação” (MCNAMARA, 2008, p. 45). Sem quaisquer perspectivas para resolução de como publicar os resultados encontrados até então, na época, Bell vivenciou certo aborrecimento com a situação. Em vários de seus relatos, (BELL BURNELL, 1977, 1983, 2004) ela menciona que “[...] estava tentando conseguir um PhD, e alguns homenzinhos verdes tolos escolheram meu radiotelescópio e minha frequência para entrar em contato com o planeta Terra” (BELL BURNELL, 2004, p. 1.9-2.0).

2.3.4 Um Adendo Nesta História: *Steady State versus Big Bang*

Certamente, não era apenas a delicada hipótese dos homenzinhos verdes a responsável por interferências na publicação destes achados. Algumas pesquisas (MCNAMARA, 2008; LONGAIR, 2011; PENNY, 2013) apontam outra razão que pode ter contribuído para a possível relutância dos cientistas: durante a década de 1950, pairava um contexto de controvérsia¹⁸ na aceitação dos cientistas entre a Teoria do Big Bang e a Teoria do Estado Estacionário (*Steady State*), proposta por Fred Hoyle (1915-2001), Herman Bondi (1919-2005) e Thomas Gold (1920-2004) (MCNAMARA, 2008). Nesta época, alguns pesquisadores de Cambridge igualmente começaram a desenvolver catálogos para organizar as fontes de rádio encontradas (LONGAIR, 2006, 2011). Segundo Kragh (1996, p. 310), “[...] o programa de pesquisa dos radioastrônomos de Cambridge tornou-se cada vez mais orientado para a Cosmologia e, mais especificamente, para uma refutação da Teoria do Estado Estacionário”. Por certo, na divulgação destes resultados, expostos no Segundo Catálogo de Fontes de Rádio de Cambridge, Martin Ryle, um dos membros do grupo de radioastrônomos e colega de Antony Hewish, interpretou a grande quantidade de cerca de 1700 fontes encontradas como uma evidência favorável aos pressupostos teóricos do Big Bang (KRAGH, 1996; MCNAMARA, 2008). Nesta perspectiva, os dados catalogados eram “[...] inconsistentes com as expectativas da cosmologia de estado estacionário” (LONGAIR, 2011, p. 149).

Por sua vez, os pesquisadores australianos da Universidade de Sydney, liderados por Joseph Pawsey (1908-1962), desenvolveram uma catalogação semelhante. Mediante a observação de pouco mais de 1000 objetos, esses cientistas argumentaram que seus resultados não apresentavam diferenças significativas entre o número de galáxias previstas pela Teoria do Estado Estacionário. Assim, “[...] como o alvo das afirmações de Cambridge era a Cosmologia de Estado Estacionário, indiretamente, os resultados de Sydney agiram como um argumento a favor da possível validade desse modelo do universo” (KRAGH, 1996, p. 315). Neste sentido, os resultados de Cambridge foram desmentidos pelos resultados apresentados pelo grupo de Sydney, ainda que posteriormente, por outras razões, a Teoria do Estado Estacionário não tenha se mantido vigente (MCNAMARA, 2008). Análises posteriores demonstraram que “a pesquisa de Cambridge carecia de resolução, resultando em confusão entre fontes individuais e fontes múltiplas mais fracas” (MCNAMARA, 2008, p. 46).

¹⁸ Henrique (2011) apresenta discussões sobre as controvérsias entre estas duas teorias cosmológicas.

Longair (2011, p. 149) aponta que, por conta deste contexto, “as relações entre Martin Ryle, os radioastrônomos de Sydney e os proponentes da Cosmologia do Estado Estacionário [como Hoyle] tornaram-se cada vez mais tensas”. Neste âmbito, ainda que não explicita os motivos, Penny (2013, p. 5) descreve que o grupo “[...] teve no passado problemas [...] com colegas observacionais e teóricos. Em particular, as relações eram ruins [...] com Fred Hoyle (mais tarde Sir Fred Hoyle), um teórico de outro departamento de Cambridge”. Considerando a provável repercussão deste acontecimento na comunidade científica, “[...] eles tinham que estar absolutamente certos de que essas fontes de rádio pulsantes eram reais antes de contar ao mundo” (MCNAMARA, 2008, p. 46).

2.3.5 O Segundo Achado: Adeus, Little Green Men!

De maneira concomitante ao desenvolvimento das análises do Efeito Doppler, as quais não possibilitaram identificar evidências do sinal estar situado em um planeta, Bell identificou outro sinal com características semelhantes ao primeiro, o que, na perspectiva de muitos estudiosos sobre a temática, como McGrayne (1998, p. 368), “resolveu a questão da fonte do sinal de uma maneira diferente”. A astrônoma relata que detectou o segundo sinal na noite do dia 21 de dezembro de 1967. A cientista estava em pleno trabalho em seu laboratório, pois “[...] com todas essas travessuras de pulsares, essas coisas engraçadas e os gráficos de rotina sendo registrados a trinta metros por dia, a análise estava ficando muito atrasada” (BELL BURNELL, 1983, p. 168). Neste estágio, cabe ressaltar que “as análises de gráficos rotineiras continuaram e uma vigilância foi mantida para outras fontes” (BELL, 1969, p. 222). Nesse momento, a cientista relata que ao verificar os gráficos de outra parte do céu, em “[...] um pedaço de gráfico por volta das onze horas e meia da ascensão reta” (BELL BURNELL, 1983, p. 168), ela identificou um possível novo sinal:

E pouco antes de o laboratório fechar às 10 horas, eu estava olhando para um pedaço de céu que incluía Cassiopeia A, uma forte fonte de rádio, em menor culminação. É circumpolar na Grã-Bretanha, o que significa que você pode pegá-lo lindamente no sul e, 12 horas depois, se você não tiver sorte, é tão forte que você pode pegá-lo novamente no norte, pela parte de trás do seu radiotelescópio. Então, ele está muito baixo no horizonte, cintila furiosamente e é uma bagunça. [...] No meio da bagunça lá parecia ser um desses pequenos sinais engraçados e desalinhados. [...] Registros anteriores daquela parte do céu foram [...] espalhados pelo chão; e lá, em duas ou três ocasiões anteriores estava uma sugestão de “scruff” (BELL BURNELL, 2004, p. 1.10).

Entretanto, devido ao horário, a cientista descreve que precisou “[...] sair do laboratório antes que fechasse para a noite, sabendo que o sinal transitaria nas primeiras horas da manhã”

(BELL BURNELL, 1977, p. 687). De maneira a efetuar mais registros deste sinal, a astrônoma se dirigiu para o observatório no meio da madrugada, no horário do trânsito. Em meio a problemas no radiotelescópio, a cientista descreve que encontrou um possível segundo sinal, que em sua perspectiva possibilitou desconsiderar a hipótese dos *Little Green Men*:

Às duas horas da manhã [...] eu estava no observatório, e estava extremamente frio. Por motivos que nunca entendi, quando estava muito frio o telescópio operava com metade da potência. E é claro que naquela noite ele estava com meia potência. Então, apertei os interruptores, respirei [...] e fiz com que funcionasse com força total por cinco minutos. Foram os cinco minutos certos e no cenário certo. Apareceu outro fluxo de pulsos, desta vez com um intervalo de 1,2 segundos, e não 1,3 segundos. [...] Não era uma falha com o equipamento, não era um sinal gerado localmente, era algo lá fora entre as estrelas. Fosse o que fosse, este era outro, em uma parte totalmente diferente do céu. [...] Tinha que ser algum tipo novo de algo estelar e nós encontramos os primeiros (BELL BURNELL, 2004, p. 1.10).

A cientista coloca que o sinal consistia em uma série de pulsos com o intervalo de 1,2 segundo, cujo período era ainda menor em comparação ao primeiro sinal encontrado (BELL BURNELL, 1977, 1983). Naquele momento, ela descreve: “Deixei a gravação na mesa de Tony e saí muito mais feliz para o feriado de Natal. Era muito improvável que dois grupos de homenzinhos verdes escolhessem a mesma frequência improvável e, ao mesmo tempo, tentassem sinalizar para o mesmo planeta Terra” (BELL BURNELL, 1977, p. 687). Esta justificativa da astrônoma possibilita apontarmos algumas importantes reflexões presentes em trabalhos voltados à investigação deste episódio histórico.

Alguns autores (WADE, 1975; MCGRAYNE, 1998; DICK, 2013) sublinham que, além das evidências identificadas em relação ao Efeito Doppler, que possibilitaram rejeitar a possibilidade dos sinais serem emitidos de um planeta por comunicação extraterrestre, a detecção deste segundo sinal semelhante por Jocelyn Bell Burnell oportunizou a desconsideração definitiva da hipótese dos *Little Green Men*, aspecto que se direciona aos argumentos apresentados pela astrônoma. Outros pesquisadores (PENNY, 2013; VIDAL, 2019), entretanto, em uma análise retrospectiva do episódio, discutem as justificativas assumidas pelos cientistas para desconsiderar esta hipótese, argumentando que ambas as evidências observacionais obtidas pelo grupo possivelmente não eram conclusivas no sentido de abandonar a polêmica conjectura. Por exemplo, Vidal (2019) coloca que estas justificativas apresentavam um viés possivelmente antropocêntrico; além disso, indica várias razões que, combinadas, fortaleceram o abandono desta hipótese: em sua perspectiva, a razão mais influente seria o posterior desenvolvimento de uma explicação teórica para o comportamento destes sinais, que consistiria no modelo de farol cósmico elaborado por Thomas Gold. Por sua vez, Penny (2013, p. 10-11) argumenta que

Em retrospecto, naquele momento, as razões para rebaixar a explicação dos sinais inteligentes não são de fato totalmente conclusivas. A falta de movimento orbital pode ser explicada pelos alienígenas colocando sua fonte longe de uma estrela. O fato de haver várias dessas fontes significaria apenas que os alienígenas eram comuns. O fato de os sinais serem intrinsecamente poderosos significaria apenas que os alienígenas eram muito avançados. Mas, no geral, o julgamento foi razoável: havia uma explicação natural plausível em estrelas de nêutrons pulsantes e a explicação LGM veio unicamente da nitidez e regularidade dos pulsos. Qualquer alegação “LGM” precisa de evidências extraordinárias, e no início de janeiro de 1968, isso simplesmente não estava presente. No geral, o processo foi extremamente rápido. De 28 de novembro, quando a natureza pulsante foi vista pela primeira vez, até meados de janeiro, quando a explicação da estrela de nêutrons foi adotada durante a redação do artigo, durou apenas sete semanas. [...] Todo o processo foi um *tour de force* de persistência, descoberta, investigação e teorização.

2.3.6 Encaminhamentos para o Contexto Pós-Detecção

No mês de janeiro de 1968, o grupo de pesquisa de Hewish se organizou de maneira a caracterizar os achados de maneira sistematizada, a partir das detecções realizadas por Jocelyn Bell de um terceiro e quarto sinais nos registros gravados durante o seu período de férias (BELL BURNELL, 1977, 1983, 2004): “Em 6 de janeiro de 1968, durante a análise de gráfico de rotina, duas fontes pulsantes mais prováveis foram percebidas” (BELL, 1969, p. 224). Em sua conferência Nobel, Antony Hewish descreve a atuação persistente da pesquisadora, pois “Jocelyn Bell examinava todas as nossas gravações de levantamento do céu com sua persistência e diligência típicas e produziu uma lista de possíveis posições de pulsares adicionais” (HEWISH, 1974, p. 178):

Durante minhas férias, Tony gentilmente manteve a pesquisa em execução. Ele colocou papel novo no registrador de gráfico e tinta nova nos tinteiros, e empilhou os gráficos não analisados na minha mesa. Portanto, no meu retorno, ficou bem claro o que eu tinha que fazer. Comecei a pensar que tinha tido um feriado muito bom quando, depois de cerca de uma hora, encontrei mais dois sinais desalinhados. Tony veio e disse: “Quantos sinais mais você perdeu? Volte para todas as suas gravações antigas”. Isso eu diligentemente fiz, mas não descobri mais nada. Nas semanas seguintes, confirmamos os números três e quatro (BELL BURNELL, 2004, p. 1.10).

O terceiro e quarto sinais foram encontrados “em um pedaço do gráfico, com uma hora ou mais de intervalo em ascensão reta [...] 0834 e 0950. Passaram-se mais duas semanas antes de 1133 [o segundo] ser confirmado, e logo depois disso o terceiro e o quarto” (BELL BURNELL, 1977, p. 687). Em outro relato, a cientista coloca que o terceiro sinal encontrado possuía “[...] cerca de 1,27 segundos, mas 0950 era muito diferente. [...] O período de pulso é um quarto de segundo; trata-se do pulsar mais rápido que poderíamos ter detectado com aquela constante de

tempo de décimo de segundo” (BELL BURNELL, 1983, p. 169). Sobre este último sinal, Bell Burnell e Hewish apontam que

[...] era realmente empolgante porque apresentou um período de um quarto de segundo [...] e estava aumentando nosso entendimento. Também pode ser, ocasionalmente, um sinal incrivelmente forte. Tornou-se uma espécie de atração turística para outros pesquisadores e estudantes, que iam ao observatório no momento apropriado apenas para ver uma caneta varrendo o papel quadriculado e batendo contra as paradas finais quatro vezes por segundo (BELL BURNELL, 2004, p. 1.10).

[...] antes de enviar nosso artigo para publicação, em 8 de fevereiro, estávamos confiantes de que existiam três pulsares adicionais, embora seus parâmetros fossem então apenas grosseiramente conhecidos. Lembro-me bem da manhã em que Jocelyn entrou na minha sala com a gravação de um possível pulsar que ela havia feito na noite anterior em ascensão reta 09h50m. Quando espalhamos o gráfico no chão e colocamos uma régua contra ele, uma periodicidade de 0,25 segundos era perceptível (HEWISH, 1974, p. 178).

Durante a redação do artigo, a astrônoma destaca que o grupo de pesquisa não sabia como nomear os achados. A cientista lembra “[...] de uma discussão séria sobre o título. Seria ‘fonte pulsante’ ou ‘fonte pulsada?’” (BELL BURNELL, 2004, p. 1.10). Na visão da cientista (BELL BURNELL, 1977, 1983, 2004), entretanto, a publicação dos achados ainda era relativamente arriscada, pelo fato de que as evidências empíricas coletadas não eram substancialmente suficientes para uma publicação (BELL BURNELL, 1977). Apesar disso, a Revista Nature publicou o artigo (Figura 5) intitulado *Observation of a Rapidly Pulsating Radio Source* (HEWISH *et al.*, 1968) no dia 24 de fevereiro, sendo Jocelyn Bell a segunda autora¹⁹. De maneira geral, o artigo apresenta um estudo mais aprofundado das características da primeira fonte encontrada pela cientista, embora mencione as outras três identificadas posteriormente.

Figura 5 – Cabeçalho do artigo publicado na *Nature* no início de 1968.

Observation of a Rapidly Pulsating Radio Source

by

A. HEWISH
S. J. BELL
J. D. H. PILKINGTON
P. F. SCOTT
R. A. COLLINS

Mullard Radio Astronomy Observatory,
Cavendish Laboratory,
University of Cambridge

Unusual signals from pulsating radio sources have been recorded at the Mullard Radio Astronomy Observatory. The radiation seems to come from local objects within the galaxy, and may be associated with oscillations of white dwarf or neutron stars.

Fonte: Hewish *et al.* (1968)

¹⁹ É possível problematizar o fato de a cientista não ter sido indicada como primeira autora do artigo, tendo em vista seu papel importante na identificação destes objetos. Cabe apontar que, ainda, em artigo posterior publicado pelo grupo (Pilkington, Hewish, Bell & Cole, 1968), em que detalham as características dos outros três sinais identificados, o primeiro autor consistiu em um dos membros do grupo, o cientista John Pilkington – a cientista é a terceira autora deste artigo.

Neste contexto, a cientista se concentrou na finalização da escrita de sua tese de doutorado. Segundo ela, “[...] entreguei as antenas ao próximo aluno de pesquisa e me retirei para analisar todos os gráficos, medir os diâmetros angulares de muitos quasares e escrever uma tese” (BELL BURNELL, 1983, p. 169). Curiosamente, apesar de protagonizar uma importante descoberta no campo da Astronomia, seus achados relativos aos pulsares permaneceram no apêndice do seu trabalho, em uma seção chamada *Pulsed Radio Sources* (BELL, 1969). Nesta seção de sua tese, a pesquisadora descreve algumas das características das fontes de rádio identificadas e algumas conjecturas consideradas pelo grupo de pesquisa, como a hipótese de comunicação extraterrestre. Sobre este aspecto, a cientista relata que

[...] quando cheguei a Cambridge, fui presentada com minhas ferramentas e comecei a construir este radiotelescópio; acreditei que estava em um projeto para identificar tantos quasares quantos fossem possíveis no céu visível de Cambridge, e tentar medir seus diâmetros angulares. E, na verdade, era sobre isso que minha tese tratava, porque quando os pulsares apareceram, meu supervisor, Tony, me avisou que era tarde demais para mudar o título da tese. Pelo que agora sei sobre os sistemas universitários, acho que ele estava errado, mas como estudante de doutorado, acreditei nele. Então, os pulsares ficaram em um apêndice e eu escrevi uma tese substancial sobre os diâmetros angulares de quasares usando uma técnica de cintilação interplanetária, tudo feito em um período de três anos (BELL BURNELL, 2004, p. 1.7).

Em relação à repercussão, que não se restringiu apenas ao âmbito da comunidade científica, a astrônoma descreve que, no artigo “[...] mencionamos que em um determinado estágio pensamos que os sinais poderiam ser de outra civilização” (BELL BURNELL, 1977, p. 688). No que se refere a este aspecto, como esperado, houve reações do achado no âmbito midiático. Várias notícias publicadas na época enfatizavam justamente que os cientistas consideraram as possibilidades de comunicação extraterrestre. A título de exemplo, no jornal *The Times*, no dia 08 de março de 1968, uma das passagens sobre o achado era a seguinte: “[...] no início, a assombrosa regularidade dos pulsos levantou a possibilidade de que os sinais viessem de algum tipo de vida extraterrestre” (PENNY, 2013, p. 9). Cabe apontar que a nomenclatura para estes sinais acabou sendo definida mediante a sugestão despretensiosa de um jornalista científico do jornal *Daily Telegraph*:

O nome “pulsar” foi cunhado pelo correspondente científico do *Daily Telegraph*, Anthony Michaelis, e usado pela primeira vez em um artigo do *Daily Telegraph* em 5 de março de 1968. Ele foi um dos muitos jornalistas e comentaristas de TV que nos entrevistaram após o anúncio da descoberta. Não tínhamos pensado em um nome, a não ser debater se deveriam ser descritos como fontes de rádio “pulsantes” ou “pulsadas” [...] E aceitamos a sugestão de Michaelis do nome “pulsar”, análogo a quasar (BELL BURNELL, 2017, p. 831).

É importante destacar que a cientista vivenciou situações inconvenientes durante a divulgação do achado na imprensa, quando os jornais descobriram que uma mulher estava envolvida nesta descoberta científica. A título de exemplo, houve situações que, enquanto questionavam a Hewish sobre a importância da descoberta, perguntas de cunho pessoal eram direcionadas à cientista (BELL BURNELL, 2004). Ainda assim, a atuação de Jocelyn Bell Burnell enquanto doutoranda na Universidade de Cambridge oportunizou uma importante descoberta para a História da Astronomia no Século XX. Quando questionada se havia sido emocionante estar envolvida na identificação destes objetos astronômicos, a cientista apontou que, inicialmente, vivenciar este episódio consistiu em um momento “[...] assustador e preocupante. Foi ótimo ter encontrado os [pulsares] subsequentes, mas não encontrar o primeiro” (BELL BURNELL, 2004, p. 1.9).

Posteriormente, outro fato polêmico consistiu na omissão de Jocelyn Bell Burnell no Prêmio Nobel de Física de 1974, cuja láurea fora concedida somente à Martin Ryle, chefe do grupo de radioastrônomos de Cambridge e ao orientador da cientista, Antony Hewish. Embora em seu discurso na premiação Hewish tenha agradecido Bell “[...] pelo cuidado, diligência e persistência que levou à nossa descoberta tão cedo no programa de cintilação” (HEWISH, 1974, p. 183), estudos de Gênero e Ciência, a exemplo de Rossiter (1993), sugerem que esta premiação ilustra um fenômeno denominado Efeito Matilda, compreendido como a atribuição para homens, como orientadores ou parceiros, de pesquisas protagonizadas por mulheres. Por certo, o astrofísico Iosef Shklovsky (1916-1985), em um encontro acadêmico com a astrônoma, em meados da década de 1970, disse a ela: “Miss Bell, você fez a maior descoberta astronômica do Século XX” (LONGAIR, 2006, p. 196-7).

2.4 A DETECÇÃO DOS PULSARES: REFLEXÕES EPISTEMOLÓGICAS

Embora o episódio histórico de detecção dos pulsares pelo grupo de radioastrônomos de Cambridge seja temporalmente breve, ele apresenta relevantes elementos para discussões epistemológicas, que podem ser realizadas no contexto de ensino de Física e de Astronomia. Nesta perspectiva, elencamos reflexões sobre este episódio com base em aspectos das filosofias de Thomas Kuhn (2011, 2017, 2018) e Norwood Hanson (1967) e em apontamentos de estudiosos que se debruçam, especificamente, sobre a serendipidade em descobertas científicas (ROSENMAN, 1988; VAN ANDEL, 1994; MERTON; BARBER, 2004; NORRBY, 2010; GILLIES, 2015; COPELAND, 2019). Para contribuir com a análise, retomaremos elementos dos

relatos das/os cientistas envolvidos e reflexões de estudiosas/os sobre o episódio, além de aspectos apresentados em pesquisas do ensino de ciências sobre discussões histórico-filosóficas.

A identificação das fontes celestes em ondas de rádio por Jansky e Reber na década de 1930 inaugurou um novo e importante segmento da Astronomia: a Radioastronomia. Seu surgimento, como exposto por McNamara (2008) e Longair (2011), mediante o desenvolvimento dos radiotelescópios, gerou mudanças específicas na maneira como os objetos estelares poderiam ser observados, propiciando a possibilidade da identificação de entidades astronômicas ainda não conhecidas em outras faixas do espectro eletromagnético. Como destaca Thomas Kuhn (2018, p. 90), na sua obra *A Estrutura das Revoluções Científicas*, “[...] os radiotelescópios são apenas os exemplos mais recentes de até onde os investigadores estão dispostos a ir, se um paradigma os assegurar da importância dos fatos que pesquisam”. Com efeito, os radiotelescópios começaram a ser desenvolvidos com base em pressupostos paradigmáticos da Física e da Astronomia, fazendo com que novas possibilidades em termos teóricos e observacionais pudessem ser consideradas pelos radioastrônomos. Por certo, isso ilustra que “[...] o paradigma é um objeto a ser melhor articulado e precisado em condições novas ou mais rigorosas” (KUHN, 2018, p. 88).

Estas breves características denotam o que, de acordo com Thomas Kuhn, ocorre em um contexto de *ciência normal*. Segundo o filósofo, “[...] a pesquisa científica normal está dirigida para a articulação daqueles fenômenos e teorias já fornecidos pelo paradigma” (KUHN, 2018, p. 89). Assim, a atuação dos membros do grupo de radioastrônomos da Universidade de Cambridge exemplifica um trabalho que ocorre no âmbito de uma ciência normal, pelo fato de que as/os pesquisadoras/es envolvidas/os trabalharam na articulação de alguns pressupostos elencados pelo segmento da Radioastronomia. De fato, Longair (2011) aponta que os objetivos do radiotelescópio construído pelo grupo envolviam investigações sobre a técnica de cintilação interplanetária em relação a possibilidades ainda não bem aprofundadas, como a procura por mais quasares e seus diâmetros angulares, além do estudo das características do vento solar. Neste campo, as/os cientistas objetivavam desenvolver a “[...] extensão da teoria existente a áreas em que se esperaria que fosse aplicável, mas nas quais isso nunca havia sido tentado” (KUHN, 2011, p. 249).

Em específico, os objetivos da pesquisa de doutorado de Jocelyn Bell ilustram a existência deste contexto de solução de enigmas, próprio da ciência normal. O trabalho da cientista consistia em calcular diâmetros angulares de quasares mediante a técnica de cintilação interplanetária desenvolvida por seu orientador. Nestas condições, os esforços da cientista objetivavam “[...] elucidar, em vez de alterar, a tradição científica em que foram criados” (KUHN, 2011, p. 250). Tal atuação implica em “[...] uma tentativa de ajustar a teoria ou observação

existentes, de modo que ambas apresentem concordância cada vez maior” (KUHN, 2011, p. 249).

Estes aspectos possibilitam compreender que a atuação das/os cientistas em um período de ciência normal é tão importante quanto nos períodos em que há grandes rupturas teóricas, com mudanças revolucionárias:

[...] nem a ciência e nem o desenvolvimento do conhecimento poderão ser entendidos, caso a pesquisa seja vista exclusivamente pelas revoluções que produz de tempos em tempos. Por exemplo, embora os compromissos básicos sejam postos à prova apenas na ciência extraordinária, é a ciência normal que revela tanto os pontos a serem testados como a maneira de realizar os testes (KUHN, 2011, p. 289).

Cabe ressaltar que as pesquisas desenvolvidas no domínio de uma ciência normal “[...] não tem como propósito a produção de descobertas fundamentais ou mudanças revolucionárias na teoria científica” (KUHN, 2011, p. 249). Apesar disso, a investigação aprofundada de determinado aspecto da natureza abre precedentes para que inconsistências sejam identificadas pelas/os cientistas – como observado por Jocelyn Bell. Assim, a detecção do *scruff* por Bell em meio de suas pesquisas sobre quasares ilustra que, eventualmente, “[...] fenômenos novos e insuspeitados são periodicamente descobertos pela pesquisa científica” (KUHN, 2018, p. 128).

Neste sentido, Kuhn argumenta sobre a existência de determinadas descobertas “que não poderiam ser previstas com base nas teorias aceitas, e, portanto, apanharam de surpresa a profissão como um todo” (KUHN, 2011, p. 184). Por outro lado, também reconhece descobertas na qual sua existência “[...] havia sido prevista na teoria [...] e os que realizaram a descoberta sabiam, portanto, o que procurar desde o início” (KUHN, 2011, p. 185). Apesar destas classificações, Thomas Kuhn reconhece que nem sempre tais episódios podem ser caracterizados inequivocamente em uma ou outra destas categorias, como é possível constatar no episódio de detecção dos pulsares.

Outro estudioso que discorre sobre possíveis categorizações de descobertas científicas, esta feita com bastantes pormenores, é Norwood Hanson. Em seu artigo *An Anatomy of a Discovery*, ele descreve que existem descobertas *trip-over*, que ocorrem ao acaso, as quais se apresentam sem quaisquer expectativas das/os cientistas. Em seguida, indica a existência de descobertas resistivas, ou *back-into discoveries*, que são consideradas como descobertas que se opõem as expectativas das/os pesquisadoras/es. Também, aponta, como Kuhn, a existência das descobertas previstas, ou *puzzle-out discoveries*, que implicam expectativas teóricas para que sejam encontradas. Por último, elenca a existência das descobertas generalizadoras, ou *subsume and reticulate discoveries*, responsáveis por unificar determinadas construções científicas de forma teórica

e/ou empírica. Em suma, Hanson (1967) e Kuhn (2011) ilustram que descobertas, de várias naturezas, “[...] podem ocorrer em distintos momentos procedimentais de uma investigação científica” (RAICIK; PEDUZZI, 2016, p. 154).

Em consonância com a interpretação de certos estudiosos (WADE, 1975; ROSENMAN, 1988; MCNAMARA, 2008; ROBERTS, 1989; NCNAMARA, 2008; NORRBY, 2010; DICK, 2013), o episódio histórico dos pulsares elenca elementos que possibilitam entender que o trabalho protagonizado por Jocelyn Bell acarretou um achado inesperado, uma descoberta serendíptica²⁰. Primeiramente, seu objetivo de pesquisa era encontrar comportamentos ondulatórios de quasares ou, na pior das hipóteses, sinais de radiointerferência, o que permite ilustrar que “uma das coisas de que depende a prática da ciência normal é a capacidade aprendida de agrupar objetos e situações em classes de similaridade” (KUHN, 2017, p. 213). O aprofundamento da cientista em meio a estas concepções teóricas exigidas por seus objetivos de pesquisa possibilitou se deparasse com algo insuspeito. Em suma, a cientista sabia reconhecer como os sinais apareceriam nos registros do radiotelescópio.

De outra forma, “o acaso beneficia os pesquisadores que estão imersos em determinada investigação” (PEDUZZI; RAICIK, 2020, p. 40), pelo fato de que “[...] conhecem bem seus instrumentos e sabem qual deve ser o comportamento da natureza” (KUHN, 2011, p. 192). Tais descobertas se manifestam quando a/o cientista, “[...] sabendo com precisão o que deveria esperar, é capaz de reconhecer que algo saiu errado” (KUHN, 2018, p. 143). De fato, este aspecto se apresenta nos relatos da astrônoma, a qual descreve sua inquietação concernente ao sinal com comportamento ondulatório diferenciado que havia encontrado em seus longos registros. Assim, tais descobertas se manifestam com base em um arcabouço teórico pré-existente, a partir de uma “mente preparada” que permite identificar algo inesperado. Desse modo, “[...] sem um estoque substancial de conhecimento, os indivíduos não têm os requisitos para que "algum tipo de catálise" ocorra. Na verdade, o "dom da serendipidade" depende de tal conhecimento” (MERTON; BARBER, 2004, p. 173). Em suma, “[...] a mente preparada do cientista [...] transformou uma observação trivial, feita por muitos antes, em uma alavanca para um novo entendimento” (NORRBY, 2010, p. 48).

Esta discussão também perpassa um importante aspecto: considerar apenas a postura individual de cientistas pode não ser suficiente na análise de uma descoberta científica permeada pela serendipidade. De outro modo, além da importância de se ressaltar a importância da “mente preparada”, a exemplo de Bell Burnell, igualmente é necessário enfatizar o contexto social e a

²⁰ A origem etimológica do termo serendipidade é atribuída ao conto persa *Os Três Príncipes de Serendip*. Este conto relata que “[...] conforme suas altezas viajavam, eles estavam sempre fazendo descobertas, por acidentes e sagacidade, de coisas que eles não buscavam” (ROSENMAN, 1988, p. 132). Cabe destacar que desenvolvemos uma discussão prévia sobre a presença da serendipidade na detecção dos pulsares em Pires e Peduzzi (2021b).

coletividade que envolve a/o cientista, reconhecendo a importância da flexibilidade e da autonomia dos grupos de pesquisa na investigação de um achado inesperado (MERTON; BARBER, 2004; GILLIES, 2015; COPELAND, 2019) – o que de fato, observamos na postura dos membros do grupo de radioastrônomos de Cambridge.

Assim, um processo de descoberta fortuita provavelmente envolverá a participação de vários cientistas, de uma forma ou de outra, e se estenderá ao longo do tempo. Em contraste com a representação individualista da serendipidade como um “lampejo de percepção”, então, temos uma imagem da serendipidade ocorrendo dentro de uma comunidade, envolvendo redes de indivíduos e interações (COPELAND, 2019, p. 2390).

Norwood Hanson (1967), por sua vez, contribui para a compreensão do acaso²¹ em descobertas científicas ao apontar que ele se manifesta sem que haja qualquer expectativa anterior das/os pesquisadoras/es. A detecção dos primeiros sinais pulsados por Jocelyn Bell ilustra o fato de que em descobertas casuais

Nenhuma expectativa teórica ou psicológica anterior sulca as fronteiras da investigação em tal caso. As teorias e suposições existentes eram independentes e evasivas em relação ao surgimento dessa descoberta (HANSON, 1967, p. 336).

Ainda que essa caracterização elaborada por Hanson (1967) permita ressaltar que a identificação dos pulsares consistiu em uma descoberta ao acaso, a existência destes objetos, no entanto, já era parcialmente prevista mediante sugestões sobre a existência de estrelas de nêutrons, que posteriormente viriam a explicar o comportamento dos sinais encontrados por Jocelyn Bell. Na época da detecção, porém, estes elementos teóricos não foram imediatamente considerados pelo grupo de Cambridge na construção das primeiras conjecturas: eles foram se manifestar posteriormente, a partir da publicação do artigo na Revista *Nature* pelo grupo de radioastrônomos (HEWISH *et al.*, 1968) e em artigos publicados por outras/os cientistas. Desta forma, este aspecto oportuniza argumentarmos que este episódio é um dos exemplos que aparenta não se enquadrar inequivocamente nas classificações sobre descobertas científicas elaboradas por Kuhn (2011), pelo fato de que as estrelas de nêutrons já eram parcialmente previstas, mas sua observação ocorreu de maneira inesperada. Em outras palavras, na perspectiva

²¹ Os termos serendipidade e acaso são mencionados de maneira indistinta. Ainda assim, reconhecemos a existência de estudos, a exemplo de Gillies (2015), que estabelecem discrepâncias entre estes termos. Por exemplo, a descoberta dos raios-X por Wilhelm Conrad Röntgen (1845-1923) seria serendípica, pois ao estudar os tubos de raios catódicos, “ele estava procurando uma coisa [...] e encontrou outra” (p. 527). As descobertas casuais, por sua vez, envolvem acidentalidades nas práticas científicas e modificam substancialmente os rumos da pesquisa, como o caso da identificação da penicilina por Alexander Fleming (1881-1955). Com efeito, Merton e Barber (2004) apontam que existem diferentes compreensões sobre a serendipidade desenvolvidas ao longo da história.

de Jocelyn e do grupo de pesquisa, encontrar os pulsares consistiu em um evento acidental, mas, no ponto de vista da comunidade astronômica, estes achados vieram a corroborar uma predição parcial elaborada décadas antes.

Considerando a atuação de Jocelyn Bell, de Antony Hewish e dos demais radioastrônomos do grupo de Cambridge em um contexto de ciência normal, podemos perguntar se a descoberta acidental de Jocelyn Bell pode ser descrita como uma anomalia, nos termos de Thomas Kuhn. Em certa medida, podemos dizer que sim, no sentido de que fora “reconhecível como uma violação das expectativas” (KUHN, 2011, p. 192) geradas no âmbito do corpo de conhecimento aceito. De outra maneira, Merton e Barber (2004, p. 197) apresentam que “[...] uma descoberta acidental depende da observação de dados inesperados e anômalos”. De fato, isto era visível nos relatos das/os cientistas envolvidos no episódio: não era esperado que um objeto astronômico pudesse emitir radiação eletromagnética na faixa do rádio em um período tão preciso e rápido, além de se manifestar de maneira incomum no período noturno.

No entanto, as/os cientistas envolvidos puderam assimilar, ainda que preliminarmente, este novo fato por meio de pressupostos da radioastronomia, caracterizando parcialmente este objeto com o cálculo do seu período e de sua distância em relação a Terra, por exemplo. Posteriormente, novos conhecimentos sobre os *pulsares* foram desenvolvidos mediante o trabalho de outras/os cientistas, gerando uma ampliação na capacidade explicativa do paradigma. Não somente isso, cientistas atuaram no resgate de construções teóricas – a predição das estrelas de nêutrons por Baade e Zwicky publicadas em meados da década de 1930 – que antecedeu a detecção por Jocelyn Bell e que viria a contribuir na compreensão da natureza destas estrelas. Assim, tal aspecto ilustra o início do processo de compreensão conceitual sobre estes novos sinais em um âmbito de ciência normal, na qual “[...] simplesmente revisa-se ou acrescenta-se uma única generalização e todas as outras permanecem as mesmas” (KUHN, 2017, p. 41). Neste sentido, Thomas Kuhn reforça o caráter dinâmico das investigações desenvolvidas durante a ciência normal, ressaltando que, ainda que não gerem crises agudas, novos fenômenos podem surgir neste contexto:

Depois da assimilação da descoberta, os cientistas encontravam-se em condições de dar conta de um número maior de fenômenos ou explicar mais precisamente alguns dos fenômenos previamente conhecidos. Tal avanço somente foi possível porque algumas crenças ou procedimentos anteriormente aceitos foram descartados e, simultaneamente, substituídos por outros. Procurei mostrar que alterações desse tipo estão associadas com todas as descobertas realizadas pela ciência normal (KUHN, 2018, p. 145).

A detecção dos pulsares é um dos episódios científicos que possibilita perceber que a identificação de um novo fenômeno de maneira inesperada e inicialmente não compreendida

pode ser posteriormente digerida, sem grandes sobressaltos, pelo paradigma vigente. Mediante a modificação de determinadas crenças sobre o processo de evolução estelar, foi possível conceder uma compreensão mais estruturada, com respaldo observacional, sobre características das estrelas de nêutrons. Efetivamente, Kuhn (2018, p. 181) argumenta que “[...] um novo fenômeno pode emergir sem refletir-se destrutivamente sobre algum aspecto da prática científica passada”. No âmbito deste episódio, a identificação dos pulsares desencadeou uma ampliação nas possibilidades do que os radiotelescópios poderiam observar.

Além disso, ressaltamos que descobertas acidentais “[...] só adquirem significados quando captam a atenção de alguém capaz de colocá-las em um contexto científico” (MERTON; BARBER, 2004, p. 297). Isso implica a postura atenta das/os cientistas para que estes achados inesperados sejam identificados. Por certo, além da importância da/o cientista “[...] estar sempre atento a algo inesperado e refletir se essa ocorrência inesperada pode ter algum significado” (GILLIES, 2015, p. 527), igualmente é importante que a/o cientista possua “[...] uma atitude flexível em relação aos seus planos de pesquisa e estar preparado para mudá-los à luz de desenvolvimentos inesperados” (GILLIES, 2015, p. 528). Assim, ainda que Jocelyn Bell e seus colegas de grupo não possuíssem expectativas teóricas para este achado, eles identificaram que o comportamento do sinal se diferenciava do que usualmente era esperado e se direcionaram para o estudo deste novo objeto. Em outras palavras, o achado “[...] apresentou resultados inesperados que “forçaram” os cientistas [...] a fazer mais investigações, e essas pesquisas adicionais foram frutíferas além de qualquer expectativa” (MERTON; BARBER, 2004, p. 188). Este aspecto evidencia a não existência da neutralidade das/os pesquisadores frente a descobertas como as inesperadas, pois “reconhecendo o imprevisto, e sua possível fecundidade para a pesquisa, o investigador passa a estudá-lo” (PEDUZZI; RAICIK, 2020, p. 40). Nesta perspectiva, o grupo de radioastrônomos de Cambridge se mobilizou de maneira a compreender, em um âmbito inicial, o comportamento deste objeto. Como exposto por Kuhn (2018, p. 112):

[...] o cientista deve preocupar-se em compreender o mundo e ampliar a precisão e o alcance da ordem que lhe foi imposta. Esse compromisso, por sua vez deve levá-lo a perscrutar com grande minúcia empírica (por si mesmo ou através de colegas) algum aspecto da natureza. Se esse escrutínio revela bolsões de aparente desordem, esses devem desafiá-lo a um novo refinamento de suas técnicas de observação ou a uma maior articulação de suas teorias.

Os relatos de Jocelyn Bell (1983, 2004) e Hewish (1974) ilustram que o grupo realizou a instalação de um receptor específico no radiotelescópio de forma a analisar o comportamento do primeiro sinal, fazendo com que assumissem que o achado consistia em uma novidade, de fato.

Em seguida, outras ações foram desenvolvidas pelo grupo de pesquisa: Antony Hewish entrou em contato com outros radioastrônomos para verificar a possibilidade de interferência humana; de maneira a confrontar a hipótese de problemas técnicos com o próprio radiotelescópio, Jocelyn Bell, seu orientador e outros radioastrônomos procuraram pela manifestação do mesmo sinal em outro telescópio, expectativa que se concretizou. Este caminho percorrido por Jocelyn Bell e seus colegas ilustra que o empreendimento científico, além de não ser construído de maneira neutra, “possui um pluralismo metodológico e um dinamismo entre as teorias, as hipóteses e as experiências desenvolvidas” (RAICIK; PEDUZZI, 2016, p. 161), o que depõe contra a suposta existência de um método científico imutável, que pode ser aplicado em qualquer circunstância da prática científica. Em suma, este aspecto permite perceber o “[...] abandono da ideia de ciência como um empreendimento monolítico único limitado por um método único” (KUHN, 2017, p. 149).

Ainda sob esta perspectiva, Kuhn (2018, p. 134) argumenta um aspecto importante, ao comentar sobre as descobertas do oxigênio e dos raios-X. Segundo ele, “[...] a percepção de que algo saía errado foi apenas o prelúdio da descoberta. Nem o oxigênio, nem os raios X surgiram sem um processo ulterior de experimentação [ou observação] e assimilação”. De outra forma, somente a observação de algo inesperado não caracteriza uma descoberta científica, mas esta se constitui pelas investigações direcionadas que ocorrem posteriormente (MERTON; BARBER, 2004), o que implica que descobertas casuais não geram respostas imediatas e conclusivas; é necessário “[...] um período de reflexão [...] para que o observador reconheça o significado do evento casual” (COPELAND, 2019, p. 2392). De fato, o grupo de radioastrônomos de Cambridge desenvolveu buscas pelo mesmo sinal, para um melhor entendimento de suas características, o que ilustra que “[...] busca dirigida e serendipidade não se excluem, mas [...] se complementam e até se reforçam mutuamente” (VAN ANDEL, 1994, p. 644).

Além disso, em meio a sua procura por quasares, a cientista, em conjunto com os demais membros do grupo, direcionou seu trabalho para também encontrar comportamentos ondulatórios em seus registros que fossem semelhantes ao do primeiro achado, evidenciando que observações e experiências “são conduzidas, sobretudo, pelo desejo de obter regularidades” (PEDUZZI; RAICIK, 2020, p. 39). Neste sentido, Jocelyn Bell veio a encontrar outros três sinais que apresentavam comportamento regular e pulsado, similar ao primeiro. Esses aspectos demonstram que “o trabalho científico sistemático sempre segue a observação fortuita inicial [...] evoluindo a partir de experimentação rigorosa e amplo conhecimento da área” (ROSENMAN, 1988, p. 135).

Cabe ainda ponderar sobre a hipótese mais polêmica, que consistia na remota possibilidade de os sinais serem tentativas de comunicação extraterrestre. O que começou como um nome desprezível, o grupo de cientistas passou a considerar como uma conjectura passível de investigação, como mostram as observações realizadas mediante o princípio do Efeito Doppler. De fato, “sua natureza [da fonte de rádio] era a princípio completamente incerta [...] alguns dos líderes do grupo tiveram que lidar com a possibilidade de terem detectado sinais de uma civilização alienígena” (PENNY, 2013, p. 5). É importante destacar que, enquanto os cientistas não possuíam evidências mais consistentes, pairou sobre o grupo de radioastrônomos uma preocupação momentânea em relação à publicação do seu achado. Além disso, não há consenso entre os estudiosos deste episódio em relação ao abandono da hipótese dos *Little Green Men*, pelo fato de que determinados autores (WADE, 1975; MCGRAYNE, 1998; DICK, 2013) indicam que observações posteriores de sinais semelhantes puderam derrubar a hipótese dos homenzinhos verdes, enquanto outros autores (PENNY, 2013; VIDAL, 2019) apontam que o achado de outros pulsares não seria o suficiente para o abandono desta hipótese. Em suma, a aceitação ou a rejeição de conjecturas dependerá da interpretação dos cientistas, dos seus objetivos e das suas expectativas de pesquisa.

À guisa de conclusão, destacamos outros aspectos presentes neste episódio histórico que se apresentam de maneira mais pontual: curiosamente, Jocelyn Bell optou deliberadamente por realizar a análise dos dados de forma manual, ainda que existissem computadores que pudessem realizar este trabalho. No apêndice de sua tese de doutorado, a cientista inclusive argumenta que as fontes poderiam não ter sido identificadas digitalmente, exceto por análises manuais. Segundo ela, “[...] se a saída da antena tivesse sido digitalizada e alimentada diretamente em um computador, essas fontes poderiam muito bem não ter sido descobertas, pois o computador não teria sido programado para buscar tais objetos inesperados” (BELL, 1969, p. 231). Isso possibilita perceber a não neutralidade nos procedimentos científicos e a influência das escolhas teóricas das/os cientistas em meio as suas pesquisas.

Por último, podemos constatar que as relações interpessoais entre os cientistas podem impulsionar ou dificultar o prosseguimento e a apresentação de investigações para a comunidade científica. De forma positiva, o grupo de radioastrônomos de Cambridge contactou outros colegas para verificar a existência destes sinais, o que implica em um senso de coletividade na ciência. Por outro lado, a inimizade entre alguns astrônomos e a reputação comprometida dos radioastrônomos de Cambridge acerca do conflito cosmológico possivelmente interferiu na publicação dos achados do grupo.

2.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ainda que durante o desenvolvimento de seu doutorado Jocelyn Bell não tenha se comunicado, de fato, com “homenzinhos verdes”, sua atuação decisiva propiciou o início de uma das mais importantes descobertas científicas do Século XX. Embora seja imprescindível compreender a ciência como construída com base na coletividade, como observamos no episódio discutido neste artigo, evidenciamos que a astrônoma apresenta um papel de destaque na história dos pulsares. Este aspecto demonstra a importância de se demonstrar o protagonismo de mulheres nas contribuições científicas desenvolvidas ao longo da história (LIMA, 2015; MAIA FILHO; SILVA, 2019). De fato, “se faz necessário que as discussões feitas sobre a natureza da ciência no ensino de Física, precisamente, considerem também os marcadores identitários das pessoas que produzem essa ciência” (LIMA, 2019, p. 164). Nesta perspectiva, iniciamos o desenvolvimento de um estudo que evidencia elementos da trajetória acadêmica desta cientista, cujos primeiros resultados são apresentados em Pires e Peduzzi (2021c). Por meio do exemplo de Bell Burnell, há potencialidades em se discutir a existência do Efeito Matilda, bem como a influência do casamento e da maternidade na carreira de mulheres cientistas.

A análise epistemológica deste episódio histórico, em especial, com base nas reflexões de Thomas Kuhn e Norwood Hanson, possibilitou evidenciar o papel da serendipidade em descobertas científicas, que, por certo, consiste em uma importante temática que pode contribuir para uma melhor compreensão sobre a Natureza da Ciência. Assim, em discussões sobre descobertas acidentais, é essencial situá-las em seu contexto histórico, evidenciando os objetivos iniciais de trabalho das/os cientistas envolvidos. Neste sentido, Kuhn adverte que “sabendo que os cientistas se tornam famosos por resultados que não pretendiam alcançar”, precisamos “[...] perguntar em que problemas o autor trabalhava e como se tornaram problemas para ele” (KUHN, 2011, p. 132). Além disso, é imprescindível identificar, em decorrência de um achado inesperado, a imersão na pesquisa e as concepções teóricas dos envolvidos, que intencionalmente desenvolvem hipóteses e ações experimentais – ou observacionais, como no âmbito deste episódio – para compreender novos achados. Efetivamente, como exposto por David Bohm (2015, p. 89), “um dos efeitos do acaso é permitir que ‘as coisas se agitem’, permitindo o início de desenvolvimentos qualitativamente novos”.

Neste âmbito, outros estudos sobre a serendipidade em descobertas científicas por meio de outros episódios históricos são de suma importância, pois o “[...] componente acidental tem sido subestimado, ou exagerado, ou simplesmente não compreendido” (MERTON; BARBER, 2006, p. 159). De fato, existem na literatura perspectivas diversas sobre o papel da serendipidade

e do acaso na ciência, que fazem com que este aspecto, em relatos científicos, seja desconsiderado ou sobrestimado, acarretando compreensões problemáticas sobre este aspecto como um aspecto da natureza do conhecimento científico.

Nesta perspectiva, Merton e Barber (2004) expõem alguns destes pontos. Por exemplo, há posicionamentos os quais apontam que considerar a serendipidade e o acaso como um dos fatores para a ocorrência de descobertas científicas poderia ser um sinal de enfraquecimento da ciência, além de desmerecer o trabalho sistemático das/os cientistas. Esta concepção, possivelmente, parece ser oriunda de uma visão de ciência que a considera como um corpo de conhecimento rígido, pautado em um “método científico imutável”. Assim, é compreendido que a experimentação e a observação possuem a função de corroborar ou refutar teorias ou hipóteses, sem margens para ocorrências casuais. Diferente deste posicionamento, valorizar o acaso não implica no abandono dos pressupostos teóricos no desenvolvimento de experimentos ou de observações, mas possibilita “[...] dar o devido reconhecimento ao modo como os dados empíricos podem desempenhar um papel [...] imprevisível” (MERTON; BARBER, 2004, p. 187), podendo ser geradores para o reconhecimento de novos princípios e fenômenos (RAICIK; PEDUZZI, 2015). Em outras palavras, mesmo que a ciência tenha se consolidado como uma “[...] busca por novos conhecimentos [...] mais estruturada, mais previsível e, portanto, menos dependente de eventos casuais [...] isso é apenas parcialmente verdadeiro [...] eventos fortuitos continuam a desempenhar um papel importante nas descobertas científicas” (NORRBY, 2010, p. 47). Em suma, “a história da ciência mostra [...] que a ciência cresceu tanto por plano quanto por acidente” (MERTON; BARBER, 2004, p. 186).

Outra noção, que se faz presente no âmbito popular, consiste no fato da serendipidade ser associada à ideia de um “acidente feliz”, como se as/os pesquisadoras/es descobrissem subitamente novos fenômenos e que, de imediato, soubessem suas definições. Esta “[...] interpretação nociva da serendipidade [...] tornaria a palavra sinônima de uma dependência irracional, intuitiva e passiva da “inspiração” para resposta a problemas científicos” (MERTON; BARBER, 2004, p. 198). Assim, entende-se que tais descobertas resultam imediatamente em soluções de problemas científicos, sendo identificados de maneira simples e corriqueira, sem exigir investigações aprofundadas por parte das/os cientistas.

Neste âmbito, a literatura aponta críticas coerentes sobre abordagens estereotipadas da serendipidade na ciência, pois, entende-se, popularmente, que este aspecto se manifesta com “[...] pessoas que “descobrem verdades universais” observando fatos corriqueiros, por meio de *insights*” (FORATO; PIETROCOLA; MARTINS, 2011, p. 39, grifo dos autores). Tal concepção

faz com que a atividade científica seja “[...] reduzida a uma sucessão de eventos acidentais que supostamente culminaram em grandes feitos científicos” (GARCIA, 2019, p. 671). Diferente dessa perspectiva, pretendemos ressignificar o papel da serendipidade em descobertas científicas, considerando que estas não ocorrem de maneira corriqueira, mas, dentro de um contexto de imersão e de autonomia das/os cientistas em suas pesquisas. Ainda, concordamos com Copeland (2019, p. 2386) sobre o fato da “serendipidade na ciência [...] [ser] melhor compreendida quando observada dentro do contexto mais amplo da comunidade científica, em vez de estritamente pelas lentes da experiência individual”. Em suma, essa categoria de descoberta possibilita o prelúdio de novos conceitos e de novos campos de estudo, bem como extensões de construções teóricas, que se consolidam após o trabalho coletivo de muitas/os cientistas.

Não somente quanto ao papel da serendipidade, o episódio de detecção dos pulsares é um profícuo exemplo para a ilustração de características da ciência normal. Foi possível evidenciar a dinamicidade que se apresenta neste contexto científico, a qual abarca o prelúdio e o desenvolvimento de novas descobertas, que não necessariamente acarretam em crises sem solução e em períodos de ciência revolucionária. Apesar disso, ainda que o artigo tenha evidenciado a importância da ciência normal, consideramos que, de maneira mais ampla, o desenvolvimento científico também deve ser compreendido por meio de suas revoluções científicas. Neste sentido, entendemos “[...] o desenvolvimento científico como uma sucessão de períodos ligados à tradição e pontuados por rupturas não cumulativas” (KUHN, 2018, p. 321).

Além disso, o episódio de detecção dos pulsares proporciona, em certa medida, a reflexão sobre os contextos da descoberta e da justificativa. Como elencado por Raicik e Peduzzi (2015, 2016), estes contextos são delimitados de maneira dicotômica pelos filósofos positivistas, os quais consideram que o contexto da descoberta está associado com aspectos subjetivos nas descobertas e as origens psicológicas das ideias científicas, enquanto o contexto da justificação se refere à articulação lógica dos resultados científicos. Conforme os positivistas, estes contextos são bem delimitados.

Não obstante, autores pós-positivistas, entre eles Thomas Kuhn e Norwood Hanson, problematizam esta dicotomia, elencando que ambos os contextos, na prática científica, são indissociáveis. Dentre várias justificativas, podemos apontar que, “o contexto da descoberta possui elementos complexos e lógicos – e está, de forma intrínseca, relacionado ao contexto da justificação” (RAIČIK; PEDUZZI, 2016, p. 151). Assim, no âmbito do episódio analisado, percebemos que após identificarem os primeiros sinais de rádio incomuns, o grupo de radioastrônomos mobilizou investigações teóricas e observacionais para justificarem, mesmo que preliminarmente, seu novo objeto de pesquisa. Em suma, isto ilustra que “[...] descobrir algo

significa adquirir conhecimento e, conseqüentemente, justificar [...] essa nova aquisição” (RAICIK; PEDUZZI, 2015, p. 139).

Vale destacar, também, a potencialidade de discussões propiciadas pelas fontes documentais analisadas neste artigo. Estes materiais possibilitaram evidenciar elementos que envolvem o processo inicial de construção de conhecimentos relativos aos pulsares, como por exemplo: o processo de construção de conhecimento por meio de descobertas científicas, como aquelas permeadas pela serendipidade; o trabalho científico em seus aspectos individuais, mas também coletivos. Além disso, cabe apontar a possibilidade do desenvolvimento de outros estudos sobre este episódio a partir de outras temáticas: ainda que mencionado de maneira introdutória na análise, por meio da discussão da hipótese dos *Little Green Men*, é possível investigar elementos sobre valores envolvidos na aceitação ou rejeição de hipóteses, além da influência de aspectos culturais na construção de conjecturas na ciência – afinal, o contato com extraterrestres consiste em um tema largamente difundido na cultura popular.

Por fim, outra possível discussão, não abordada neste artigo, e potencialmente profícua, diz respeito ao fato de que a história da *descoberta* dos pulsares não se encerra nas suas primeiras detecções. A descoberta de um novo fenômeno deve ser considerada como “um desenvolvimento complexo que se estende no tempo e no espaço” (KUHN, 2011, p. 183), pois “[...] envolve o reconhecimento tanto da *existência de algo*, como de sua *natureza*” (KUHN, 2018, p. 132, grifo do autor)²². Aqui, apresentamos somente o contexto de detecção, relativo ao “reconhecimento da existência de algo”, que consiste em um recorte extremamente relevante na história dos pulsares. É igualmente importante, e matéria para novos estudos, o desenvolvimento de discussões sobre o contexto de pós-deteção dos pulsares, que evidenciam todo o movimento científico ocorrido para a compreensão da natureza destes singulares objetos celestes.

REFERÊNCIAS

ABD-EL-KHALICK, F.; LEDERMAN, N. G. The influence of history of science courses on students' views of nature of science. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 37, n. 10, p. 1057–1095, 2000.

ALMEIDA, C. R. A pré-história dos buracos negros. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 42, p. e20200197, 2020.

²² Uma argumentação semelhante sobre a construção coletiva e a extensão temporal de descobertas científicas, baseada na epistemologia de Thomas Kuhn, também é desenvolvida no artigo de Bagdonas, Zanetic e Gurgel (2017), em que os autores apontam que o entendimento sobre a expansão do universo extrapola as contribuições de Edwin Hubble (1889-1953).

ARAÚJO, M. L. **Simuladores experimentais de radiotelescópios para o ensino de astronomia no nível médio**. 2017. Feira de Santana. 253 p. Dissertação (Mestrado em Ensino de Astronomia) - Universidade Estadual de Feira de Santana.

ARTHURY, L. H. M.; PEDUZZI, L. O. Q. A Teoria do Big Bang e a Natureza da Ciência. **Revista Latino-Americana de Educação em Astronomia**, n. 20, p. 59-90, 2015.

BAGDONAS, A.; ZANETIC, J.; GURGEL, I. Quem descobriu a expansão do universo? Disputas de prioridade como forma de ensinar cosmologia com uso da história e filosofia da ciência. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 39, n. 2, p. e2602, 2017.

BELL, S. J. **The measurement of radio source diameters using a diffraction method**. 1969. Cambridge. 259 p. Thesis (Doctorate in Philosophy) - University of Cambridge.

BELL BURNELL, J. Petit Four. **Annals of the New York Academy of Sciences**, v. 302, n. 1 Eighth Texas, p. 685–689, 1977.

BELL BURNELL, J. The Discovery of Pulsars. In: KELLERMANN, K.; SHEETS, B. (Ed.). **Serendipitous Discoveries in Radio Astronomy**. Green Bank: National Radio Astronomy Observatory, 1983.

BELL BURNELL, J. Pliers, pulsars and extreme physics. **Astronomy and Geophysics**, v. 45, n. 1, p. 1.07-1.11, 2004.

BELL BURNELL, J. Astronomy: Pulsars 40 years on. **Science**, v. 318, n. 5850, p. 579–581, 2007.

BELL BURNELL, J. Discovery of Pulsars (Temporada 1, Episódio 1) **Beautiful Minds** [Seriado de Televisão]. United Kingdom: BBC, 2010.

BELL BURNELL, J. The past, present and future of pulsars. **Nature Astronomy**, v. 1, n. 12, p. 831–834, 2017.

BELL BURNELL, J. The woman who heard stars spin. Entrevista Concedida a Leah Crane. **New Scientist**, v. 239, n. 3195, p. 16, 2018.

BOHM, D. **Causalidade e acaso na física moderna**. Rio de Janeiro: Contraponto, 2015.

CARVALHO, H. R.; NASCIMENTO, L. A.; SILVA, B. V. C. Uso de Textos Históricos para uma Abordagem Pedagógica sobre a Natureza da Ciência. **Revista Latino-Americana de Educação em Astronomia**, n. 23, p. 7–37, 2017.

CELLARD, A. A análise documental. In: POUPART, J. *et al.* (Ed.). **A Pesquisa Qualitativa: enfoques epistemológicos e metodológicos**. 3. ed. Petrópolis: Editora Vozes, 2012. p. 295–315.

COPELAND, S. On serendipity in science: discovery at the intersection of chance and wisdom. **Synthese**, v. 196, p.2385–2406, 2019.

CORDEIRO, M. D. Mulheres na Física: um pouco de história. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 34, n. 3, p. 669–672, 2017.

COSTA, B. L.; POLATI, F.; ALLEN, M. P. Uma proposta de discussão de controvérsias históricas e epistemológicas acerca da evolução estelar para o ensino médio. In: Simpósio Nacional de Educação em Astronomia, 5., Londrina. **Anais...** Londrina: Universidade Estadual de Londrina, 2018.

DICK, S. J. **Discovery and Classification in Astronomy: Controversy and Consensus**. Cambridge: Cambridge University Press, 2013.

FEDER, T. Q&A: Pulsar pioneer Jocelyn Bell Burnell. **Physics Today**, 2019. Disponível em: <http://doi.org/10.1063/PT.6.4.20190130a>. Acesso em: 18 jul. 2021.

FORATO, T. C. M. **A natureza da ciência como saber escolar**: um estudo de caso a partir da história da luz. 2009. 220 p. Tese (Doutorado em Educação) - Universidade de São Paulo.

FORATO, T. C. M.; PIETROCOLA, M.; MARTINS, R. A. Historiografia e natureza da ciência na sala de aula. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 28, n. 1, p. 27–59, 2011.

GARCIA, J. O. A imaginação como recurso heurístico na construção do conhecimento científico e algumas implicações para o ensino de ciências. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 36, n. 3, p. 660–674, 2019.

GILLIES, D. Serendipity and Chance in Scientific Discovery: Policy Implications for Global Society. In: ARCHIBUGI, D.; FILIPETTI, A (Eds.). **The Handbook of Global Science, Technology and Innovation**. New Jersey: Wiley-Blackwell, 2015, p. 525-539.

GORGES NETO, L.; ARTHURY, L. A formação docente e as concepções dos estudantes no âmbito da astronomia. **Cadernos de Astronomia**, v. 2, n. 1, 159-170, 2021.

GRAHAM-SMITH, F. **Unseen Cosmos: The Universe in Radio**. Oxford: Oxford University Press, 2014.

GREGORIO-HETEM, J.; JATENCO-PEREIRA, V.; OLIVEIRA, C. M. **Fundamentos de Astronomia**. São Paulo: IAG/USP, 2010.

HANSON, N. R. An Anatomy of Discovery. **The Journal of Philosophy**, v. 64, n. 11, p. 321–352, 1967.

HENRIQUE, A. B. **Discutindo a Natureza da Ciência a partir de episódios da História da Cosmologia**. 2011. São Paulo. 261 p. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências) - Universidade de São Paulo.

HENRIQUE, A. B.; ANDRADE, V. F. P.; L'ASTORINA, B. Discussões sobre a natureza da ciência em um curso sobre a história da astronomia. **Revista Latino-Americana de Educação em Astronomia**, n. 10, p. 17–31, 2010.

HEWISH, A. The diffraction of radio waves in passing through a phase-changing ionosphere. **Proceedings of the Royal Society of London**, v. 209, n. 1096, p. 81–96, 1951.

HEWISH, A. The diffraction of galactic radio waves as a method of investigating the irregular structure of the ionosphere. **Proceedings of the Royal Society of London**, v. 214, n. 1119, p. 494–514, 1952.

HEWISH, A. Pulsars and High Density Physics. **Nobel Lectures**, p. 174–183, 1974.

HEWISH, A.; SCOTT, P. F.; WILLS, D. Interplanetary Scintillation of Small Diameter Radio Sources. **Nature**, v. 203, n. 4951, p. 1214–1217, 1964.

HEWISH, A. *et al.* Observation of a Rapidly Pulsating Radio Source. **Nature**, v. 217, n. 5130, p. 709–713, 1968.

KIDGER, M. **Cosmological Enigmas: Pulsars, Quasars, and Other Deep-Space Questions**. Baltimore: The Johns Hopkins University Press, 2007.

KRAGH, H. **Cosmology and Controversy: The Historical Development of Two Theories of the Universe**. Princeton: Princeton University Press, 1996.

KRUPCZAK, C.; AIRES, J. A. Natureza da ciência: o que os pesquisadores brasileiros discutem? **Amazônia: Revista de Educação em Ciências e Matemática**, v. 14, n. 32, p. 19–32, 2018.

KUHN, T. S. **A Tensão Essencial: estudos selecionados sobre tradição e mudança científica**. São Paulo: Editora Unesp, 2011.

KUHN, T. S. **O Caminho Desde A Estrutura: ensaios filosóficos, 1970-1993, com uma entrevista autobiográfica**. 2. ed. São Paulo: Editora Unesp, 2017.

KUHN, T. S. **A Estrutura das Revoluções Científicas**. 13. ed. São Paulo: Perspectiva, 2018.

LIMA, I. P. C. Lise Meitner e a fissão nuclear: uma visão não eurocêntrica da ciência. **Revista Gênero**, v. 16, n. 1, p. 51–65, 2015.

LIMA, I. P. C. **Lise Meitner e a fissão nuclear: caminhos para uma narrativa feminista**. 2019. Salvador. 181 p. Tese (Doutorado em Ensino, Filosofia e História das Ciências) - Universidade Federal da Bahia.

LONGAIR, M. **The Cosmic Century: A History of Astrophysics and Cosmology**. Cambridge: Cambridge University Press, 2006.

LONGAIR, M. History of astronomical discoveries. **Experimental Astronomy**, v. 25, p. 241–259, 2009.

LONGAIR, M. The Discovery of Pulsars and the Aftermath. **Proceedings of the American Philosophical Society**, v. 155, n. 2, p. 147–157, 2011.

MAIA FILHO, A. M.; SILVA, I. L. A trajetória de Chien Shiung Wu e a sua contribuição à Física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 36, n. 1, p. 135–157, 2019.

MARTINS, A. F. P. História e Filosofia da Ciência no ensino: Há muitas pedras nesse caminho. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 24, n. 1, p. 112–131, 2007.

- MATTHEWS, M. R. História, filosofia e ensino de ciências: a tendência atual de reaproximação. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 12, n. 1, p. 164–214, 1995.
- MAZRUI, A. A.; WONDJI, C. **História Geral da África: África desde 1935**. Brasília: UNESCO, 2010.
- MCGRAYNE, S. B. **Nobel Prize Women in Science: Their Lives, Struggles and Momentous Discoveries**. 2. ed. Washington: Joseph Henry Press, 1998.
- MCNAMARA, G. **Clocks in the Sky: The Story of Pulsars**. New York: Praxis, 2008.
- MERTON, R. K.; BARBER, E. **The Travels and Adventures of Serendipity**. Princeton: Princeton University Press, 2004.
- MITCHELL, S. **#PulsarWeek: The women who study pulsars**. 2017. Disponível em: <https://asd.gsfc.nasa.gov/blueshift/index.php/2017/08/06/pulsarweek-the-women-who-study-pulsars>. Acesso em: 18 jul. 2021.
- MOURA, B. A. O que é natureza da Ciência e qual sua relação com a História e Filosofia da Ciência. **Revista Brasileira de História da Ciência**, v. 7, n. 1, p. 32–46, 2014.
- NORRBY, E. **Nobel Prizes and Life Sciences**. London: World Scientific, 2010.
- OLIVEIRA FILHO, K. S.; SARAIVA, M. F. O. **Astronomia e Astrofísica**. Porto Alegre: Livraria da Física, 2014.
- OLIVEIRA, R. A.; SILVA, A. P. B. História da ciência e ensino de física: uma análise meta-historiográfica. In: PEDUZZI, L. O. Q.; MARTINS, A. F. P.; FERREIRA, J. M. H. (Ed.). **Temas de história e filosofia da ciência no ensino**. Natal: EDUFRN, 2012. p. 41–64.
- PEDUZZI, L. O. Q.; RAICIK, A. C. Sobre a natureza da ciência: asserções comentadas para uma articulação com a história da ciência. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 25, n. 2, p. 19–55, 2020.
- PENNY, A. J. The SETI Episode in the 1967 Discovery of Pulsars. **European Physical Journal**, v. 38, n. 4, p. 535–547, 2013.
- PILKINGTON, J. D. H. *et al.* Observations of Some Further Pulsed Radio Sources. **Nature**, v. 218, n. 5137, p. 126–129, 1968.
- PIRES, L. N.; PEDUZZI, L. O. Q. 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**. *Investigações em Ensino de Ciências*, v. 26, n. 3, p. 157-180. 2021a.
- PIRES, L. N.; PEDUZZI, L. O. Q. Serendipidade em descobertas científicas: o episódio histórico de detecção dos pulsares. In: Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, 13., 2021b, Campina Grande. **Anais...** Campina Grande: Editora Realize.

PIRES, L. N.; PEDUZZI, L. O. Q. Jocelyn Bell Burnell e os Pulsares: trajetória e contribuições para a Astronomia Moderna. In: Simpósio Nacional de Ensino de Física, 24., 2021c, Santo André. **Anais...** Santo André: Sociedade Brasileira de Física.

RAICIK, A. C.; PEDUZZI, L. O. Q. Uma discussão acerca dos contextos da descoberta e da justificativa: a dinâmica entre hipótese e experimentação na ciência. **Revista Brasileira de História da Ciência**, v. 8, n. 1, p. 132–146, 2015.

RAICIK, A. C.; PEDUZZI, L. O. Q. A estrutura conceitual e epistemológica de uma descoberta científica: reflexões para o ensino de ciências. **Alexandria: Revista de Educação em Ciência e Tecnologia**, v. 9, n. 2, p. 149–176, 2016.

ROBERTS, R. M. **Serendipity Accidental Discoveries in Science**. New York: Wiley, 1989.

ROBERTS, S. **World first as Bell Burnell pulsar chart goes on display**. 2019. Disponível em: <https://www.cam.ac.uk/Discovery>. Acesso em: 18 jul. 2021.

ROSENMAN, M. F. Serendipity and Scientific Discovery. **The Journal of Creative Behavior**, v. 22, n. 2, p. 132–138, 1988.

ROSSITER, M. W. The Matthew Matilda Effect in Science. **Social Studies of Science**, v. 23, n. 2, p. 325–341, 1993.

SCHMIDT, M. 3C 273: A Star-Like Object with Large Red-Shift. **Nature**, v. 197, n. 4872, p. 1040–1040, 1963.

TESH, S.; WADE, J. Look happy dear, you've just made a discovery. **Physics World**, v. 30, n. 9, p. 31–33, 2017.

VAN ANDEL, P. Anatomy of the Unsought Finding. Serendipity: Origin, History, Domains, Traditions, Appearances, Patterns and Programmability. **British Journal for the Philosophy of Science**, v. 45, n. 2, p. 631–648, 1994.

VIDAL, C. Pulsar positioning system: A quest for evidence of extraterrestrial engineering. **International Journal of Astrobiology**, v. 18, n. 3, p. 213–234, 2019.

VIEIRA, P. C.; MASSONI, N. T.; ALVES-BRITO, A. O papel de Cecília Payne na determinação da composição estelar. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 43, p. e20210028, 2021.

WADE, N. Discovery of Pulsars: A Graduate Student's Story. **Science**, v. 189, n. 4200, p. 358–364, 1975.

Artigo 3

PULSATING STARS: O CONTEXTO HISTÓRICO DE PÓS-DETECÇÃO DOS PULSARES NO CAMPO DA FÍSICA E DA ASTRONOMIA

“Science doesn't always go forwards. It's a bit like doing a Rubik's cube. You sometimes have to make more of a mess with a Rubik's cube before you can get it to go right”.

Jocelyn Bell Burnell²³

²³ Tradução: “*A ciência nem sempre vai para frente. É um pouco como mexer em um cubo mágico. Às vezes, você tem que fazer mais bagunça em um cubo mágico antes de fazê-lo funcionar direito*”. Referência: DISCOVERY of Pulsars (Temporada 1, Episódio 1) Beautiful Minds [Seriado de Televisão]. United Kingdom: BBC, 2010.

3 PULSATING STARS: O CONTEXTO HISTÓRICO DE PÓS-DETECÇÃO DOS PULSARES NO CAMPO DA FÍSICA E DA ASTRONOMIA²⁴

RESUMO: Em fevereiro de 1968, a então estudante de pós-graduação Jocelyn Bell, seu orientador Antony Hewish e demais integrantes do grupo de radioastrônomos da Universidade de Cambridge publicaram um artigo na Revista Nature sobre incomuns sinais pulsados em ondas de rádio, identificados inicialmente em meados de agosto de 1967, gerando um amplo movimento da comunidade científica para entendimento deste suposto novo objeto astronômico: os pulsares. Neste artigo, objetivamos discutir aspectos históricos envolvidos no processo de compreensão conceitual dos pulsares, tendo como base artigos científicos publicados à época, em comentários sobre o episódio elaborados por Jocelyn Bell Burnell e Antony Hewish, além de estudos secundários sobre a história dos pulsares. A partir de reflexões de Ludwik Fleck e Thomas Kuhn, as discussões de Natureza da Ciência evidenciadas consistem, por exemplo, na extensão temporal e na construção coletiva de uma descoberta científica e no processo complexo de circulação de teorias e de observações sobre um fenômeno entre astrônomas/os.

Palavras-Chave: História da Astronomia; Natureza da Ciência; Estrelas de Nêutrons; Jocelyn Bell Burnell.

3.1 INTRODUÇÃO

Em 1972, a Agência Espacial Americana (NASA) lançou a sonda espacial Pioneer 10, com o objetivo de coletar dados sobre planetas gasosos, como Júpiter e Saturno. Nesta sonda, estava presente uma placa “[...] com uma espécie de mensagem informativa sobre a Terra destinada a quem a pudesse interceptar, uma mensagem interestelar numa garrafa” (GARCÍA-POSADA, 2017, p. 269). Elaborada por uma equipe coordenada pelo reconhecido astrônomo Carl Sagan (1934-1996), a construção da Placa *Pioneer* possuía o objetivo de conceder possíveis respostas sobre a existência de vida fora da Terra. Para que possíveis seres extraterrestres pudessem reconhecer que a mensagem estava sendo emitida do Sistema Solar, os astrônomos utilizaram dos sinais eletromagnéticos oriundos de catorze pulsares. Em relação a estes objetos astronômicos, em seu livro *O Mundo Assombrado Pelos Demônios*, Carl Sagan também menciona, brevemente, o episódio de detecção dos pulsares e sua posterior compreensão pelas/os cientistas:

²⁴ Este capítulo foi publicado no volume 22 na *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências* no ano de 2022. Disponível em: <https://periodicos.ufmg.br/index.php/rbpec/article/view/37498/30775>. Acesso em: 28 jun. 2022.

Em 1967, cientistas britânicos encontraram uma fonte intensa de rádio muito mais próxima, acendendo e apagando-se com precisão espantosa, com período constante de dez ou mais números significativos. [...] Os cientistas até lhe deram, entre si, na Universidade de Cambridge, a designação desvirtuada de LGM-1, sendo LGM a sigla inglesa para homenzinhos verdes.

[...] Logo ficou claro que aquilo que estavam observando era o que agora se chama pulsar [...] o estado final de uma estrela maciça, um sol encolhido até o tamanho de uma cidade, que não é mantido, como as outras estrelas, pela pressão de gás, nem pela degeneração dos elétrons, mas por forças nucleares. É, em certo sentido, um núcleo atômico de mais ou menos dezesseis quilômetros de extensão. [...] Não é uma civilização extraterrestre. É outra coisa: mas algo que nos abre os olhos e as mentes e indica possibilidades não imaginadas na natureza (SAGAN, 2006, p. 207-8).

Extrapolando o contexto científico, os pulsares apareceram em momentos da cultura popular, como na indústria musical. Por exemplo, a representação gráfica de um dos pulsares encontrado pela cientista britânica Jocelyn Bell Burnell está presente na capa do álbum de estreia da banda *Joy Division*, intitulado *Unknown Pleasures* e lançado no ano de 1979. Sobre este fato, James (2017, p. 2) aponta que, atualmente, “[...] muitas pessoas reconhecem a imagem que aparece em tudo, de camisetas a tatuagens, mas poucos percebem que representa o primeiro pulsar descoberto”. A inspiração artística para o álbum parece ter se originado da seguinte maneira:

Ao lado da entrada na edição de 1977 da “The Cambridge Encyclopedia of Astronomy”, havia uma imagem de perfis de pulsos empilhados sucessivos do PSR 1919 + 21²⁵. O retrato simples, mas enigmático de rabiscos, poderia ter permanecido naquela enciclopédia e em artigos de jornal obscuros se não tivesse chamado a atenção de Peter Saville, que decidiu que seria a capa perfeita para o álbum de Joy Division, *Unknown Pleasures* (JAMES, 2017, p. 2).

Além de se evidenciar aspectos mais populares da ciência sobre este objeto astronômico, também se faz importante considerar o reconhecimento histórico sobre elementos do processo de construção conceitual sobre os pulsares. Deste modo, na perspectiva do ensino de Ciências, diversos trabalhos (ABD-EL-KHALICK; LEDERMAN, 2000; MCCOMAS, 2008; MOURA, 2014; PEDUZZI; RAICIK, 2020) sugerem que a articulação de aspectos histórico-filosóficos relativos à Ciência pode contribuir na discussão sobre elementos da Natureza da Ciência (NdC). Na área de História da Astronomia, especificamente, existem algumas pesquisas que contemplam a análise de elementos da atividade e da produção científica: Bagdonas, Zanetic e Gurgel (2017) discutem aspectos da descoberta da expansão do Universo e o desenvolvimento da Lei de

²⁵ Esta é uma das denominações atuais para o primeiro pulsar encontrado por Jocelyn Bell, originalmente chamado de CP 1919.

Hubble; o trabalho de Almeida (2021) explorou elementos históricos que se manifestam na descoberta dos buracos negros.

Em relação à temática dos pulsares, Pires e Peduzzi (2022) realizaram um estudo sobre a presença da serendipidade na identificação destes objetos, além do protagonismo da então estudante de pós-graduação Jocelyn Bell. Em meio a uma procura de quasares para o desenvolvimento de sua pesquisa de doutorado na Universidade de Cambridge, Bell identificou os primeiros sinais que seriam posteriormente compreendidos como pulsares, sendo “[...] as últimas estrelas estáveis [...] [que] podem ser consideradas como objetos que falharam na tarefa de tornar buracos negros” (LONGAIR, 2006, p. 196–197).

Com o intuito de estabelecer uma continuidade nos estudos de aspectos históricos deste tema, intencionamos discutir neste artigo elementos de cunho histórico que podem ser evidenciados no contexto de pós-deteção dos pulsares – que entendemos como o contexto científico de compreensão dos aspectos conceituais sobre estes objetos astronômicos – além de apontar possíveis discussões epistemológicas e sobre a natureza do conhecimento científico com base neste recorte histórico. Para tanto, pretendemos conceder respostas aos seguintes questionamentos: “*Que aspectos históricos podem ilustrar o contexto de construção conceitual sobre os pulsares? Que discussões sobre a Natureza da Ciência podem ser evidenciadas com base em elementos históricos presentes no contexto pós-deteção deste objeto astronômico?*”.

O artigo apresenta a seguinte organização: em um primeiro momento, mencionamos alguns elementos teórico-metodológicos que embasam o desenvolvimento deste trabalho. Na seção seguinte, versamos sobre determinados elementos históricos envolvidos no contexto histórico de compreensão dos pulsares pela comunidade astronômica. Posteriormente, desenvolvemos uma discussão epistemológica com base em autores como Ludwik Fleck (2010) e reflexões pontuais de Thomas Kuhn (2011, 2018), no sentido de direcionar possíveis discussões de Natureza da Ciência no âmbito de ensino de Física e de Astronomia. Por último, apresentamos desdobramentos futuros do estudo realizado.

3.2 PRESSUPOSTOS TEÓRICO-METODOLÓGICOS

Os aspectos teórico-metodológicos deste artigo são embasados em perspectiva semelhante à apresentada por Pires e Peduzzi (2022). De maneira a complementar e ampliar as discussões desenvolvidas em tal trabalho, intencionamos evidenciar determinados elementos sobre a natureza do conhecimento científico que se manifestam em elementos históricos sobre o

contexto de pós-deteção dos pulsares. Nesse sentido, estudos sobre NdC contemplam o desenvolvimento de discussões em

[...] um domínio híbrido que combina aspectos de vários estudos sociais da ciência, incluindo a história, sociologia e filosofia da ciência, combinados com a pesquisa das ciências cognitivas, como a psicologia, em uma rica descrição da ciência; como ela funciona, como os cientistas operam enquanto grupo social e como a própria sociedade tanto direciona como reage ao empreendimento científico (MCCOMAS, 2008, p. 249–250).

Na análise histórico-epistemológica, consideramos aspectos metodológicos da análise documental (CELLARD, 2012). Como fontes primárias, incluímos relatos de Jocelyn Bell Burnell sobre o episódio de detecção dos pulsares (BELL BURNELL, 1977, 1983, 2004, 2017), bem como sua tese de doutorado (BELL, 1969), cujo apêndice apresenta elementos históricos sobre o contexto de compreensão inicial destes objetos astronômicos; além de trechos da transcrição do discurso de Antony Hewish no Prêmio Nobel de Física de 1974 (HEWISH, 1974).

Além disso, contemplamos, também, artigos relativos aos primeiros achados protagonizados por Jocelyn Bell Burnell (HEWISH *et al.*, 1968; PILKINGTON *et al.*, 1968), bem como artigos científicos publicados, entre os anos de 1967 e 1969, versando sobre a construção conceitual dos pulsares (PACINI, 1967, 1968; GOLD, 1968; LARGE; VAUGHAN; MILLS, 1968; PACINI; SALPETER, 1968; STAELIN; REIFENSTEIN, 1968; COMELLA *et al.*, 1969; RICHARDS; COMELLA, 1969). Alguns destes trabalhos foram retirados de um compilado de artigos que apresentam estudos teóricos e observacionais sobre estas estrelas, intitulado *Pulsating Stars: A Nature Reprint*, sendo publicado no ano de 1968 (SMITH; HEWISH, 1968). Os documentos secundários considerados para a escrita, por sua vez, se referem a trabalhos que apresentam reflexões retrospectivas sobre a importância dos pulsares para o campo da Física e da Astronomia (GREENSTEIN, 1984; FISHMAN, 1992; MCGRAYNE, 1998; LAVIOLETTE, 2006; MCNAMARA, 2008; LYNE; GRAHAM-SMITH, 2012; DICK, 2013; BARTUSIAK, 2017; HABING, 2018).

A partir desse desenvolvimento histórico, analisamos a potencialidade de discussões sobre o processo de *construção de uma descoberta científica*, aspecto que pode ser explorado por meio das epistemologias de Thomas Kuhn (2011, 2018) e Ludwik Fleck (2010). Em suas obras, os autores discorrem sobre a complexidade envolvida neste processo, que pode ser compreendido sobre uma perspectiva social. A epistemologia de Fleck (2010), especificamente, é potencialmente interessante para reflexões sobre o *compartilhamento de conhecimentos entre cientistas*, por meio das

características da *ciência dos periódicos* e da *ciência dos manuais*, além do conceito de *circulação intracoletiva de conhecimentos*.

3.3 O CONTEXTO DE PÓS-DETECÇÃO DOS PULSARES

3.3.1 As Primeiras Comunicações

Em um recente artigo (BELL BURNELL, 2017), cinquenta anos após da detecção do primeiro pulsar, Jocelyn Bell Burnell relembra sua atuação como estudante de doutorado na Universidade de Cambridge, sob a orientação de Antony Hewish, cujo trabalho de pesquisa consistia em construir e operar um radiotelescópio para identificar objetos estelares denominados quasares. Entretanto, “ela não estava apenas construindo o radiotelescópio elaborado por Hewish para procurar fontes cintilantes. Ela também estava construindo [sem o saber] um dispositivo ideal para descobrir pulsares” (MCGRAYNE, 1998, p. 369). Na época, de acordo com a cientista:

[...] encontrei mais de 150 fontes mais compactas que provavelmente seriam quasares, mas permaneceu um sinal inexplicável ocasional. Compreender esse sinal peculiar levou vários meses e, em seguida, descobrir que era uma sequência de pulsos regulares com um período de 1,33 segundos abriu mais problemas do que soluções. Ao longo de dezembro de 1967, meu supervisor de doutorado, Antony Hewish, e eu estabelecemos que as pulsações eram genuínas – não eram interferência de rádio - que tinham um período muito preciso [...] e que a fonte era pequena e massiva [...] Logo eu encontrei um segundo, claramente da mesma família (seja lá o que fosse) e algumas semanas depois, um terceiro e um quarto (BELL BURNELL, 2017, p. 831).

Após a definição das primeiras características dos achados evidenciados pela cientista, Hewish providenciou a redação de um artigo em meados de janeiro de 1968, a ser submetido para a Revista Nature. Em meio à época de avaliação da submissão, Hewish também organizou uma apresentação dos achados em um seminário apresentado no dia 20 de fevereiro de 1968, no Laboratório Cavendish, na Universidade de Cambridge. Nesta ocasião, McGrayne (1998, p. 369) aponta que “[...] todos os astrônomos de Cambridge compareceram, dando a Burnell seu primeiro indício da importância de sua descoberta”. Inclusive, em um de seus relatos, a cientista ressalta que:

Poucos dias antes de o artigo ser publicado, Tony Hewish deu um seminário em Cambridge para anunciar os resultados. Todos os astrônomos em Cambridge, ao que parecia, compareceram àquele seminário, e seu interesse e entusiasmo me deram uma primeira apreciação da revolução que havíamos começado (BELL BURNELL, 1977, p. 687).

É interessante destacar que em seu livro *Uma Breve História do Tempo*, Stephen Hawking (1942-2018) relata que estava presente nesta ocasião. Segundo ele, “[...] no seminário em que anunciaram sua descoberta²⁶, lembro-me de que chamaram as quatro primeiras fontes descobertas de LGM 1-4 [...] uma sigla para ‘Little Green Men’ [Homenzinhos Verdes]” (HAWKING, 2015, p. 121-2). Alguns aspectos da divulgação destes achados para a comunidade de astrônomos da universidade foram os seguintes:

Hewish revelou tudo... Bem, quase tudo: sua equipe havia detectado uma rápida fonte de rádio pulsante para a qual não havia explicação imediata. Ninguém na plateia sabia quais eram as fontes e, apesar da especulação extraterrestre inicial, agora estava claro que eles haviam encontrado um novo fenômeno astrofísico. Havia um sentimento entre os presentes de que era o início de algo importante no mundo da astronomia. Hewish resumiu o artigo, mencionando que objetos semelhantes foram encontrados em outras partes do céu (MCNAMARA, 2008, p. 48).

Durante esta exposição, cientistas apontaram conjecturas acerca do comportamento destes sinais. Uma delas envolvia a possibilidade destes sinais serem anãs brancas. Embora o período de um quarto de um segundo evidenciado no quarto pulsar encontrado por Jocelyn Bell tenha tornado “[...] as explicações envolvendo estrelas anãs brancas cada vez mais difíceis” (HEWISH, 1974, p. 178), Hewish sugeriu em sua apresentação que este objeto “[...] poderia ser algum tipo de anã branca vibrante” (MCNAMARA, 2008, p. 48). Em relação a esta conjectura, Antony Hewish descreve, em seu discurso no Prêmio Nobel de Física em 1974, que, em determinado estágio da investigação, o grupo de pesquisa passou a considerar a possibilidade dos sinais consistirem em objetos estelares como anãs brancas:

[...] começamos a buscar explicações envolvendo estrelas anãs, ou as estrelas de nêutrons hipotéticas. Meus amigos da biblioteca do observatório ficaram surpresos ao ver um radioastrônomo se interessando tanto por livros sobre evolução estelar (HEWISH, 1974, p. 178).

Neste seminário, se fazia presente o astrônomo e físico teórico Fred Hoyle (1915-2001), reconhecido como um dos proponentes da Teoria do Estado Estacionário; a cientista relembra que Hoyle teceu alguns apontamentos após a palestra (BELL BURNELL, 1983, 2004). Apesar de o astrônomo dizer que não possuía conhecimento destas estrelas até então, a cientista descreve que Hoyle apontou o seguinte: “Não acho que [estas estrelas] sejam anãs brancas, acho que são

²⁶ Esta citação é um exemplo, dentre outras extraídas de fontes secundárias, em que as/os autores se referem ao termo descoberta como um evento unitário, ocorrido em um determinado lugar e com certo indivíduo. No âmbito deste artigo, no entanto, defendemos um entendimento sobre descobertas científicas no sentido que é descrito por Kuhn (2011), como um esforço coletivo desenvolvido em um determinado período de tempo.

remanescentes de supernovas” (BELL BURNELL, 1983, p. 169). Sobre esse ponto, McNamara (2008, p. 48) discute que, possivelmente, Fred Hoyle, “[...] não estava mencionando as nuvens de gás em expansão, mas sim o que havia sido deixado para trás: as estrelas de nêutrons de Baade e Zwicky”.

No ano de 1934, Walter Baade (1893-1960) e Fritz Zwicky (1898-1974) sugeriram, no artigo *Cosmic Rays From Super-Novae*, que explosões de supernovas poderiam consistir na passagem de uma estrela comum para uma estrela de nêutrons (BAADE; ZWICKY, 1934). Discutindo este aspecto, em específico, Dick (2013) sugere que, no momento da detecção dos pulsares, estas predições não foram consideradas pelo grupo de radioastrônomos de Cambridge como possíveis explicações para os primeiros achados. Outras hipóteses, como inclusive a possibilidade de comunicação extraterrestre, foram consideradas primeiramente, para somente semanas depois os cientistas começarem a elencar aspectos próximos às predições teóricas de Baade e Zwicky.

Além da comunicação dos achados para a comunidade científica da Universidade de Cambridge, o grupo de pesquisa também organizou a publicação dos resultados mediante a submissão de artigos. McGrayne (1998, p. 369) aponta que “[...] em meados de janeiro, Hewish decidiu que era o momento de escrever um artigo anunciando a descoberta”, que foi publicado pela Revista *Nature* em duas semanas, o que foi “[...] uma decisão extraordinariamente rápida por parte dos editores da revista, que atestou seu senso da importância da descoberta” (GREENSTEIN, 1984, p. 21). No resumo do artigo intitulado *Observation of Rapidly Pulsating Radio Source*, publicado dias depois ao seminário em Cambridge, no dia 24 de fevereiro de 1968, os autores apontam que

Sinais incomuns de fontes pulsantes de rádio foram registrados no Mullard Radio Astronomy Observatory. A radiação parece vir de objetos localizados no interior da galáxia e podem estar associados com oscilações de anãs brancas ou estrelas de nêutrons (HEWISH *et al.*, 1968, p. 709).

De modo geral, o artigo apresenta um estudo mais aprofundado das características da primeira fonte encontrada pela cientista, embora mencione as outras três identificadas posteriormente. Segundo o que se apresenta no apêndice da tese de doutorado de Bell (1969), as características destes três últimos sinais foram mais bem detalhadas em outro artigo, publicado em abril de 1968, na Revista *Nature*, intitulado *Observations of Some Further Pulsed Radio Sources* (PILKINGTON *et al.*, 1968).

No artigo de Hewish *et al.* (1968), há a menção às características do radiotelescópio construído, evidenciando-se que após entrar em operação, “percebeu-se sinais que, apesar de inicialmente fracos, eram repetidamente observados em uma declinação e ascensão reta fixa: este

resultado mostrou que a fonte não tinha origem terrestre” (HEWISH *et al.*, 1968, p. 709). É interessante observar que, embora os autores reconstruam algumas das etapas desenvolvidas para uma sistematização das novas informações encontradas, eles não mencionam o contato com outros radioastrônomos para verificação dos sinais, além de não citarem a possibilidade de problemas no radiotelescópio.

Em um dos seus relatos, a cientista aponta que, “no artigo, fomos um pouco ambíguos sobre o que havíamos testemunhado, porque honestamente não sabíamos o que era” (BELL BURNELL, 2004, p. 1.10). Sobre isso, os autores mencionam algumas hipóteses iniciais na tentativa da compreensão dos sinais. Por exemplo, apontam que “a notável natureza destes sinais em um primeiro momento sugeriram que sua origem poderia ser de transmissões humanas que poderiam surgir de sondas espaciais” (HEWISH *et al.*, 1968, p. 709). Posteriormente, apresentam, de maneira cautelosa, elementos importantes na tentativa da compreensão destes sinais, como a possibilidade de serem anãs brancas vibrantes ou estrelas de nêutrons:

A característica mais significativa a ser considerada é a extrema regularidade dos pulsos. Isso sugere uma origem em termos da pulsação de uma estrela inteira, ao invés de alguma perturbação mais localizada em uma atmosfera estelar. Com relação a isso, é interessante notar que já foi sugerido que a pulsação radial das estrelas de nêutrons pode desempenhar um papel importante na história das supernovas e seus remanescentes (HEWISH *et al.*, 1968, p. 712).

Sobre a menção das estrelas de nêutrons e de explosões de supernovas, Lyne e Graham-Smith (2012, p. 5) apontam que “[...] é particularmente interessante ver que o artigo menciona especificamente uma estrela de nêutrons como uma origem possível, quando naquela época a existência de estrelas de nêutrons era apenas hipotética”. Apesar disso, até aquele momento, não se apresentou menções explícitas às elaborações teóricas propostas por Fritz Zwicky e Walter Baade. Sobre este aspecto, Dick (2013, p. 309) sugere que

Mesmo que o artigo de descoberta do pulsar de 1968 de Anthony Hewish, Jocelyn Bell e seus colegas tenham citado como possível explicação um artigo teórico recente de Meltzer e Thorne sobre pulsações radiais de anãs brancas e estrelas de nêutrons no ponto final da evolução estelar, nem esse artigo nem o artigo de descoberta cita a previsão teórica de Baade e Zwicky, feita mais de três décadas antes. Apesar da previsão, os astrônomos estavam céticos de que tal objeto pudesse existir na realidade.

Nas considerações finais do artigo, os autores sugerem que “[...] evidências observacionais são claramente necessárias para obter uma melhor compreensão dessa estranha nova classe de fontes de rádio” (HEWISH *et al.*, 1968, p. 713). Em termos das reações da comunidade científica, Antony Hewish comentou em seu discurso no Nobel de Física em 1974

que, “os meses que se seguiram ao anúncio de nossa descoberta foram ocupados tanto para observadores quanto para teóricos, pois os radiotelescópios de todo o mundo se voltaram para os primeiros pulsares” (HEWISH, 1974, p. 178).

Houve um movimento da comunidade científica em se debruçar sobre as novas possibilidades desta área de pesquisa na Astronomia, como observado em inúmeras publicações na *Nature* e em outras revistas: “[...] nos cinco meses seguintes mais de quarenta artigos foram publicados” (SMITH, 1968, p. iv), além de conferências entre cientistas. Meses após a divulgação, em meados de maio de 1968, cientistas se reuniram em Nova York para uma conferência de maneira a discutir o comportamento enigmático dos pulsares. Por meio da comunicação dos novos achados mediante seminários e os artigos publicados pelo grupo de radioastrônomos, “[...] o problema passou das suas mãos [do grupo] para as da comunidade mundial de físicos e astrônomos como um todo” (GREENSTEIN, 1984, p. 16).

3.3.2 O Comportamento Enigmático dos Pulsares

O comportamento deste objeto estelar exibía um aspecto que intrigava os cientistas envolvidos na sua detecção, bem como os demais estudiosos que se debruçaram sobre este achado (LAVIOLETTE, 2006). Em um de seus relatos, Jocelyn Bell aponta que naquela época havia sido observado que o objeto aparentemente pulsava “a uma taxa muito rápida, por este motivo, deveria ser pequeno”. Também, ele mantinha “seu período de pulso com muita precisão”. Entretanto, se este objeto mantém “seu período de pulso com muita, muita precisão, ele deve possuir grandes reservas de energia e deve ser grande” (BELL BURNELL, 2004, p. 1.9). Neste sentido, a paradoxal conclusão que se apresentava era que “[...] a ideia de algo piscando e apagando tão rapidamente implicava que era muito pequeno. Ao mesmo tempo, a incrível precisão do período indicava que era algo grande e regular” (MCNAMARA, 2008, p. 45).

A dúvida que pairava entre as/os cientistas consistia na inexplicável regularidade e rapidez dos pulsos. Por certo, “era amplamente reconhecido que a extrema regularidade das emissões dos pulsares era algo que merecia atenção [...] nenhuma fonte astronômica havia sido encontrada pulsando com um comportamento tão próximo a sua regularidade” (GREENSTEIN, 1984, p. 22). Em termos observacionais, considerava-se que “os primeiros pulsares descobertos giravam em apenas alguns segundos e não demoraria muito para que outros ainda mais rápidos fossem encontrados. Não é de se admirar que os astrônomos achassem esse conceito difícil” (MCNAMARA, 2008, p. 55).

Neste domínio, “três mecanismos [...] diferentes foram propostos em um ponto ou outro durante o debate sobre a natureza dos pulsares” (GREENSTEIN, 1984, p. 22). Estas conjecturas foram discutidas coletivamente quatro meses após a divulgação dos achados, em uma conferência organizada pelo cientista Alastair Cameron (1925-2003), entre os dias 20 e 21 de maio de 1968 na cidade de Nova York. Neste contexto, cientistas discutiram estes diferentes mecanismos: “[...] no momento da conferência haviam de fato três explicações amplamente consideradas para as fontes de rádio pulsantes: oscilações, planetas em órbita e rotação da própria estrela” (MCNAMARA, 2008, p. 57). As publicações em revistas científicas apresentavam semelhantes sugestões: um destes modelos “explicava os pulsares como estrelas de nêutrons em rotação [...] outros artigos [...] discutiam anãs brancas vibrando ou um satélite orbitando uma estrela de nêutrons como a explicação” (DICK, 2013, p. 109).

No âmbito da conferência, a explicação mais considerada pelos cientistas envolvia o entendimento dos pulsares como *estrelas anãs brancas* que oscilavam ou vibravam, “liberando [...] ondas de energia eletromagnética que os astrônomos captavam como as radiopulsões” (MCNAMARA, 2008, p. 57). Greenstein (1984) argumenta que tal fenômeno era “[...] tão bem conhecido que provavelmente é justo dizer que foi esse modelo que surgiu pela primeira vez na mente da maioria dos astrônomos quando o anúncio da descoberta dos pulsares foi feito” (p. 26-27). De fato, Antony Hewish pontuou em sua Conferência Nobel que

[...] a oscilação gravitacional de uma estrela inteira fornecia um possível mecanismo para explicar a emissão periódica de pulsos de rádio, e que a frequência fundamental obtida de estrelas anãs brancas era muito baixa. Eu sugeri que um modo de ordem superior era necessário no caso de uma anã branca, ou que uma estrela de nêutrons da densidade mais baixa permitida, vibrando no modo fundamental, poderia dar a periodicidade necessária (HEWISH, 1974, p. 178).

Na época, “estrelas anãs brancas já eram observáveis e bem compreendidas” (LYNE; GRAHAM-SMITH, 2012, p. 6). De modo geral, estudos indicavam que seus períodos de oscilação eram da ordem de segundos. Um dos exemplos destes trabalhos, inclusive mencionado no artigo de Hewish *et al.* (1968), consistiu no trabalho de Meltzer e Thorne (1966), intitulado *Normal Modes of Radial Pulsation of Stars at the End Point of Thermonuclear Evolution*. Sobre este trabalho, Lyne e Graham-Smith (2012) apontam que estes cientistas, “[...] pouco antes da descoberta [dos pulsares] [...] mostraram que uma estrela anã branca poderia ter uma periodicidade ressonante de cerca de 10 segundos”.

Entretanto, “[...] o pulsar mais rápido conhecido na época da conferência possuía um período de um quarto de segundo” (MCNAMARA, 2008, p. 57), que consistia justamente no

último pulsar encontrado por Jocelyn Bell. Ainda que este pulsar apresentasse um período consideravelmente inferior em comparação aos modelos teóricos que descreviam as anãs brancas, estas “[...] estavam dentro do reino da possibilidade e até mesmo eram consideradas como as candidatas mais prováveis” (MCNAMARA, 2008, p. 57).

O enfoque atribuído a esta hipótese também é observado em um compilado de artigos científicos relativos a determinados modelos teóricos e investigações observacionais sobre os pulsares desenvolvidos na época, organizado por Antony Hewish em parceria com o astrônomo Francis Graham-Smith, publicado no ano de 1968. Em um dos capítulos do documento, Smith (1968) argumenta que “a anã branca pulsante parece, atualmente, ser o candidato mais razoável [...] e espera-se que a medição suficientemente precisa da sua posição seja capaz de fornecer uma identificação com uma anã branca reconhecível” (p. v). Hewish (1968), por sua vez, sugeriu que “é encorajador que a vibração da anã branca ainda ofereça uma explicação plausível para esses corpos misteriosos e fascinantes” (p. viii).

Outra explicação também considerada pelas/os cientistas consistiu na hipótese de *sistemas binários*, em referência a um planeta ou um satélite que orbitava uma estrela anã branca ou mesmo uma estrela de nêutrons. Lyne e Graham-Smith (2012, p. 7) argumentam que seria

[...] possível para um satélite orbitar uma estrela anã branca de 1500 km de raio com um período de 1 segundo, mas a órbita estaria roçando a superfície. Seria mais razoável considerar uma estrela de nêutrons como o objeto central, quando períodos de até 1 milissegundos seriam possíveis.

Segundo Lyne e Graham-Smith (2012), um dos impasses desse modelo “[...] diz respeito à radiação gravitacional [...] A perda de energia por meio da radiação gravitacional levaria a uma diminuição do período orbital” (p. 7). Em outras palavras, caso o planeta orbitasse em torno de estrelas mais compactas com raios consideravelmente menores, como estrelas de nêutrons, “[...] a energia do sistema - planeta e estrela - vazaria continuamente para o espaço na forma de radiação gravitacional, desacelerando o planeta e fazendo com que ele espirasse na estrela de nêutrons dentro de algumas horas” (MCNAMARA, 2008, p. 58).

Um dos exemplos de trabalhos que se debruçaram sobre esta hipótese consiste na investigação de Pacini e Salpeter (1968). Neste artigo, os autores investigaram, especificamente, a possibilidade de um satélite orbitar uma estrela de nêutrons. Além da problemática relativa à radiação gravitacional, os autores apontam que

O satélite estaria orbitando em um campo gravitacional muito forte [...] Mesmo sendo feito de aço de alta resistência, não poderia suportar essas forças a menos que fosse menor que cerca de 20 m de diâmetro. Um problema adicional seria que o satélite

poderia derreter ou evaporar no campo de radiação muito alto de um pulsar (LYNE; GRAHAM-SMITH, 2012, p. 7).

Outra possível explicação, sendo a menos explorada pelos cientistas, consistia na *rotação* deste objeto astronômico. Segundo Lyne e Graham-Smith (2012, p. 6), este “[...] estágio posterior de condensação representado por uma estrela de nêutrons existia em uma teoria familiar apenas a certos astrofísicos que estavam preocupados com estados altamente condensados da matéria”. A dúvida consistia no fato de como os pulsares poderiam rotacionar tão rapidamente, pois “[...] teriam que ser feitos de um material mais rígido do que os planetas ou estrelas comuns para permanecerem intactos” (MCNAMARA, 2008, p. 58). Nesse sentido, estudiosos que se destacaram por estudos sobre o possível comportamento das estrelas de nêutrons são o italiano Franco Pacini (1939-2012) e o austríaco Thomas Gold (1920-2004). De maneira independente, estes astrônomos sugeriram a existência de estrelas de nêutrons em rotação, que emitiam ondas eletromagnéticas de maneira periódica (HEWISH, 1974). De fato, “[...] os dois artigos de Pacini e Gold continham a teoria básica e a conexão vital com as observações” (LYNE; GRAHAM-SMITH, 2012, p. 9).

Em seu artigo intitulado *Energy Emission from a Neutron Star*, ao discutir a evolução das estrelas de nêutrons, Franco Pacini apontou questionamentos em torno de se compreender “[...] se a energia armazenada na estrela de nêutrons desempenha um papel importante na conexão com a atividade observada em alguns remanescentes de supernova, como a Nebulosa do Caranguejo” (PACINI, 1967, p. 567). Assim, o cientista sugere a existência de “[...] uma estrela de nêutrons em rotação rápida, com um forte campo magnético dipolar, [que] atuaria como um gerador elétrico muito energético que poderia fornecer uma fonte de energia para a radiação de uma nebulosa circundante” (LYNE; GRAHAM-SMITH, 2012, p. 9). No entanto, este trabalho, supostamente, acabou por ser “[...] desconhecido pelos teóricos que exploraram a possibilidade de os pulsares serem estrelas anãs brancas” (LYNE; GRAHAM-SMITH, 2012, p. 9).

Após a publicação dos artigos sobre as quatro fontes de rádio pulsadas identificadas pelos radioastrônomos de Cambridge (HEWISH *et al.*, 1968; PILKINGTON *et al.*, 1968), o artigo *Rotating Neutron Stars as the Origin of the Pulsating Radio Source* de autoria de Thomas Gold foi publicado na *Nature*, em junho de 1968. Antes de o artigo ser publicado, Thomas Gold submeteu sua construção teórica na conferência ocorrida em Nova York. Todavia, suas ideias não foram aprovadas por Alastair Cameron, o qual disse que a sugestão de Gold era “[...] tão bizarra que, se isso fosse admitido, não haveria fim para o número de sugestões que também deveriam ser permitidas” (MCNAMARA, 2008, p. 60). Apesar disso, o astrônomo publicou seu artigo,

estabelecendo que os objetos detectados por Jocelyn Bell, de fato, poderiam consistir em estrelas de nêutrons em rotação:

A constância de frequência nas fontes de rádio pulsadas recentemente descobertas pode ser explicada pela rotação de uma estrela de nêutrons. Por causa dos fortes campos magnéticos e altas velocidades de rotação, as velocidades relativísticas serão estabelecidas em qualquer plasma na magnetosfera circundante, levando à radiação no padrão de um farol giratório (GOLD, 1968, p. 731).

Neste artigo, Gold (1968) menciona o modelo do farol ao apontar que “se o período de rotação ditar a taxa de repetição, a estrutura fina dos pulsos observados representaria feixes direcionais girando como um farol” (p. 732). Seu modelo implica no fato de que estes objetos astronômicos poderiam se tratar “[...] muito provavelmente de uma estrela de nêutrons, cujo corpo altamente magnetizado, conforme gira rapidamente, transfere a energia rotacional em energia eletromagnética” (BARTUSIAK, 2017, p. 2). Ainda, o astrônomo discute a conjectura das anãs brancas como uma hipótese considerada por outras/os cientistas:

O caso em que as estrelas de nêutrons são responsáveis pelas fontes de rádio pulsantes recentemente descobertas parece ser forte. Nenhum outro objeto astronômico conhecido teoricamente possuiria periodicidades tão curtas e precisas quanto às observadas, variando de 1,33 a 0,25. Harmônicos superiores em uma frequência fundamental inferior que podem ser manifestados por uma anã branca foram mencionados; mas a estrutura fina e detalhada de vários pulsos curtos que se repetem [...] torna qualquer explicação [das anãs brancas] muito improvável (GOLD, 1968, p. 731-732).

Ao final de seu artigo, Gold (1968, p. 732) apresenta predições dos seguintes aspectos sobre estas estrelas: “[...] pode ser possível encontrar uma desaceleração leve, mas constante, das frequências de repetição observadas. Além disso, pode-se supor que existem mais fontes com frequências [de repetição] mais altas do que mais baixas”. Em outras palavras, o astrônomo sugeriu que estas fontes de rádio, com o passar do tempo, sofreriam uma gradativa perda de energia rotacional, gerando um aumento no seu período de rotação (DICK, 2013), bem como que “[...] os radioastrônomos também deveriam detectar pulsares com períodos mais curtos do que aqueles descobertos pela primeira vez” (BARTUSIAK, 2017, p. 2).

Cabe destacar que Pacini e Gold “[...] trabalhavam em escritórios praticamente vizinhos um do outro [...] já que Pacini estava visitando a Universidade de Cornell; no entanto, Gold nem sabia do trabalho anterior de Pacini e não há referência a isso em seu artigo” (LYNE; GRAHAM-SMITH, 2012, p. 9). Entretanto, a colaboração entre os pesquisadores se estabeleceu posteriormente, como percebido no artigo *Rotating Neutron Stars, Pulsars and Supernova Remnants*, publicado por Pacini em julho de 1968. Neste trabalho, ele aponta, dentre vários aspectos que, a

necessidade de investigações específicas por fontes de rádio na Nebulosa do Caranguejo. Segundo ele, “variações de brilho [...] semelhantes às encontradas nos pulsares ainda podem ser detectadas: uma busca por esse tipo de variabilidade na fonte compacta de baixa frequência no Caranguejo é necessária” (PACINI, 1968, p. 145).

No apêndice da sua tese de doutorado, datada de agosto de 1968, Jocelyn Bell comenta que “[...] uma variedade interessante de mecanismos foi proposta para explicar a produção de pulsos: estudos adicionais de anãs brancas e estrelas de nêutrons foram sugeridas” (BELL, 1969, p. 232). No entanto, até aquele momento, “[...] nenhuma explicação inteiramente satisfatória dessas fontes [...] [havia sido] ainda apresentada” (BELL, 1969, p. 232). Desta maneira, destacamos que não somente construções teóricas foram empreendidas para a compreensão deste novo fenômeno, mas também, radioastrônomos se voltaram para o céu para o estudo mais aprofundado das fontes já reconhecidas por Jocelyn Bell, além de direcionarem a procura para novos objetos. Dentre estes, podemos destacar os pulsares encontrados na Nebulosa de Vela e de Caranguejo.

3.3.3 Vela e Caranguejo: Os Pulsares

Em 1968, o estudante Alan Vaughan ingressou no curso de doutorado na Universidade de Sydney, na Austrália, sob a supervisão de Michael Large. Nesta ocasião, Vaughan fora convidado para atuar no Observatório de Molonglo, objetivando observar os novos quatro pulsares encontrados mediante a pesquisa de Jocelyn Bell, mas também procurar por outros, mediante o Telescópio Mills Cross. Durante esta procura, os membros do grupo encontraram sinais com comportamentos característicos dos pulsares, que estavam localizados “[...] perto do remanescente da supernova de Vela, ela própria o resultado de uma estrela que explodiu há cerca de dez mil anos” (MCNAMARA, 2008, p. 62). Em outras palavras, este achado poderia ser uma das primeiras evidências da associação entre os pulsares e as estrelas de nêutrons presentes em remanescentes de supernovas. Ainda que esta possibilidade tivesse sido apontada por Hewish, Bell e os demais colegas radioastrônomos de Cambridge, “[...] os quatro sinais originais não estavam localizados em nenhum lugar perto de qualquer remanescente conhecido de supernova” (GREENSTEIN, 1984, p. 29).

Neste âmbito, os pesquisadores redigiram um artigo intitulado *A Pulsar Supernova Association*, em que apontam a suposta existência de um pulsar próximo à Supernova de Vela, com ascensão reta de 08h 33m, com um período de pulsação de 89 milissegundos. De fato, em

relação às construções teóricas consideradas por cientistas, os autores apontam que “o curto período de PSR²⁷ 0833-45 [...] torna muito improvável que eles possam ser associados a estrelas anãs brancas giratórias ou pulsantes” (LARGE; VAUGHAN; MILLS, 1968, p. 341). No resumo deste artigo, os autores destacam que

Em uma busca por pulsares no sul do Observatório Molonglo, um pulsar de período muito curto foi descoberto na posição de um remanescente suspeito de supernova. As estimativas de distância também são compatíveis. A aparente coincidência do pulsar e da supernova pode ser fortuita, então é prematuro tirar conclusões de longo alcance. Mas é interessante explorar a possibilidade de uma associação física e assumir provisoriamente que o pulsar representa o estágio final de colapso da estrela que explodiu (LARGE; VAUGHAN; MILLS, 1968, p. 340).

Também em 1968, o astrônomo David Staelin (1938-2011) ingressou em sua licença para atuar no Telescópio Greenbank do Observatório Nacional de Radioastronomia em West Virginia. Neste contexto, o pesquisador “[...] queria combinar seus interesses em processamento de sinais e radioastronomia, e os pulsares recém-descobertos pareciam a escolha lógica” (MCNAMARA, 2008, p. 68). Para tanto, o pesquisador havia desenvolvido uma teoria para o funcionamento de um radiotelescópio, de maneira a detectar pulsares, que poderia observar não somente a periodicidade dos pulsos, mas também, sua dispersão. Sabendo que os pulsares emitem radiações em determinadas faixas do espectro eletromagnético, não somente na faixa das ondas de rádio,

[...] na medida em que as ondas de rádio passam pelo espaço interestelar, elas encontram elétrons livres que atrasam ondas com comprimentos de onda mais longos do que aquelas com comprimentos de onda mais curtos. [...] Observando quanta diferença existe entre os tempos de chegada de um único pulso em dois comprimentos de onda diferentes, os astrônomos podem dizer quanto o pulso foi disperso. Esta é uma maneira de determinar quanto espaço o pulso percorreu e, portanto, a que distância ele está (MCNAMARA, 2008, p. 68).

Para tanto, o pesquisador desenvolveu um espectrômetro e um *software* para analisar as ondas eletromagnéticas provenientes destes objetos, mediante o auxílio de engenheiros e do pesquisador Edward Reifstein. Ambos apresentariam visível interesse em investigar a existência de pulsares em remanescentes de supernovas, pois “[...] se os pulsares fossem o resultado de explosões de supernovas, este seria o lugar mais provável para encontrá-los” (MCNAMARA, 2008, p. 68). A pesquisa direcionada de ambos os cientistas acarretou na identificação de duas fontes, publicadas no artigo *Pulsating Radio Sources Near the Crab Nebula*. De fato, os autores

²⁷ McNamara (2008) ressalta que os primeiros pulsares identificados por Jocelyn Bell foram denominados mediante a sigla CP, que significava “Cambridge Pulse”. Posteriormente, cientistas como Alan Vaughan, passaram a denominar, em seus artigos, outros pulsares com a sigla PSR, que consistia em uma abreviação da palavra “pulsar”. Este padrão é utilizado até os dias atuais.

justificam que a procura havia sido “[...] motivada pela descoberta de fontes de rádio pulsadas periódicas” (STAE LIN; REIFENSTEIN, 1968, p. 1481). Tais fontes foram denominadas pelos cientistas de NP 0532 e NP 0527. McNamara (2008, p. 70) argumenta, no entanto, que Staelin e Reifenstein “[...] rapidamente decidiram publicar a dupla descoberta sem saber exatamente os períodos”. De fato, os autores sugerem que

As posições de ambas as fontes podem ser coincidentes com a Nebulosa do Caranguejo [...] Uma associação de uma fonte de rádio pulsante com um objeto celeste conhecido seria muito informativa e a determinação de uma posição mais precisa para essas fontes é muito importante (STAE LIN; REIFENSTEIN, 1968, p. 1482).

Apesar da certa imprecisão de seu período, “a publicação da descoberta de pulsos aleatórios na Nebulosa de Caranguejo – uma remanescente de supernova – estimulou astrônomos a entrarem em ação” (MCNAMARA, 2008, p. 70-71). Em especial, um grupo de astrônomos, que atuavam no radiotelescópio de Arecibo, “[...] não apenas confirmou que havia de fato um pulsar no coração da Nebulosa do Caranguejo, mas determinou seu período surpreendente e [...] sua localização” (MCNAMARA, 2008, p. 71).

Este trabalho fora protagonizado pelo então estudante, formado pela Universidade de Cornell, Richard Lovelace, sob a orientação de Edwin Salpeter (1924-2008). Neste contexto, Lovelace trabalhou com outros estudantes, como David Richards, John Comella, Hal Craft e John Sutton. O objetivo específico de Lovelace era “[...] trabalhar em um novo código projetado para encontrar pulsares com períodos muito mais curtos” (LOVELACE; TYLER, 2012, p. 186). McNamara (2008) aponta que, de fato, o ano de 1968 consistiu no ano em que as análises dos dados oriundos de radiotelescópios passaram dos longos gráficos para os computadores. Neste sentido, a pesquisa de Lovelace consistiu em “[...] desenvolver códigos de computador [...] e, em seguida, analisar os dados coletados pelo telescópio em busca de sinais de pulsares” (MCNAMARA, 2008, p. 71).

Ainda que não fosse o objetivo inicial do grupo de Arecibo (LOVELACE; TYLER, 2012), em novembro de 1968, Lovelace identificou os “[...] primeiros quatro dígitos do período do pulsar do Caranguejo: 33,09 milissegundos” (MCNAMARA, 2008, p. 72). Assim, além do fato deste pulsar estar “[...] embutido em um remanescente de supernova, [...] seu verdadeiro significado estava em outro lugar. Estava na extrema rapidez do pulsar: o ‘Caranguejo’ emitia radiação a uma taxa inédita de 30 rajadas por segundo” (GREENSTEIN, 1984, p. 29). Estes resultados foram publicados pelo grupo no artigo *Crab Nebula Pulsar NP 0532*. Neste artigo, os

autores apontam que este objeto consistia em uma boa evidência de um pulsar na Nebulosa do Caranguejo e mencionam o pulsar encontrado em Vela como exemplo semelhante:

A posição do NP 0532 é uma boa evidência de que está associado a Nebulosa do Caranguejo. Como tal, é um exemplo de um pulsar de período muito curto localizado próximo ao local de uma supernova conhecida. O PSR 0833-45, que tem um período de 89 milissegundos e está localizado próximo ao remanescente suspeito de supernova, Vela X, é possivelmente outro exemplo. Os períodos desses pulsares podem ser explicados pela rotação das estrelas de nêutrons [...] Medições importantes para o futuro incluem a determinação da posição precisa de NP 0532 (COMELLA *et al.*, 1969, p. 454).

Tal evidência oportunizou o fato de se considerar mais fortemente a possibilidade destes objetos serem ou estrelas de nêutrons em rotação ou mesmo estarem em movimento orbital em torno de outra estrela. Sobre esse aspecto,

A descoberta dos pulsares de rádio deu origem a uma explosão de conhecimento sobre as estrelas e sua evolução, atraindo de imediato o interesse e a atenção de astrônomos de todo o mundo. [...] Descobertas subsequentes no ano seguinte resultaram em descobertas de fontes semelhantes, [...] com períodos de cerca de um segundo que poderiam ser explicados pelas pulsações de uma anã branca. A descoberta do [...] pulsar da nebulosa do Caranguejo com emissão regular em um período de 33 milissegundos foi a primeira detecção de uma fonte com um período significativamente mais curto que poderia ser facilmente explicado [...] por uma estrela de nêutrons em rotação (LOVELACE; TYLER, 2012, p. 186).

No mesmo grupo de pesquisadores em Arecibo, o período do pulsar do Caranguejo veio a ser refinado por David Richards e John Comella (MCNAMARA, 2008; LYNE; GRAHAM-SMITH, 2012). Além disso, “[...] apenas um mês após a descoberta do pulsar do Caranguejo [...] [observou-se que ele] [...] estava pulsando mais lentamente. O pulsar do Caranguejo estava desacelerando” (GREENSTEIN, 1984, p. 30). Em outras palavras, Richards e Comella (1969) identificaram que o período deste pulsar estava aumentando gradualmente. Segundo os autores, “[...] um ajuste linear de mínimos quadrados aos dados [...] resulta em uma taxa de mudança do período de $36,48 \pm 0.04$ nano segundos por dia” (p. 551). A publicação destes resultados ocorreu no artigo intitulado *The Period of Pulsar NP0532*. A partir desta evidência,

A descoberta da desaceleração do pulsar também determinou sua natureza subjacente, pois [...] apenas um modelo era capaz de diminuir sua velocidade. Este modelo era o de rotação. Objetos que giram podem facilmente diminuir sua taxa de rotação e, por fim, parar. Quanto ao movimento orbital, exatamente o oposto era verdadeiro. [...] Eles se aceleram por causa da emissão de ondas gravitacionais (GREENSTEIN, 1984, p. 30).

Nesta perspectiva, Jocelyn Bell Burnell, em um artigo de revisão sobre os pulsares, reitera que o comportamento destes objetos se tornou melhor compreendido mediante a

detecção deste pulsar e a diminuição de seu período de rotação: “[...] um sistema vibratório acelera conforme envelhece, enquanto um corpo em rotação desacelera; então, o modelo se torna uma estrela de nêutrons em rotação” (2017, p. 831). Em seu discurso na Conferência Nobel em 1974, Antony Hewish havia apontado que as previsões teóricas expostas por Thomas Gold puderam ser corroboradas observacionalmente mediante a detecção de tal pulsar, pelo fato do astrônomo ter sugerido que

[...] a rotação das estrelas de nêutrons fornecia o mecanismo mais simples e flexível para explicar o movimento do pulsar, e sua previsão de que o período de pulso deveria aumentar com o tempo logo recebeu uma confirmação dramática com a descoberta de um pulsar na Nebulosa do Caranguejo (HEWISH, 1974, p. 179).

Em suma, este conjunto de observações na Supernova de Vela e na Nebulosa do Caranguejo acarretou o relativo abandono da hipótese de que estes objetos celestes poderiam ser anãs brancas vibrantes ou oscilantes. Há quem argumente que a hipótese da anã branca, “[...] estava à beira da impossibilidade para os primeiros pulsares; a descoberta dos pulsares de curto período de uma vez a descartou completamente” (LYNE; GRAHAM-SMITH, 2012). Cabe apontar que, já em meados da década de 1970, na época do discurso de Hewish, cientistas passaram a considerar as previsões elaboradas por Baade e Zwicky na compreensão conceitual sobre os pulsares e as estrelas de nêutrons:

A previsão de que a matéria na densidade quase inimaginável de $10^{18} \text{ kg m}^{-3}$ poderia ser formada mediante compressão gravitacional dentro das estrelas foi feita pela primeira vez por Baade e Zwicky [...] em 1934, logo após a descoberta do nêutron de Chadwick. Nessa densidade, apenas uma pequena fração dos prótons e elétrons originais poderia existir e a matéria consistiria predominantemente de nêutrons. [...] As estrelas que dão origem às estrelas de nêutrons são mais massivas que o Sol, e acredita-se que a formação de estrelas de nêutrons esteja associada a explosões de supernovas (HEWISH, 1974, p. 179).

Após essas confirmações, durante a década de 1970, os astrônomos se mantiveram em procuras sistemáticas por novos pulsares com emissões de radiação eletromagnética em outras faixas do espectro, como inclusive na luz visível. Por exemplo, Antony Hewish relata que “em 1974, com mais de 130 pulsares mapeados nos céus, há evidências contundentes de que o modelo do “farol” da estrela de nêutrons está correto” (HEWISH, 1974, p. 179). Em um recente artigo de revisão sobre o contexto atual das pesquisas sobre os pulsares, Jocelyn Bell Burnell elenca que, numericamente, “conhecemos cerca de 2500 pulsares radioemissores e acreditamos que possa haver até 100,000 em nossa galáxia. Apenas cerca de vinte foram vistos no visível, cem na faixa dos raios-X e duzentos na faixa dos raios gama” (BELL BURNELL, 2017, p. 831). Muitos

questionamentos sobre a natureza e o comportamento dos pulsares ainda não são bem compreendidos, em nível de exemplo, Bell Burnell expõe que “exatamente como eles emitem e como essa perda de energia retarda a rotação ainda não está claro” (2017, p. 832). Apesar disso, a cientista apresenta o entendimento relativamente consolidado da atualidade sobre estes objetos:

Agora, acreditamos que os pulsares são estrelas de nêutrons (isto é, estrelas ricas em nêutrons) formadas a partir do núcleo de uma estrela massiva à medida que sofre uma explosão de supernova no final de sua vida. Eles têm um raio da ordem de 10 km e uma massa de cerca de 10^{30} kg. Assim, sua densidade média é comparável à do núcleo do átomo! Eles parecem ter fortes campos magnéticos de até 10^{10} T, e cada pulsar gira com um período único; os períodos observados até agora variam de milissegundos a cerca de 10 s. Dois feixes de ondas de rádio são produzidos a partir dos polos magnéticos (deslocados) e varrem o céu conforme o pulsar rotaciona. Se a Terra interceptar qualquer um dos feixes, veremos um pulso uma vez a cada rotação (BELL BURNELL, 2017, p. 831).

A hipótese dos sistemas binários, considerada pelos cientistas no processo de compreensão do comportamento dos pulsares, “encontrou aplicação [...] na dinâmica relativística do pulsar binário de Hulse-Taylor identificado em 1974” (LYNE; GRAHAM-SMITH, 2012, p. 6). No artigo publicado pelos autores, argumentam que “[...] pela primeira vez é possível observar as interações gravitacionais de um pulsar e outro objeto massivo” (HULSE; TAYLOR, 1975, p. L51). Esta detecção também consiste em mais uma observação de destaque na história dos pulsares. Segundo Bell Burnell, este sistema binário

[...] provou ser particularmente especial: [...] com um período orbital de menos de 8 horas e velocidades que atingem uma fração significativa da velocidade da luz [...] significa que os efeitos da Relatividade Geral são importantes. [...] Eles conseguiram mostrar que a órbita estava encolhendo 3,5 m por ano, o que é consistente com a emissão de radiação gravitacional prevista pela Relatividade Geral (BELL BURNELL, 2017, p. 832).

Em outras palavras, Hulse e Taylor identificaram a diminuição da órbita do sistema binário PSR 1913+16. Assim, “[...] a razão pela qual eles estão perdendo energia sugere que outra forma de perda de energia, além da eletromagnética, está presente. A outra energia se dissipa como ondas gravitacionais, propostas por Einstein em 1918” (SALAS; SOLÍS, 2006, p. 42).

3.3.4 Descobertas “Quase” Acidentais

Segundo Merton e Barber (2004, p. 196), descobertas serendípicas ocorrem a partir de uma “[...] pesquisa estabelecida para um determinado propósito, alguns dados inesperados [...] e um cientista capaz de ser intrigado”. Cabe salientar que houve determinadas ocasiões em que os pulsares se manifestaram nos radiotelescópios das/os cientistas, mas não foram identificados.

Assim, Bell Burnell aponta que alguns anos antes à detecção dos pulsares, “houve um ou dois quase acidentes no passado” (BELL BURNELL, 2004, p. 1. 11).

Um deles ocorreu em meados da década de 1950, no observatório da Universidade de Chicago. Uma visitante do laboratório sugeriu a presença de uma fonte celeste pulsante na região onde se localiza a Nebulosa do Caranguejo. Todavia, “Elliot Moore, um astrônomo da universidade, rejeitou a afirmação da mulher, dizendo a ela que todas as estrelas parecem piscar” (BRUMFIEL, 2007, p. 975). O relato de Bell Burnell corrobora esta passagem:

A pessoa responsável por organizar as observações do céu noturno apontou o telescópio para a Nebulosa do Caranguejo [...] e particularmente para a estrela de Minkowski, que agora conhecemos como Pulsar do Caranguejo. Uma mulher olhou para o telescópio e disse “Essa estrela está piscando”. O assistente explicou a ela sobre a cintilação. “Sim”, disse ela, “Sou piloto de avião. Eu sei a diferença entre cintilação aleatória e lampejo. Essa estrela está brilhando”. Ninguém acompanhou essa ideia (2004, p. 1.11).

Outra situação semelhante ocorreu em meio a investigações com radiotelescópios na frequência de 408 MHz. Segundo a cientista,

[...] no que eles esperavam ser a última semana de sua pesquisa, estavam tendo problemas com um dos registradores gráficos. Um dia, de madrugada, a caneta do gravador começou a varrer regularmente: bip, bip, bip... O radioastrônomo em questão disse: “Droga” e bateu no gravador e ele parou de “se comportar mal”. Infelizmente ele não escreveu nada no diário de bordo. Se tivesse, eles poderiam ter reivindicado uma descoberta anterior, pois estavam observando o pulsar PSR 0328 + 54” (BELL BURNELL, 2004, p. 1. 11).

O pulsar em questão consistia no Pulsar do Caranguejo, cujos primeiros sinais em rádio foram identificados por Staelin e Reifenstein, em 1968. Inclusive, Hewish menciona em seu discurso no Prêmio Nobel em 1974, que em 1965, enquanto ele e seu aluno Samuel Okoye estavam estudando a emissão de rádio da Nebulosa do Caranguejo, encontraram

[...] um componente cintilante proeminente dentro da nebulosa que era muito pequeno para ser explicado pela radiação síncrotron²⁸ convencional e sugerimos que isso poderia ser o resto da estrela original que havia explodido [...] Esta fonte mais tarde revelou ser ninguém menos que o famoso Pulsar da Nebulosa do Caranguejo (HEWISH, 1974, p. 175).

²⁸ A radiação síncrotron consiste em uma emissão que “[...] ocorre a partir de elétrons que se deslocam a velocidades relativistas em meio a um campo magnético [...] cujo sinal será detectado se o observador estiver em sua linha de visão” (ARAÚJO, 2017, p. 32).

Não somente em ondas de rádio, o Pulsar do Caranguejo também emite seus pulsos em outras faixas do espectro, como na faixa dos raios-X. McNamara (2008, p. 67) aponta uma ocasião em que “[...] astrônomos americanos detectaram o sinal pulsante da Nebulosa do Caranguejo meses antes da descoberta de Hewish e Bell”, mas não direcionaram esforços para sua investigação em mais detalhes.

O astrônomo Gerry Fishman era um dos cientistas envolvidos neste episódio. Em 1965, ingressou na Universidade de Rice, em um grupo de astronomia de raios gama liderado pelo cientista Bob Haymes. Segundo Fishman (1992), uma das observações realizadas pelo grupo consistiu em analisar, por meio de um telescópio transportado por um balão²⁹, o espectro de energia da Nebulosa do Caranguejo que “[...] foi realizada um mês antes das primeiras gravações de pulsares de rádio” (FISHMAN, 1992, p. 310).

É interessante destacar, todavia, que “[...] Fishman e seus colegas sabiam da sugestão de Baade e Zwicky de que a Nebulosa do Caranguejo poderia ser o local de repouso de uma estrela de nêutrons” (MCNAMARA, 2008, p. 76). Apesar disso, Fishman (1992) argumenta que “[...] as estrelas de nêutrons eram consideradas apenas uma invenção da mente dos teóricos. Nós, experimentalistas, tínhamos que nos preocupar com objetos mais concretos que existem e podem ser estudados e observados à vontade” (p. 311). Após as publicações das fontes de rádio pulsantes pelo grupo de Cambridge (HEWISH *et al.*, 1968) e pela detecção de um pulsar em ondas de rádio na Nebulosa do Caranguejo (STAELIN; REIFENSTEIN, 1968), Fishman (1992, p. 311) relata que estas

[...] observações do pulsar de rádio desencadearam uma busca para pulsos em outros comprimentos de onda. Mais ou menos nessa época, nosso grupo da Rice percebeu que tínhamos alguns antigos dados em raios gama da Nebulosa do Caranguejo que poderiam ser analisados para emissão pulsada.

Sabendo disso, no entanto, Fishman relata que “[...] foi aconselhado por um teórico respeitado da Rice, para não perder [...] tempo com essa pesquisa, porque o pulsar quase certamente não emitiria nenhuma radiação acima da faixa visível” (FISHMAN, 1992, p. 311), expectativa que não veio a se concretizar, pois, posteriormente, em fevereiro de 1969, os cientistas Michael Disney, John Cocke e Donald Taylor publicaram o artigo *Discovery of Optical Signals from Pulsar NP 0532*, relatando o achado de pulsos emitidos na faixa da luz visível oriundos da Nebulosa do Caranguejo (COCKE; DISNEY; TAYLOR, 1969).

²⁹ Em inglês, o nome desse telescópio é *balloon-borne telescope*.

3.4 PÓS-DETECÇÃO DOS PULSARES: REFLEXÕES EPISTEMOLÓGICAS

Primeiramente, cabe reiterar que o recorte histórico apresentado sobre o contexto pós-deteção dos pulsares envolve desde o contexto de comunicação pública dos achados para a comunidade astronômica até o momento em que os pulsares foram compreendidos pelas/os astrônomos como estrelas de nêutrons em rotação. A partir destes elementos históricos, elaboramos uma análise epistemológica mediante aspectos da filosofia da ciência de Ludwik Fleck (1896-1961), com reflexões pontuais de Thomas Kuhn (1922-1996). Estes referenciais, entre tantos outros, especificamente oportunizam reflexões sobre o processo de comunicação de uma descoberta científica.

É imprescindível destacar que a construção de um conceito científico, como se ilustra no exemplo dos pulsares, ocorre de maneira coletiva, com contribuições oriundas de inúmeras/os estudiosas/os. Ainda que naturalmente se possa evidenciar a atuação individual das/os cientistas, Thomas Kuhn, por exemplo, destaca que “o conhecimento científico é intrinsecamente produto de um grupo [...] nem sua eficácia peculiar nem a maneira como se desenvolve são compreendidas se não houver referência à natureza especial dos grupos que o produzem” (2011, p. 21). De maneira semelhante, ao evidenciar a estrutura social do universo científico, Fleck (2010, p. 85) aponta que

[...] vemos um trabalho coletivo organizado com divisão de trabalho, colaboração, trabalhos preparativos, assistência técnica, troca de ideias, polêmicas [...] Muitas publicações mostram o nome de vários autores que trabalham em conjunto. [...] Há uma hierarquia científica, grupos, adeptos e adversários, sociedades e congressos, periódicos [...] O portador do saber é um coletivo bem organizado, que supera de longe a capacidade de um indivíduo.

Por certo, desde a deteção dos primeiros pulsares por Jocelyn Bell até os posteriores estudos teóricos e observacionais desenvolvidos para a compreensão do comportamento deste objeto celeste, as/os cientistas envolvidos se encontram em diferentes grupos de pesquisa. Greenstein (1984, p. 16) elenca que o processo de compreensão dos pulsares se estendeu por um tempo considerável, “[...] abrangendo os esforços de cientistas de todo o mundo”. Assim, a atividade científica que se iniciou no observatório em Cambridge rapidamente foi considerada como matéria de investigação por outros grupos.

Considerando a perspectiva de Ludwik Fleck, cientistas e seus grupos de pesquisa se organizam em coletivos de pensamento, que podem ser entendidos como “[...] a comunidade das pessoas que trocam pensamentos ou se encontram numa situação de influência recíproca de

pensamentos” (FLECK, 2010, p. 82). Ele argumenta que a circulação de conhecimentos, como no campo científico, pode ocorrer entre membros de um coletivo de pensamento, o que se caracteriza como circulação intracoletiva, em que acontece o “[...] fortalecimento das formações de pensamento” (FLECK, 2010, p. 158). Neste caso, a circulação de ideias pode ocorrer entre os especialistas de uma área, o que Fleck (2010) compreende como círculo esotérico; ou entre especialistas (o círculo esotérico) e leigos instruídos de um coletivo (o círculo exotérico) – como entre cientistas especializados em campos da Astronomia e futuras/os astrônomas/os, por exemplo. A outra forma de circulação, denominada intercoletiva, consiste na circulação de conhecimento entre coletivos distintos, que geram transformações nos estilos de pensamento correspondentes.

No exemplo dos pulsares, é possível compreender que os cientistas envolvidos no episódio possuem uma ampla formação em Astronomia, com suas devidas especialidades, como Radioastronomia e Astrofísica: estes ramos podem ser entendidos como matizes do estilo de pensamento astronômico. Tais cientistas atuam, embora de maneiras ligeiramente diferentes, no coletivo de pensamento da Astronomia. Neste âmbito, os conhecimentos “peregrinam no interior da comunidade, são lapidados, modificados, reforçados ou suavizados, influenciam outros conhecimentos, conceituações, opiniões e hábitos de pensar” (FLECK, 2010, p. 85-86). Nesta perspectiva, podemos entender o processo de compreensão dos pulsares por meio de uma circulação intracoletiva³⁰, entre o círculo esotérico de astrônomos, em especial, entre radioastrônomos e astrofísicos, fortalecendo possibilidades de pesquisa: por exemplo, a descoberta protagonizada por Jocelyn Bell Burnell permitiu se atentar a existência dos pulsares, estrelas de nêutrons que emitem pulsações regulares na forma de ondas de rádio.

Assim, cabe apontar que as possíveis primeiras sugestões sobre estes objetos astronômicos são aquelas que surgem com as contribuições de Walter Baade e Fritz Zwicky. Ainda, meses antes à descoberta dos pulsares, Franco Pacini havia publicado um modelo sobre estrelas de nêutrons em rotação. Apesar da existência destas previsões iniciais, manifestava-se a ausência de observações direcionadas para estas estrelas; a importante atuação científica na

³⁰ Souza e Martins (2021) apontam que reflexões sobre o conceito fleckiano de *circulação intra/intercoletiva* se apresentam de maneiras distintas em artigos do campo do Ensino de Ciências, não havendo um entendimento consensual. Assim, cabe argumentar a possibilidade de interpretação do processo de compreensão dos pulsares como um trabalho de coletivos de pensamento relativamente próximos, como radioastrônomos e astrofísicos, em uma circulação intercoletiva. Nesta perspectiva, suas especialidades permitiram que as contribuições no entendimento da natureza destes objetos astronômicos ocorressem em perspectivas diferenciadas. Então, seria possível dizer que a descoberta dos pulsares acarretou, de certa forma, uma mudança que reformulou determinadas considerações tanto da Radioastronomia quanto da Astrofísica Estelar. Segundo Fleck (2010, p. 160), “[...] qualquer tráfego intercoletivo de pensamentos traz consigo um deslocamento ou uma alteração nos valores de pensamento [...] uma mudança desses valores em toda a sua escala de possibilidades”.

investigação dos pulsares desenvolvida por Bell Burnell possibilitou que essas previsões fossem retomadas, reinvestigadas e fortalecidas pelos astrônomos. A pesquisa de Gold, posteriormente, baseou-se nos resultados encontrados pelos radioastrônomos de Cambridge, complementando e ampliando as considerações de Pacini.

Em suma, podemos considerar que, a exemplo dos pulsares, conforme Fleck (2010, p. 153), “cada descoberta é, na verdade, a recriação do mundo inteiro de um coletivo de pensamento” – neste caso, a Astronomia. Assim, é possível observar que radioastrônomos, com base em diferentes hipóteses baseadas na Astrofísica Estelar, trabalharam em um âmbito observacional, na investigação de características de pulsares que já eram conhecidos e na procura de outros. Astrofísicos, por sua vez, considerando os resultados encontrados pelos radioastrônomos, trabalharam na construção de modelos que pudessem explicar o comportamento destes objetos celestes. Desta forma, em um mesmo coletivo de pensamento, “[...] há sempre um certo sentimento de solidariedade de pensamento a serviço de uma ideia transpessoal, o que produz uma dependência intelectual recíproca entre os indivíduos” (FLECK, 2010, p. 158). Em outras palavras, as contribuições de cada especialidade, oportunizaram a ampliação do estilo de pensamento astronômico: em termos da especialidade da Radioastronomia, os pulsares consistiram em um importante objeto que poderia ser investigado por meio de radiotelescópios; na Astrofísica, por exemplo, ampliou-se a compreensão sobre a evolução das estrelas.

Esta circulação de conhecimentos, iniciada com a divulgação dos achados encontrados por Jocelyn Bell, aconteceu em diferentes ocasiões, como no seminário apresentado pelo orientador da cientista na Universidade de Cambridge, além da conferência organizada em Nova York. Isso permite “[...] o julgamento sobre a existência ou não existência de um fenômeno, do pesquisador individual para o coletivo exclusivamente legitimado” (FLECK, 2010, p. 172). Por certo, este aspecto ilustra a comunicação de novos conhecimentos entre os pares, como radioastrônomos e astrofísicos, neste caso, como elemento essencial para o desenvolvimento e validação dos conhecimentos científicos. Deste modo, “a sua publicidade e avaliação [de conhecimentos] pela comunidade é o que, via de regra, confere legitimidade e impulsiona o desenvolvimento da ciência” (PEDUZZI; RAICIK, 2020, p. 33).

Para o desenvolvimento efetivo desta circulação de conhecimentos, estes grupos de pesquisa realizaram a publicação de diversos artigos científicos: na discussão histórica, apresentamos características pontuais de determinados trabalhos que foram influentes para a compreensão conceitual dos pulsares. Em comum, estes artigos mostram um aspecto elencado

por Fleck (2010), que diz respeito ao fato de os periódicos demonstrarem, como uma de suas características, que seu conteúdo costuma ser redigido com um caráter provisório, mas com intenções futuras de se transformar em um conhecimento consolidado:

Qualquer trabalho em periódicos contém, na introdução ou na conclusão, tal conexão com a ciência dos manuais como prova de que aspira à entrada no manual e que considera a posição atual como provisória. Esse caráter provisório também pode ser sentido a partir das indicações sobre planos e esperanças [...] Faz parte disso a cautela específica dos trabalhos em periódicos (FLECK, 2010, p. 173).

Atentando-se aos detalhes relativos ao desenvolvimento teórico ocorrido neste contexto, podemos destacar alguns aspectos sobre as primeiras interpretações e hipóteses. Os resultados preliminares das detecções protagonizadas por Jocelyn Bell Burnell, obtidos por radiotelescópios, foram interpretados pelas/os cientistas à luz de concepções teóricas da Astrofísica Estelar: noções sobre anãs brancas, sobre estrelas de nêutrons e sobre sistemas binários foram consideradas. Neste contexto, diferentes sugestões teóricas perante o mesmo fenômeno científico foram consideradas pelos cientistas, o que implica que “os dados, *per se*, não geram teorias” (PEDUZZI; RAICIK, 2020, p. 25). Neste âmbito, ainda que no artigo de Hewish *et al.* (1968) tenha mencionado as estrelas de nêutrons como uma possibilidade remota de explicação destes sinais, sugestões baseadas nas anãs brancas foram predominantemente consideradas pelos astrofísicos. De fato, no âmbito do episódio,

[...] o fluxo de artigos teóricos especulativos que foi liberado pela descoberta nem mesmo seguiu essa ideia [das estrelas de nêutrons] no início, explorando, em vez disso, todas as configurações possíveis dos sistemas binários mais familiares e estrelas anãs brancas (LYNE; GRAHAM-SMITH, 2012, p. 5).

Este ponto sugere que as primeiras interpretações coletivas sobre a natureza dos pulsares foram desenvolvidas a luz de concepções teóricas que eram mais familiares aos cientistas. Assim, Fleck (2010, p. 81) proporciona uma reflexão neste sentido ao apontar que “[...] algo já conhecido influencia a maneira do conhecimento novo; o processo do conhecimento amplia, renova e refresca o sentido do conhecido”. Também, é válido destacar que, mesmo com evidências observacionais que demonstravam divergências em relação à conjectura sobre as anãs brancas, cientistas mantiveram, por um tempo considerável, suas investigações sobre esta hipótese. Esta é uma postura científica cautelosa, que denota o fato de que evidências isoladas não são suficientes para o abandono de hipóteses ou conjecturas.

Cabe ressaltar, ainda, a ausência de menções às contribuições de Baade e Zwicky nos primeiros artigos publicados pelo grupo de Cambridge. Em um primeiro momento, Jocelyn Bell e

seus colegas acabaram por desenvolver conjecturas mais próximas do seu contexto de trabalho, como a hipótese dos *Little Green Men*. Assim, Dick (2013, p. 265) argumenta que “no momento da descoberta, pela própria natureza do problema, às vezes é difícil decidir se uma nova classe de objeto foi encontrada”. Sobre o episódio de detecção dos pulsares, este autor ainda argumenta que

[...] a previsão [de Baade e Zwicky] foi esquecida quando Jocelyn Bell e seu mentor Anthony Hewish se debruçaram sobre o “scruff” em seus gravadores gráficos. Eles contemplaram a hipótese dos “Little Green Men” e outras possibilidades antes de [...] Gold dedilhar os “pulsares” como as estrelas de nêutrons previstas quase meio século antes. No caso dos [...] pulsares, havia um forte elemento de interação social que às vezes é o ingrediente essencial na descoberta (DICK, 2013, p. 195).

Podemos refletir que os teóricos podem realizar previsões científicas que, muitas vezes, não vão desempenhar um papel expressivo no processo inicial de compreensão de determinados fenômenos, especialmente, se estes achados se manifestam de maneira inesperada. Ademais, Kuhn (2018) apresenta considerações sobre o papel das teorias especulativas, apontando que as características de um novo fenômeno podem não ser exatamente aquelas que se apresentavam em previsões científicas – não se esperava, por exemplo, que estrelas de nêutrons pudessem emitir pulsos de rádio em períodos tão precisos – fazendo com que se necessite de uma articulação teórica e observacional por outras/os pesquisadoras/es:

[...] os cientistas costumam desenvolver muitas teorias especulativas e desarticuladas, capazes de indicar o caminho para novas descobertas. Muitas vezes, entretanto, essa descoberta não é exatamente a antecipada pela hipótese especulativa e experimental [ou observacional]. Somente depois de articularmos estreitamente a experiência e a teoria experimental [ou observacional] pode surgir a descoberta (KUHN, 2018, p. 138).

Posteriormente à divulgação dos primeiros pulsares, em relatos retrospectivos, a exemplo do discurso de Antony Hewish no Nobel de Física em 1974, menciona-se a importância das previsões teóricas de Walter Baade, Fritz Zwicky e Franco Pacini, além da contribuição posterior de Thomas Gold. Atualmente, como exposto por Jocelyn Bell Burnell, de modo geral, os pulsares consistem em um fenômeno astronômico consolidado e, utilizando a perspectiva de Fleck (2010), fazem parte da chamada *ciência dos manuais*. Neste sentido, “uma proposição [nos manuais científicos] se apresenta por si só com muito mais certeza e muito mais caráter comprobatório do que na exposição fragmentária dos periódicos” (FLECK, 2010, p. 175). Em nível de exemplo, para ilustrar como os pulsares são mencionados em manuais científicos, o

livro-texto *An Introduction of The Sun and Stars*, sendo Jocelyn Bell Burnell uma das colaboradoras na escrita do material, define que

Um observador na Terra com o equipamento receptor de rádio apropriado pode detectar o sinal produzido por uma estrela de nêutrons devidamente alinhada. O sinal recebido é uma sequência de pulsos regulares, um conjunto de rajadas de emissão de rádio igualmente espaçadas [...] Essas estrelas de nêutrons são chamadas de pulsares; o nome é uma abreviação para fonte de rádio pulsante (BELL BURNELL *et al.*, 2004, p. 254).

Em relação aos trabalhos publicados em âmbito observacional, é válido evidenciar que “[...] um único experimento [ou uma única observação] comprova muito pouco e que seu resultado não tem um caráter impositivo” (FLECK, 2010, p. 147). No âmbito da discussão histórica, apresentamos alguns exemplos de trabalhos observacionais que contribuíram para a compreensão da natureza dos pulsares. Desse modo, é um arcabouço de observações, desenvolvidos por vários grupos de pesquisa, que concederam respaldo para a definição conceitual sobre os pulsares. Assim, construir a compreensão de um conceito científico não ocorre

[...] por nenhum experimento isolado, mas apenas por uma experiência ampla, um estilo de pensamento particular, constituído a partir de um saber prévio, de muitos experimentos bem e malsucedidos, de muita prática e educação e, o que é mais importante em termos epistemológicos, de muitas adaptações e transformações conceituais (FLECK, 2010, p. 147-148).

Em suma, as reflexões de Kuhn (2011) e Fleck (2010) dialogam no sentido de demonstrar o caráter coletivo e a extensão temporal de uma descoberta científica. Por conseguinte, “para tornar uma descoberta analisável [...] temos que adotar um ponto de vista social, isto é, considerá-la como acontecimento social” (FLECK, 2010, p. 124). Sobre os pulsares, observamos que sua descoberta ocorreu mediante a atuação decisiva de Jocelyn Bell Burnell, cujo trabalho possibilitou identificar os primeiros sinais pulsados; mas o prosseguimento da pesquisa se estendeu para um contexto de definição de suas características e seu comportamento que envolveu o trabalho de especialistas em Astronomia, a exemplo de radioastrônomos e astrofísicos. Isto demonstra que, como elencado por Thomas Kuhn

[...] a descoberta de um novo tipo de fenômeno é necessariamente um processo complexo, que envolve reconhecer tanto *que* algo ocorre quanto *o que* ele é. A observação e conceituação, o fato e assimilação do fato encontram-se inseparavelmente associados na descoberta da novidade científica. É inevitável que esse processo se estenda no tempo e, às vezes, envolva várias pessoas (KUHN, 2011, p. 189, grifo do autor).

Outro aspecto debatido por Pires e Peduzzi (2022), consiste na presença da serendipidade neste episódio. Bell Burnell (2004, p. 1.11) argumenta que, em meio a suas pesquisas, “[...] seguiu coisas que poderia muito bem ter ignorado - um mero quarto de polegada em 120 metros”. Este ponto considerado pela cientista sumariza um aspecto relevante para que descobertas acidentais possam ocorrer: “um fator importante e recorrente [...] não é apenas fazer as observações certas na hora certa, mas reconhecer o que você viu” (MCNAMARA, 2008, p. 67), mesmo que este reconhecimento ocorra de forma preliminar. Em outras palavras,

[...] as ocorrências “inesperadas” [...] são passivamente vistas por outros cientistas; elas são ativamente notadas apenas pelo descobridor [...] isto é, pelo cientista que estudou cuidadosamente seu problema por um longo tempo e está, portanto, pronto - se ele puder criar algumas ideias antecipatórias - para tirar proveito da ocorrência inesperada (MERTON; BARBER, 2004, p. 196–197).

Além disso, observamos a existência de situações, como ilustrado nas observações do Pulsar de Caranguejo que antecederam o trabalho de Jocelyn Bell, em que cientistas deliberadamente podem ignorar ou desconsiderar um achado diferenciado, tratando-os como meros erros. Neste sentido, descobertas casuais apenas se desenvolvem a partir do “[...] envolvimento que [a/o cientista] empreenderá para compreender o novo fato. O investigador que vê apenas o que espera e descarta os resultados inesperados como sendo ‘errados’ não fará nenhuma descoberta” (RAICIK; PEDUZZI, 2016, p. 171).

3.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em seu livro *Clocks in the Sky: The Story of Pulsars*, McNamara (2008, p. 2) argumenta que “a descoberta dos pulsares realmente ocorreu em momentos distintos: eles foram previstos, depois detectados e, então, reconhecidos”. Nesta perspectiva, procuramos abordar elementos envolvidos no processo de reconhecimento destas estrelas, no sentido de se compreender como cientistas atuaram no processo de entendimento das primeiras características dos pulsares. É notório que este contexto se iniciou com o trabalho de Jocelyn Bell, Antony Hewish e demais integrantes do grupo de radioastrônomos da Universidade de Cambridge, que apresentaram as primeiras explicações sobre esses sinais, ainda de maneira preliminar (PIRES; PEDUZZI, 2022). Além disso, dando sequência a este primeiro momento, ressaltamos aspectos do trabalho coletivo de vários grupos de pesquisa, que objetivavam compreender este novo fenômeno astronômico. Além disso, de maneira a compreender este fenômeno astronômico, ressaltamos aspectos da atuação coletiva de vários cientistas e grupos de pesquisa com base em reflexões de Thomas

Kuhn e Ludwik Fleck, que oportunizaram evidenciar que “[...] todo conhecimento é uma atividade social, não apenas por cooperação, mas porque este é sempre baseado em conhecimento e habilidades circuladas de ideias anteriores” (SOUZA; AIRES, 2020, p. 318).

O episódio histórico abordado proporciona questionar a visão empírico-indutivista de ciência que se faz presente no âmbito da educação científica. Esta visão apresenta uma “[...] interpretação limitada acerca da construção do conhecimento [que] traz consigo a presunção de [...] evidências independentes de pressupostos teóricos” (RAIČIK, 2019, p. 53) e que não considera “[...] o papel essencial das hipóteses como orientadoras da investigação, assim como dos corpos coerentes de conhecimentos [...] disponíveis, que orientam todo o processo” (GIL PÉREZ *et al.*, 2001, p. 129). Diferente disso, a análise epistemológica do contexto de pós-deteção dos pulsares ilustra a estreita articulação entre as concepções teóricas e as evidências observacionais elaboradas pelas/os cientistas, além de apontarem a relevância das concepções teóricas no direcionamento das observações.

Outro aspecto que vale ser ressaltado diz respeito à consideração dos *valores* na ciência, elencados pelo ensaio *Objetividade, Juízo de Valor e Escolha de Teoria* de Thomas Kuhn (2011). No âmbito deste episódio, dentre os valores expostos por Kuhn, é perceptível a *fecundidade* como um possível valor epistêmico que se apresenta no episódio histórico discutido neste artigo, pelo fato de que se observa o empenho de cientistas, tanto em âmbito teórico quanto observacional, para explorar novas possibilidades sobre um novo fenômeno. Nesta perspectiva, a citação de Greenstein (1984, p. 28) reforça esta constatação, por elencar que “[...] no espaço de apenas alguns meses, mais pesquisas foram feitas sobre estrelas de nêutrons do que em todas as décadas desde que foram originalmente propostas”. De fato, inúmeras pesquisas foram publicadas durante o final dos anos 1960 e durante a década de 1970, que contribuíram teórica e observacionalmente para a compreensão deste fenômeno. Ainda sobre este tema, seria profícuo investigar a presença de diferentes valores – epistêmicos e não epistêmicos – envolvidos na aceitação e na rejeição das diversas conjecturas consideradas pelas/os cientistas, desde a hipótese dos *Little Green Men* até aos diferentes modelos teóricos construídos para a compreensão deste fenômeno. Tal discussão é relevante, pois, estes valores “[...] dependem grandemente do cientista que os adota [...] A maneira como certo cientista interpreta cada um desses critérios também depende de seu contexto, não apenas epistêmico, mas também social, cultural, além de suas subjetividades” (CORDEIRO; PEDUZZI, 2014a, p. 3).

Igualmente importante, na perspectiva de novos estudos, seria investigar a importância das predições científicas no desenvolvimento da ciência, mediante o exemplo histórico das estrelas de nêutrons. Neste sentido, é válido compreender as origens das predições relativas às

estrelas de nêutrons, como o importante trabalho desenvolvido por Walter Baade e Fritz Zwicky, que sugeriram, décadas antes da detecção destes objetos, que as estrelas de nêutrons seriam o resultado das explosões de supernovas. Um exemplo de pesquisa semelhante, nesta perspectiva, encontra-se no artigo de Almeida (2020), que desenvolveu uma investigação histórica sobre as pesquisas iniciais que acarretaram na construção do conceito de buracos negros, outro importante conceito no âmbito da evolução estelar.

Não obstante, problematizando as categorias de Fleck e de Kuhn, podemos nos questionar: Quem veio a ocupar o coletivo de pensamento da Astronomia, responsável por compreender os pulsares? Por quais cientistas a comunidade astronômica era composta naquela época? Assim, é inegável destacar a presença expressiva de homens em meio à compreensão desse novo fenômeno da Astronomia. Este ponto apresenta consonância com uma citação de Jocelyn Bell Burnell em uma entrevista para o documentário *Beautiful Minds* da BBC: Segundo ela, “a ciência foi nomeada, desenvolvida e interpretada por homens brancos durante décadas” (BELL BURNELL, 2010). Este aspecto reforça a necessidade de estudos históricos que evidenciem mulheres que, em meio a dificuldades estruturais, puderam alcançar posições de destaque no campo científico e acadêmico (LIMA, 2015). Em meio a essa escrita, no entanto, é crucial atentar-se ao fato de que ao se evidenciar estes exemplos, que “não se caia na armadilha de [...] pintá-las como exceções [...] de que apenas mulheres muito especiais podem empreender a atividade científica” (CORDEIRO; PEDUZZI, 2014b, p. 558–559).

Por meio dessas narrativas históricas sobre mulheres cientistas, além de se ressaltar suas contribuições à ciência, devemos problematizar que lugares elas ocuparam e ocupam no desenvolvimento científico e em sua história (SCHIEBINGER, 2001). Desse modo, é essencial elencar “[...] os percalços existentes na sua trajetória; a conquista do espaço acadêmico; os prêmios que por ventura tenha conquistado” (LIMA, 2015, p. 54). Tendo em vista estes aspectos, pretendemos investigar, posteriormente, elementos da trajetória acadêmica de Jocelyn Bell Burnell, com base em referenciais do campo de Gênero e Ciências, de maneira a evidenciar determinadas problemáticas vivenciadas por mulheres no acesso e permanência nas carreiras científicas.

Considerando o contexto de ensino de Física e de Astronomia, podemos evidenciar que os elementos históricos sobre os pulsares possibilitam refletir sobre diversos aspectos relativos à Natureza da Ciência, como o aspecto comunitário da ciência, o papel da serendipidade e a complexidade de uma descoberta científica. Além disso, estes aspectos históricos também apresentam potencialidades em discutir “[...] temáticas presentes nos nossos dias, como as

próprias questões de gênero na ciência, relações de poder e de como a ciência é, de fato, uma construção humana e colaborativa” (VIEIRA; MASSONI; ALVES-BRITO, 2021, p. e20210028-10).

REFERÊNCIAS

ABD-EL-KHALICK, F.; LEDERMAN, N. G. The influence of history of science courses on students' views of nature of science. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 37, n. 10, p. 1057–1095, 2000.

ALMEIDA, C. R. A pré-história dos buracos negros. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 42, p. e20200197, 2020.

ALMEIDA, C. R. Buracos Negros: mais de 100 anos de história. **Cadernos de Astronomia**, v. 2, n. 1, p. 93–105, 2021.

ARAÚJO, M. L. **Simuladores experimentais de radiotelescópios para o ensino de astronomia no nível médio**. 2017. Feira de Santana. 253 p. Dissertação (Mestrado em Ensino de Astronomia) - Universidade Estadual de Feira de Santana.

BAADE, W.; ZWICKY, F. Cosmic Rays from Super-Novae. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 20, n. 5, p. 259–263, 1934.

BAGDONAS, A.; ZANETIC, J.; GURGEL, I. Quem descobriu a expansão do universo? Disputas de prioridade como forma de ensinar cosmologia com uso da história e filosofia da ciência. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 39, n. 2, p. e2602, 2017.

BARTUSIAK, M. In Good Company: The protagonist of the neutron star story. **Natural History**, v. 125, n. 8, 2017.

BELL BURNELL, J. Petit Four. **Annals of the New York Academy of Sciences**, v. 302, n. 1 Eighth Texas, p. 685–689, 1977.

BELL BURNELL, J. The Discovery of Pulsars. In: KELLERMANN, K.; SHEETS, B. (Ed.). **Serendipitous Discoveries in Radio Astronomy**. Green Bank: National Radio Astronomy Observatory, 1983.

BELL BURNELL, J. Pliers, pulsars and extreme physics. **Astronomy and Geophysics**, v. 45, n. 1, p. 1.07-1.11, 2004.

BELL BURNELL, J. The past, present and future of pulsars. **Nature Astronomy**, v. 1, n. 12, p. 831–834, 2017.

BELL, S. J. **The measurement of radio source diameters using a diffraction method**. 1969. Cambridge. 259 p. Thesis (Doctorate in Philosophy) - University of Cambridge.

BELL BURNELL, J. *et al.* **An Introduction to the Sun and Stars**. Cambridge: Cambridge University Press, 2004.

BRUMFIEL, G. Air force had early warning of pulsars. **Nature**, v. 448, n. 7157, p. 974–975, 2007.

CELLARD, A. A análise documental. In: POUPART, J. *et al.* (Ed.). **A Pesquisa Qualitativa: enfoques epistemológicos e metodológicos**. 3. ed. Petrópolis: Editora Vozes, 2012. p. 295–315.

COCKE, W. J.; DISNEY, M. J.; TAYLOR, D. J. Discovery of Optical Signals from Pulsar NP 0532. **Nature**, v. 221, n. 5180, p. 525–527, 1969.

COMELLA, J. M. *et al.* Crab Nebula Pulsar NP 0532. **Nature**, v. 221, n. 5179, p. 453–454, 1969.

CORDEIRO, M. D.; PEDUZZI, L. O. Q. Contribuições Axiológicas para a Discussão da Essência do Conhecimento na Educação em Física. In: Encontro de Pesquisa em Ensino de Física, 15., Maresias. **Anais...** Maresias: Sociedade Brasileira de Física, 2014a.

CORDEIRO, M. D.; PEDUZZI, L. O. Q. Entre os transurânicos e a fissão nuclear: um exemplo do papel da interdisciplinaridade em uma descoberta científica. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 31, n. 3, p. 536–563, 2014b.

DICK, S. J. **Discovery and Classification in Astronomy: Controversy and Consensus**. Cambridge: Cambridge University Press, 2013.

FISHMAN, G. J. Gamma Ray Observations of the Crab Pulsar — Past, Present, Future. **Annals of the New York Academy of Sciences**, v. 655, n. 1, p. 309–318, 1992.

FLECK, L. **Gênese e Desenvolvimento de um Fato Científico**. Belo Horizonte: Fabrefactum, 2010.

GARCÍA-POSADA, A. M. Vueltas por el espacio: Reflexiones arquitectónicas sobre escalas y mensajes. In: **Investigaciones Departamentos de Proyectos Arquitectónicos**. Sevilla: RU Books, 2017. p. 265–277.

GIL PÉREZ, D. *et al.* Para uma imagem não deformada do trabalho científico. **Ciência & Educação**, v. 7, n. 2, p. 125–153, 2001.

GOLD, T. Rotating Neutron Stars as the Origin of the Pulsating Radio Sources. **Nature**, v. 218, n. 5143, p. 731–732, 1968.

GREENSTEIN, G. The Discovery of Pulsars. In: GREENSTEIN, G. (Ed.). **Frozen Star**. London: Freundlich Books, 1984. p. 13–31.

HAWKING, S. **Uma breve história do tempo**. Rio de Janeiro: Intrínseca, 2015.

HEWISH, A. *et al.* Observation of a Rapidly Pulsating Radio Source. **Nature**, v. 217, n. 5130, p. 709–713, 1968.

HEWISH, A. The Discovery of Pulsars. In: SMITH, F.G.; HEWISH, A. (Ed.). **Pulsating Stars: A Nature Reprint**. New York: Springer Science, 1968.

HEWISH, A. Pulsars and High Density Physics. **Nobel Lectures**, p. 174–183, 1974.

HULSE, R. A.; TAYLOR, J. H. Discovery of a pulsar in a binary system. **The Astrophysical Journal**, v. 195, n. 9, p. L51–L53, 1975.

JAMES, C. R. Pulsars at 50: Still going strong. **Astronomy**, v. 45, n. 5, 2017.

KUHN, T. S. **A Tensão Essencial**: estudos selecionados sobre tradição e mudança científica. São Paulo: Editora Unesp, 2011.

KUHN, T. S. **A Estrutura das Revoluções Científicas**. 13. ed. São Paulo: Perspectiva, 2018.

LARGE, M. I.; VAUGHAN, A. E.; MILLS, B. Y. A Pulsar Supernova Association? **Nature**, v. 220, n. 5165, p. 340–341, 1968.

LAVIOLETTE, P. A. **Decoding the Message of the Pulsars**: Intelligent Communication from the Galaxy. Rochester: Bear & Company, 2006.

LIMA, I. P. C. Lise Meitner e a fissão nuclear: uma visão não eurocêntrica da ciência. **Revista Gênero**, v. 16, n. 1, p. 51–65, 2015.

LOVELACE, R. V. E.; TYLER, G. L. On the Discovery of the Period of the Crab Nebula Pulsar. **The Observatory**, v. 132, n. 1228, p. 186–188, 2012.

LYNE, A.; GRAHAM-SMITH, F. **Pulsar Astronomy**. 4. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2012.

MCCOMAS, W. F. Seeking historical examples to illustrate key aspects of the nature of science. **Science and Education**, v. 17, n. 2–3, p. 249–263, 2008.

MCGRAYNE, S. B. **Nobel Prize Women in Science**: Their Lives, Struggles and Momentous Discoveries. 2. ed. Washington: Joseph Henry Press, 1998.

MCNAMARA, G. **Clocks in the Sky**: The Story of Pulsars. New York: Praxis, 2008.

MELTZER, D. W.; THORNE, K. S. Normal Modes of Radial Pulsation of Stars at the End Point of Thermonuclear Evolution. **Astrophysical Journal**, v. 145, p. 514–543, 1966.

MERTON, R. K.; BARBER, E. **The Travels and Adventures of Serendipity**. Princeton: Princeton University Press, 2004.

MOURA, B. A. O que é Natureza da Ciência e qual sua relação com a História e Filosofia da Ciência. **Revista Brasileira de História da Ciência**, v. 7, n. 1, p. 32–46, 2014.

PACINI, F. Energy Emission from a Neutron Star. **Nature**, v. 216, n. 5115, p. 567–568, 1967.

PACINI, F. Rotating Neutron Stars, Pulsars and Supernova Remnants. **Nature**, v. 219, n. 5150, p. 145–146, 1968.

PACINI, F.; SALPETER, E. E. Some Models for Pulsed Radio Sources. **Nature**, v. 218, n. 5143, p. 733–734, 1968.

PEDUZZI, L. O. Q.; RAICIK, A. C. Sobre a Natureza da Ciência: asserções comentadas para uma articulação com a história da ciência. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 25, n. 2, p. 19–55, 2020.

PILKINGTON, J. D. H. *et al.* Observations of Some Further Pulsed Radio Sources. **Nature**, v. 218, n. 5137, p. 126–129, 1968.

PIRES, L. N.; PEDUZZI, L. O. Q. Little Green Men: o episódio de detecção dos pulsares e o protagonismo de Jocelyn Bell Burnell. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 27, n. 1, p. 108–136, 2022.

RAICIK, A. C. **Experimentos exploratórios e experimentos cruciais no âmbito de uma controvérsia científica**: o caso de Galvani e Volta e suas implicações para o ensino. 2019. Florianópolis. 330 p. Tese (Doutorado em Educação Científica e Tecnológica) - Universidade Federal de Santa Catarina.

RAICIK, A. C.; PEDUZZI, L. O. Q. A estrutura conceitual e epistemológica de uma descoberta científica: reflexões para o ensino de ciências. **Alexandria: Revista de Educação em Ciência e Tecnologia**, v. 9, n. 2, p. 149–176, 2016.

RICHARDS, D. W.; COMELLA, J. M. The Period of Pulsar NP 0532. **Nature**, v. 222, n. 5193, p. 551–552, 1969.

SAGAN, C. **O mundo assombrado pelos demônios**: a ciência vista como uma vela no escuro. 24ª. Reimpressão. São Paulo: Companhia das Letras, 2006.

SALAS, P.; SOLÍS, M. A. Estrellas de neutrones. **Revista Mexicana de Física**, v. 52, n. 1, p. 37–46, 2006.

SCHIEBINGER, L. **O feminismo mudou a ciência?** Bauru: EDUSC, 2001.

SMITH, F. G. The Pulsating Stars. In: SMITH, F.G.; HEWISH, A. (Ed.). **Pulsating Stars**: A Nature Reprint. New York: Springer Science, 1968.

SMITH, F. G.; HEWISH, A. **Pulsating Stars**: A Nature Reprint. New York: Springer Science, 1968.

SOUZA, B. A.; MARTINS, A. F. P. Um panorama da epistemologia de Ludwik Fleck em periódicos brasileiros da área de pesquisa em ensino de ciências. **Revista Insignare Scientia**, v. 4, n. 6, p. 84-105, 2021.

SOUZA, I. L. N.; AIRES, J. A. A construção coletiva sobre as séries infinitas por Leibniz e Newton. **Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia**, v. 13, n. 3, p. 300–323, 2020.

STAELIN, D. H.; REIFENSTEIN, E. C. Pulsating Radio Sources near the Crab Nebula. **Science**, v. 162, n. 3861, p. 1481–1483, 1968.

VIEIRA, P. C.; MASSONI, N. T.; ALVES-BRITO, A. O papel de Cecília Payne na determinação da composição estelar. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 43, p. e20210028, 2021.

Artigo 4

LOOK DEAR, YOU'VE MADE A DISCOVERY: ASPECTOS DA VIDA E DA TRAJETÓRIA DA ASTRÔNOMA JOCELYN BELL BURNELL

*“The girls got sent to the domestic science room and the boys to the science lab. I
protested — unsuccessfully”.*

Jocelyn Bell Burnell³¹

³¹ Tradução: “*As meninas foram enviadas para a sala de ciências domésticas e os meninos para o laboratório de ciências. Eu protestei - sem sucesso*”. Referência: BELL BURNELL, J. Reflections on women in science -- diversity and discomfort: Jocelyn Bell Burnell at TEDxStormont. 2013. (14m41s). Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=jp7amRdr30Y>. Acesso em: 20 set. 2021.

4 LOOK DEAR, YOU'VE MADE A DISCOVERY: ASPECTOS DA VIDA E DA TRAJETÓRIA DA ASTRÔNOMA JOCELYN BELL BURNELL³²

RESUMO: Os Estudos de Gênero e Ciências, além de denunciarem a existência de uma perspectiva androcêntrica nas práticas e nos resultados científicos, apontam uma omissão na escrita da História da Ciência sobre contribuições e trajetórias de mulheres cientistas. No âmbito da Educação Científica, estas narrativas são importantes no sentido de que docentes e discentes reconheçam a identidade das/os personagens que construíram a ciência ao longo dos tempos, além da importância da diversidade de pessoas no empreendimento científico. Deste modo, neste artigo, de maneira a contribuir com pesquisas recentes do Ensino de Física e de Astronomia que discorrem sobre exemplos de mulheres cientistas do Século XX, pretendemos discorrer determinados aspectos da trajetória acadêmica da cientista britânica Jocelyn Bell Burnell, reconhecida por sua atuação no processo de descoberta dos pulsares: um dos eventos científicos mais importantes da História da Astronomia. Para o desenvolvimento deste estudo biográfico, consideramos relatos elaborados pela cientista em artigos e em entrevistas, bem como publicações de historiadoras/es sobre a história dos pulsares. Com base em referenciais do campo de Gênero e Ciências, como Sharon McGrayne, Londa Schiebinger, Margaret Rossiter e Ilana Löwy, intencionamos evidenciar aspectos da carreira da astrônoma que possibilitam refletir sobre fatores que favorecem a entrada de mulheres na ciência, bem como dificuldades estruturais encontradas por elas na permanência no campo científico e acadêmico.

Palavras-Chave: História da Ciência; História de Mulheres Cientistas; Mulheres na Ciência; Gênero e Ciências; Pulsares; Jocelyn Bell Burnell.

4.1 INTRODUÇÃO

Ao investigar o campo de História e Filosofia da Ciência, os Estudos Feministas permitiram denunciar a desconsideração do elemento de gênero nas pesquisas da área, além de identificar a ausência sobre contribuições e trajetórias de mulheres na historiografia tradicional da Ciência e da Tecnologia. O aprofundamento de investigações no campo de História e Filosofia das Mulheres na Ciência apresentou sua consolidação nas décadas de 1970 e 1980, “[...] em meio

³² Um recorte deste artigo foi aceito e apresentado no *XIII Simpósio Nacional de Ensino de Física*, com o título “Jocelyn Bell Burnell e os Pulsares: Trajetória e Contribuições para a Astronomia Moderna”. Disponível em: <https://sec.sbfisica.org.br/eventos/snef/xxiv/sys/resumos/T0801-1.pdf>. Acesso em: 18 abr. 2022.

a um movimento das mulheres em maturação e numa época em que cada vez mais feministas assumiam posições de poder na história e na ciência” (SCHIEBINGER, 2001, p. 58). Desta maneira, a reinvestigação da História da Ciência sob uma perspectiva de gênero implicou em se evidenciar exemplos de mulheres que contribuíram na produção de conhecimento científico, além de se analisar o viés sexista presente nas práticas e nos resultados da ciência. Por meio da crítica feminista inseridas nos debates da História, Filosofia e Sociologia da Ciência, colocou-se em debate “[...] a ideia de uma ciência androcêntrica, ou seja, marcadamente masculina, no protagonismo, nos discursos, nas práticas científicas, epistemologicamente” (CABRAL, 2020, p. 192). Deste modo, escrever

[...] uma história das ciências em que as mulheres sejam verdadeiros agentes históricos significa pensar como as relações de gênero enquanto relação de poder perpassou as vivências de mulheres cientistas, a constituição do campo científico, e o entendimento da própria ciência (SANTANA, 2021, p. 40).

No âmbito da educação científica, justifica-se a necessidade dessas discussões pela ainda existente baixa representatividade feminina: por exemplo, “apenas cerca de 20% das graduações em Física nos Estados Unidos são de mulheres, um número que estagnou durante um tempo em que a Biologia, a Química, e a Matemática obtiveram grandes ganhos” (BLUE; TRAXLER; COCHRAN, 2019, p. 616). A ciência brasileira igualmente não apresenta uma considerável diversidade, principalmente na ascensão na carreira acadêmica, ainda que “[...] algum esforço tenha sido feito [...] para aumentar o número de pessoas sub-representadas no meio acadêmico nos últimos 15 anos” (ANTENEODO *et al.*, 2020, p. 010136–9).

De forma a problematizar esta conjuntura, consideramos a importância da redação da história dessas personagens para a comunidade escolar, a fim de que docentes e discentes reconheçam a relevância da diversidade de pessoas no empreendimento científico, uma vez que, em sala de aula, majoritariamente, se apresenta um tratamento desproporcional entre mulheres e homens como exemplos de cientistas (SEPULVEDA; SILVA, 2021), o que implica em uma “[...] falta de representatividade nos materiais que são acessíveis às jovens estudantes, que também pode justificar o distanciamento dessas meninas e mulheres das carreiras científicas” (LIMA, 2019, p. 36). Assim, nestas narrativas, não somente devemos elencar suas contribuições à ciência, mas também evidenciar desafios encontrados pelas mulheres em ingressar, permanecer e ascender na vida acadêmica (LARSEN, 1995). Cabe apontar, ainda, que estes desafios não se manifestam somente em ambientes científicos:

A problemática de gênero nas ciências vai além do ambiente das instituições [...] e inclui questões de família, casamento, profissionalização e condições econômicas, porque

tudo isso permeia a trajetória dos [e das] cientistas e é principalmente [...] [nisso] que se difere a presença de homens e mulheres nas ciências (SOMBRIO, 2014, p. 3).

Nesta perspectiva, recentes pesquisas (HEERDT, 2014; LIMA, 2019; SEPULVEDA; SILVA, 2021) apontam que a inserção destes aspectos poderia ser desenvolvida em meio a discussões sobre a Natureza da Ciência (NdC). Em seu clássico artigo, Matthews (1995, p. 191) afirma que o feminismo consiste em uma das temáticas que poderia ser mais exploradas em discussões na interface do Ensino de Ciências e da Filosofia da Ciência, apontando “[...] o fato de haver uma tendência machista na própria epistemologia da ciência ocidental”. Explicitar estas reflexões é de suma importância, pois “[...] não são autoevidentes, uma vez que as questões de gênero são naturalizadas em nossa sociedade” (HEERDT, 2014, p. 79). Embora estudos sobre a abordagem didática da História e da Filosofia da Ciência se preocupem em articular características de NdC considerando elementos culturais, sociais e políticos, Lima (2019, p. 18) questiona onde estariam

[...] os aspectos relacionados à identidade das personagens desse empreendimento? Precisamente, nessa preocupação [da NdC] está incluída a importância de compreender sobre a presença das mulheres no desenvolvimento da física [e das demais ciências]?

Procurando contemplar esses questionamentos, este trabalho se alinha a uma gama de recentes pesquisas, no âmbito do ensino de Física e de Astronomia, sobre trajetórias de mulheres cientistas do Século XX, como “[...] protagonistas na consolidação de um campo, na criação e padronização de uma nova técnica, na produção de evidências empíricas decisivas e de grande impacto” (SEPULVEDA; SILVA, 2021, p. 94), como os de Lise Meitner (LIMA, 2015), Chien Shiung Wu (MAIA FILHO; SILVA, 2019), Alice Ball (SANTANA; PEREIRA, 2020), Cecília Payne-Gaposchin (VIEIRA; MASSONI; ALVES-BRITO, 2021) e Maria Goeppert-Mayer (PIRES; SANTOS; DAMASIO, 2021). Assim, este artigo tem por objetivo discutir aspectos da trajetória acadêmica da astrônoma britânica Jocelyn Bell Burnell com base em referenciais do campo de Gênero e Ciências, também intencionando aprofundar e apresentar outros elementos da vida da cientista, que foram brevemente indicados em Pires e Peduzzi (2021).

Enquanto pesquisadora de doutorado na Universidade de Cambridge, Bell Burnell protagonizou uma das mais importantes descobertas da Astronomia do Século XX: a identificação dos pulsares. Assim, considerando a potencialidade da abordagem no contexto educacional de aspectos relativos aos pulsares (CORDEIRO, 2017), pretendemos responder a seguinte pergunta de pesquisa: *“Que aspectos da vida e da trajetória acadêmica da astrônoma Jocelyn Bell*

Burnell podem contribuir para a problematização de fatores e de desafios relacionados ao ingresso, ascensão e permanência de mulheres no meio científico e acadêmico?”.

Com base em pressupostos metodológicos da Análise Documental (CELLARD, 2012), para a escrita deste estudo biográfico, consideramos relatos publicados pela cientista em artigos e em entrevistas (BELL BURNELL, 1977; 1996; 2000; 2004a; 2004b; 2009; 2010; 2017; 2018), além de fontes secundárias que discorrem sobre a trajetória da astrônoma (WADE, 1975; MCNAMARA, 2008; BARTUSIAK, 2017; MERALI, 2018; COMBES; DURRET, 2020). De maneira a evidenciar elementos de gênero por meio do exemplo de Bell Burnell, articulamos a discussão biográfica com referenciais feministas do campo de Gênero e Ciências, a exemplo de Sharon McGrayne, Londa Schiebinger, Margaret Rossiter e Ilana Löwy.

4.2 ELEMENTOS DA VIDA E TRAJETÓRIA DE BELL BURNELL

4.2.1 Susan Jocelyn Bell

Susan Jocelyn Bell nasceu na cidade de Belfast, na Irlanda do Norte, em 15 de julho de 1943. Bell era a mais velha dentre seus irmãos, um menino e duas meninas. Seu pai, George Philip Bell, era arquiteto, embora temporariamente durante a Segunda Guerra Mundial tenha trabalhado como fazendeiro. A cientista relata que “[...] embora meu pai tenha voltado à arquitetura muito rapidamente no final da guerra, a terra ainda estava sendo cultivada, e eu me lembro de ajudar na produção de feno” (BELL BURNELL, 2010, p. 3). Sua mãe se chamava, quando solteira, Margaret Allison Kennedy: diferentemente de seu pai, a mãe de Bell

[...] havia perdido o ensino superior porque, na época em que ela estava em idade universitária, se encontravam na Grande Depressão. [...] Então seus pais decidiram educar seu irmão mais novo, não ela. Portanto, ela queria muito que suas três filhas tivessem uma educação igual à do irmão. Isso era importante para ela (BELL BURNELL, 2000, p. 5).

Como tradição de família, “aos domingos eles compareciam às reuniões dos *Quakers* na cidade e, nos dias de semana, as crianças iam à escola na aldeia vizinha” (MCGRAYNE, 1998, p. 358). Jocelyn Bell Burnell consiste em um dos exemplos de cientistas, como o químico John Dalton (1766-1844) e o astrônomo Arthur Eddington (1882-1944), que compartilhavam dos pressupostos religiosos do Quakerismo. No caso de Bell, sua família vivenciava o contexto *The Troubles*, sendo “[...] particularmente sensível às tensões religiosas dividindo protestantes e católicos na Irlanda do Norte” (MCGRAYNE, 1998, p. 361).

Segundo a cientista, sua caminhada acadêmica começou a partir de um equívoco: aos onze anos, Bell participou de um exame britânico chamado *Eleven-Plus*, uma espécie de avaliação para direcionar estudantes para vocações específicas, que “[...] dividia irrevogavelmente as crianças entre aquelas com direito a uma educação secundária preparatória para a faculdade e aquelas destinadas a vários graus de treinamento vocacional” (MCGRAYNE, 1998, p. 358):

[...] se você passasse neste exame, você iria a uma escola para realizar disciplinas acadêmicas; se você reprovasse nesse exame, iria para uma escola onde aprenderia carpintaria e serralharia se fosse menino, e secretariado e culinária se fosse menina (BELL BURNELL, 2000, p. 10).

A cientista relata, no entanto, que reprovou neste exame: “comecei minha vida acadêmica reprovando no equivalente ao *Eleven-Plus* na Irlanda do Norte, o que deve ter assustado muito meus pais. Eles decidiram que eu deveria ir para um colégio interno” (BELL BURNELL, 1996, p. 183). Esta decisão “[...] desencadeou um intenso debate familiar [...] seria injusto colocar um filho em um internato e deixar os outros em escolas inferiores, no interior” (MCGRAYNE, 1998, p. 361). Assim, até ingressar no internato, Jocelyn Bell estudou em uma escola de menor porte durante dois anos. Naquela escola, entretanto, existiam aulas de “ciências domésticas”, como culinária e costura para meninas, e os meninos, por sua vez, eram direcionados ao laboratório de ciências. Bell Burnell (2000, p. 11) discorre sobre este contexto:

Havia uma suposição de que todas as meninas [...] fariam ciência doméstica: culinária e bordado [...] Enquanto os meninos faziam física, química, biologia. Suspeitei que isso estivesse errado, então, depois de cerca de vinte minutos na primeira aula de ciências domésticas, eu disse ao professor: ‘Acho que estou no lugar errado’. E o mesmo aconteceu com duas outras meninas, e três de nós mudaram para a aula de ciências. [...] Naquele primeiro semestre estávamos estudando astronomia e física. E no exame da época do Natal eu era a primeira da classe, apesar de ter sido reprovada no *Eleven-Plus*.

Em 1956, aos treze anos, Bell ingressou na *Mount School*, um internato de meninas coordenado por quakeristas em York, Inglaterra. Posteriormente, seus irmãos acabaram por continuar seus estudos na mesma cidade: “[...] todos nós fomos mandados para um colégio interno na Inglaterra – [...] nossos pais queriam que tivéssemos parte de nossa educação fora da Irlanda do Norte” (BELL BURNELL, 2000, p. 5). A pesquisadora relata que seu interesse pelas Ciências, em especial pela Astronomia, fora um tanto desenvolvida por conta de seu professor de Física que trabalhava no internato: “[...] o Senhor Tillot, era um super professor [...] Eu poderia muito bem ter tido um professor de física que achava que as meninas não podiam cursar física [...] mas o Senhor Tillot era exatamente o contrário” (BELL BURNELL, 2010). Apesar desse

importante incentivo, segundo a cientista, a escola não contava com muitos recursos para aulas experimentais (BELL BURNELL, 1996, 2000):

Quando fui para o colégio interno, tinha um professor de física muito bom que havia saído da aposentadoria pela segunda vez para dar aulas. Isso foi em um colégio interno para meninas, onde tradicionalmente há problemas para conseguir pessoal, mas encontramos o Senhor Tillot, que não era jovem, mas era um professor absolutamente brilhante. Com ele, a física era tão fácil. A cada ano, quando os exames práticos *O-Level* [uma espécie de exame de conclusão do ensino médio] estavam chegando, a escola tinha que colocar uma caixa de equipamentos especialmente para esses exames. Não tínhamos o material durante o ano. Quando estávamos aprendendo sobre o galvanômetro tangente, a única maneira de o Senhor Tillot nos mostrar o equipamento era pegar um catálogo ilustrado, apontar para a imagem e dizer “Este é um galvanômetro tangente”. Ele então disse, “E olhe para o preço” - muito além de seu orçamento (BELL BURNELL, 1996, p. 184).

Durante esta época, Jocelyn também conheceu a Astronomia por meio de seu pai que trabalhava no Observatório *Armagh*: “como arquiteto do observatório, meu pai estava parcialmente preocupado com a manutenção [...] Eu costumava ir com ele em visitas ao local com bastante frequência, desde os 7 ou 8 anos de idade” (BELL BURNELL, 2009). Segundo ela, seu pai contou “[...] para o pessoal da astronomia no observatório que sua filha mais velha se interessava por astronomia. Eu devia estar na minha adolescência – quinze ou dezesseis anos” (BELL BURNELL, 2000, p. 21). Nestas visitas, “Jocelyn [...] conheceu sua equipe, que a encorajou a se tornar uma astrônoma profissional [...] ela leu todos os livros populares de astronomia na biblioteca de seu pai” (MCGRAYNE, 1998, p. 361). A cientista relata que seu pai possuía “[...] uma assinatura da biblioteca *Linen Hall* em Belfast e trouxe para casa todos os tipos de livros. Mas, os que realmente me chamaram a atenção foram dois ou três livros sobre astronomia” (BELL BURNELL, 2010), como obras de Fred Hoyle (1915-2001) e Dennis Sciama (1926-1999), astrônomos reconhecidos na década de 1950.

Neste contexto, Bell Burnell (2000, 2009) comenta que sua escolha específica pelo campo da Radioastronomia se deu consideravelmente por querer trabalhar no período diurno, diferentemente dos astrônomos que atuam em observações na faixa da luz visível – embora, depois de ter descoberto os pulsares, a cientista acabou por realizar observações durante o período noturno: “[...] a professora de carreira do internato nunca tinha ouvido falar em radioastronomia” (BELL BURNELL, 2000, p. 24):

Quando declarei interesse [...] [na Astronomia], a equipe me mostrou os telescópios e me contou como é ser uma astrônoma. Eles me afastaram completamente. Eles eram astrônomos ópticos e trabalhavam à noite. Quando disseram para uma adolescente que amava sua cama, que você tinha que ficar acordada à noite, eu sabia que não podia. [...] Então descobri a radioastronomia e a astronomia de raios-X. Essas coisas estavam se desenvolvendo naquela época. Então eu pensei: “Certo, então posso ser uma radioastrônoma” (BELL BURNELL, 2009).

É possível refletir que Jocelyn Bell estava inserida em um contexto político que favoreceu a entrada de mulheres na ciência. Schiebinger (2001) argumenta a existência de um grande incentivo público para o ingresso das futuras gerações na ciência em pleno contexto histórico vinculado a corrida espacial. Sobre este ponto, Bell Burnell (2010) escreve que

O lançamento do satélite Sputnik foi um verdadeiro choque na Grã-Bretanha e nos Estados Unidos, porque tanto a Grã-Bretanha quanto os Estados Unidos acreditavam estar tecnicamente à frente dos soviéticos e então os soviéticos lançaram um satélite, o que não podíamos fazer. [...] Como consequência, de repente houve uma grande ênfase na ciência. A ciência era muito bem vista e qualquer criança [...] era encorajada a fazer ciência. E eu fiz parte desse movimento.

4.2.2 1965-1968: Atuação em Cambridge

Após concluir o ensino médio, Bell realizou algumas inscrições para algumas universidades, como Glasgow, Manchester e Liverpool (BELL BURNELL, 2000). Ingressou no curso de Física na Universidade de Glasgow, na Escócia, no ano de 1961. Neste espaço, vivenciou alguns desafios relacionados à sua permanência na graduação, como o fato de que “no final do primeiro ano, ela era a única mulher em sua classe de física” (MCGRAYNE, 1998, p. 362). Por conta disso, de acordo com a própria cientista, experienciou situações as quais a colocavam em uma posição de isolamento perante aos demais estudantes:

Também era uma atmosfera inibidora para as mulheres. Havia uma tradição naquela universidade de que sempre que uma mulher entrava em uma sala de aula, todos os rapazes da sala batiam [...] em suas carteiras, assobiavam e gritavam. Toda vez. Portanto [...] tive que enfrentar isso sempre que entrava em uma sala de aula. As mulheres do meu dormitório disseram: “Jocelyn, por que você não muda de curso?” Então eu tive que parar e pensar: “Será que eu realmente quero tanto fazer física para viver com isso?” (BELL BURNELL, 2000, p. 29).

Segundo a cientista, “[...] tive que aprender a não corar porque, se você corasse, os colegas faziam barulho mais ruidosamente” (BELL BURNELL, 2010). Por certo, a cientista vivenciou a falta de apoio para permanecer na área: “[...] morar no dormitório feminino foi uma experiência interessante. Foi onde eu realmente me deparei com perguntas como: Tem certeza que quer fazer física? Você aguenta fazer física? Como você pode fazer física?” (BELL BURNELL, 2000, p. 28). Havia também os seguintes questionamentos de suas colegas:

“Bem, você só vai se casar, então por que está se preocupando em fazer um diploma com distinção? Por que não apenas fazer graus gerais como o resto de nós, um diploma

de aprovação e um diploma de três anos?” Não havia muita ambição entre as mulheres, além de se casar (BELL BURNELL, 2000, p. 28-29).

Após obter o diploma de Bacharelado em Física – com honras – Bell realizou algumas inscrições em determinadas instituições para o doutorado, como na Universidade de Manchester, com o objetivo de atuar no Observatório *Jodrell Bank*; também, realizou inscrição em um departamento na Austrália – possivelmente, na Universidade de Sydney – além de se inscrever no doutorado na Universidade de Cambridge (MCGRAYNE, 1998). Segundo a cientista, “[...] minhas opções eram Jodrell Bank ou Cambridge e eu não achava que entraria em Cambridge” (BELL BURNELL, 2000, p. 37). Mas, a cientista obteve sua aprovação em Cambridge e iniciou o doutorado sob a orientação do radioastrônomo Antony Hewish (1924-2021).

Durante o doutorado, iniciado no ano de 1965, Bell atuou no Grupo de Radioastronomia de Cambridge, atuando no *Mullard Radio Astronomy Observatory* (MRAO). Segundo a cientista, os objetivos do grupo estavam relacionados com estudos sobre “[...] objetos distantes, porque eles [os pesquisadores do grupo] estavam interessados em geral na evolução do universo e, portanto, [...] ver as coisas nos primeiros estágios do universo” (BELL BURNELL, 2010). Assim, os membros do grupo de pesquisa pretendiam desenvolver observações de fontes de rádio celestes de forma a contribuir com pesquisas no campo da Cosmologia.

De fato, o interesse da cientista era a Radioastronomia. Segundo ela, era um ramo que “[...] aplicava muito da física, a teoria eletromagnética que eu aprendi na graduação e fui ficando cada vez mais convencida de que era isso que eu queria fazer” (BELL BURNELL, 2000, p. 34). Ainda assim, o tópico do doutorado consistiu em uma escolha parcialmente decidida pela pesquisadora, considerando que os membros do grupo “[...] descartaram um [determinado tópico] como não sendo adequado para uma mulher, porque envolvia muito trabalho pesado [...] mas o restante ficou livre para mim, e Tony Hewish tinha esse projeto para identificar quasares” (BELL BURNELL, 2010):

Portanto, fui atraída por um projeto que envolvia cintilação interplanetária e vento solar. Foi uma das razões pelas quais acabei trabalhando com Tony Hewish. Mas, também me lembro deles dizendo que outro projeto, que eu acho que era um projeto de ocultação lunar, não era adequado para uma mulher porque envolvia subir e descer em muitas estruturas de antenas. [...] O projeto em que participei tinha muitas construções, mas a maior parte era com os pés no chão (BELL BURNELL, 2000, p. 40).

Para tanto, até o ano de 1967, a pesquisadora contribuiu na construção do radiotelescópio *Interplanetary Scintillation Array*, projetado por seu orientador. Pelo fato das ondas de rádio cósmicas serem fracas, “os radioastrônomos precisam construir receptores gigantes com

antenas enormes e amplificadores sofisticados para coletar e aumentar as ondas” (MCGRAYNE, 1998, p. 364). Os dados eram registrados em longos gráficos de papel, que eram levados

[...] do observatório do telescópio em Cambridge para o Laboratório Cavendish [...] Tive de examinar esses gráficos centímetro a centímetro, procurando quasares cintilantes. Também tive que identificar interferências e tivemos problemas com estações de rádio piratas (BELL BURNELL, 2010).

Em agosto de 1967, durante a coleta de sinais de quasares para seu doutorado, a pesquisadora identificou sinais com pulsos regulares, que “[...] era um tipo de objeto totalmente inesperado e totalmente novo, que se comportava de uma maneira que os astrônomos nunca esperaram” (BELL BURNELL, 2010). De acordo com o orientador da cientista, em meados de setembro, “[...] a fonte havia sido detectada em várias ocasiões, embora nem sempre estivesse presente, e eu suspeitei que havíamos localizado uma estrela flamejante” (HEWISH, 1974, p. 175):

Depois de operar o telescópio por cerca de um mês, tive a primeira visão de um pequeno sinal que não parecia totalmente com um quasar cintilante e, ainda assim, não parecia com interferência. [...] Então, eu poderia facilmente ter esquecido, mas algumas semanas depois, analisando outro pedaço de gráfico [...] eu percebi novamente. Peguei todos os meus registros anteriores daquela parte do céu e descobri que, na ocasião, esse curioso [...] sinal estava lá (BELL BURNELL, 2010).

Neste contexto, a incerteza quanto à existência deste objeto celeste pairava entre os membros do grupo. Segundo a cientista, “essas coisas são altamente variáveis e quando você tem alguém vindo para vê-las, elas se recusam a aparecer” (BELL BURNELL, 1983, p. 167). Ainda, em meio as observações realizadas para a confirmação do primeiro pulsar pelos pesquisadores do grupo, Bell apresentou um visível receio com o fato de os sinais inesperados pudessem ser simplesmente erros do radiotelescópio:

Foi um momento ruim quando [o sinal] não apareceu, porque sugeria que havia uma falha em nosso equipamento e eu era a pessoa que havia instalado a fiação e meu doutorado estava em jogo [e] [...] provavelmente toda a minha carreira científica (BELL BURNELL, 2000, p. 54).

Posteriormente, nos anos seguintes, a partir da publicação do artigo *Observation of a Rapidly Pulsating Radio Source* na Revista *Nature* (ver HEWISH *et al.*, 1968), mediante as pesquisas de radioastrônomos e físicos teóricos, tais sinais foram compreendidos como manifestações de objetos astronômicos denominados *pulsares* (PIRES; PEDUZZI, 2022a, 2022b). Apesar de iniciar uma importante descoberta científica, Bell acabou por não modificar a temática da sua tese.

Ainda assim, no apêndice da pesquisa, elaborou um relato sobre a descoberta, “[...] escrito mais do meu ponto de vista, mas ainda como um documento científico porque eu acho que senti que poderia ser útil ter algo [...] documentado” (BELL BURNELL, 2000, p. 69).

O pânico realmente ocorreu quando os pulsares apareceram, porque isso foi adicional à minha tese. E Tony dissera que a tese ainda precisava ser sobre a cintilação interplanetária e os diâmetros angulares dos quasares; que eu não poderia mudar isso. Então, de alguma forma, no meu último ano, tive que lidar com pulsares e montar a tese. Isso foi um pouco assustador (BELL BURNELL, 2000, p. 46).

Entre a época de identificação do segundo e terceiro pulsar, a pesquisadora vivenciou determinados contratempos ao aparecer em seu ambiente de trabalho com um anel de noivado. Naquele momento, a cientista aponta que “[...] definitivamente não tinha avaliado completamente naquela fase as pressões sociais que havia sobre a mulher [...] Lembro-me de ter pensado: Os homens podem ter carreiras e casar, então por que as mulheres não podem?” (BELL BURNELL, 2000, p. 60):

Saí de férias e voltei para o laboratório usando um anel de noivado. Essa foi a coisa mais estúpida que já fiz. Naquela época, as mulheres casadas não trabalhavam. Elas podiam trabalhar por um “dinheiro” por um tempinho, talvez, mas assim que os filhos nascessem, todos sabiam que, se as mães trabalhassem, os filhos se tornariam delinquentes. Minha aparência usando um anel de noivado indicava que eu estava saindo da vida profissional. A propósito, é interessante notar que as pessoas estavam muito mais dispostas a me parabenizar pelo meu noivado do que por fazer uma grande descoberta no campo da astrofísica. A sociedade sentiu que, ao ficar noiva, eu estava fazendo a coisa certa para uma jovem. Ao descobrir pulsares, eu não estava [fazendo a coisa certa] (BELL BURNELL, 2004a, p. 1.10).

Também, com a posterior publicação da pesquisa, manifestava-se uma ausência de reconhecimento da cientista por estar envolvida em uma descoberta científica. Assim, apesar do seu importante papel na pesquisa, em vários relatos (BELL BURNELL, 1983, 2004a), a cientista aponta que enquanto perguntavam em entrevistas a seu orientador, Antony Hewish, sobre a importância científica do trabalho, para ela, eram dirigidas perguntas de cunho pessoal:

Houve muita publicidade após o anúncio. [...] E essa foi outra experiência muito interessante. Normalmente eles [a imprensa] perguntavam a Tony Hewish sobre a importância da descoberta para o campo da astrofísica. E então eles se viravam para mim e me perguntavam [...] quantos namorados eu tinha (BELL BURNELL, 2004a, p. 1.10-1.11).

Este aspecto permite refletir sobre a histórica falta de autoridade científica atribuída às mulheres. A imprensa parecia estar mais “intrigada com a novidade e originalidade de uma mulher cientista do que pelo significado astronômico da descoberta da equipe” (COMBES;

DURRET, 2020, p. 30). Assim, “embora agora fosse reconhecida por suas contribuições científicas legítimas [...] os jornalistas perguntavam a essa jovem cientista se ela era mais alta do que a princesa Margaret e quantos namorados ela tinha” (MCNAMARA, 2008, p. 49). Além disso, os fotógrafos agiam de maneira semelhante, dizendo palavras como “Fique feliz, querida! Você acabou de fazer uma descoberta!”.

Por fim, é interessante destacar que, à época da divulgação do trabalho, a cientista enviou uma cópia do artigo publicado na Revista *Nature* para o seu antigo professor de física do internato. Além disso, no relato concedido para o documentário *Beautiful Minds*, da BBC, a cientista comenta que

Houve muita publicidade, o Senhor Tillot tinha visto isso e disse à escola. Não há tantas pessoas que tenham a física como profissão e, certamente, relativamente poucas mulheres da minha geração, então o Senhor Tillot seguiu com algum interesse minha carreira. E fiquei muito satisfeito por ele ainda estar por perto na época da descoberta (BELL BURNELL, 2010).

4.2.3 No-Bell

A relevância científica da descoberta foi reconhecida no Prêmio Nobel de Física, em 1974. O primeiro pulsar “[...] oficialmente conhecido como PSR 1919+21 por suas coordenadas celestes, nunca será esquecido - não apenas por sua descoberta, mas também pela polêmica que mais tarde o cercou” (BARTUSIAK, 2017, p. 2). Segundo a cientista, “acho que havia um sentimento bastante difundido entre a minha geração [...] de que as coisas tinham sido um pouco injustas” (BELL BURNELL, 2000, p. 79). A cientista descreve o momento quando recebeu a notícia da premiação:

Tenho memórias muito vivas de 10 de outubro de 1974. Eu estava trabalhando com um satélite chamado Ariel V, que estava sendo lançado na costa do Quênia na manhã daquele dia. Por volta das 12h05, um dos meus colegas entrou furioso no escritório: “Você ouviu a notícia?”. [Jocelyn]: “Não, John, quais são as novidades? Algo errado com Ariel V?”. [John]: “Não, o Prêmio Nobel”. Sua esposa estava ouvindo as notícias em casa e telefonou para ele dizendo que Martin Ryle e Tony Hewish haviam recebido o Prêmio Nobel. E John estava junto, eu acho, esperando ver fumaça saindo de meus ouvidos (BELL BURNELL, 2010).

Rompendo com a tradição de não reconhecer pesquisas em Astrofísica, Astronomia e Geofísica, o Comitê Nobel concedeu à láurea aos radioastrônomos Martin Ryle e Antony Hewish: “Ryle por suas observações e invenções, em particular da técnica de síntese de abertura, e Hewish por seu papel decisivo na descoberta de pulsares” (NOBEL PRIZE, 2022). Por certo, a

omissão da cientista gerou polêmicas na comunidade científica, considerando que nomes influentes defenderam o papel decisivo da cientista, como Fred Hoyle. Igualmente, houve repercussão no âmbito midiático: “Na revista *Great’s Britain Observatory*, os editores brincavam ironicamente entre si que o Nobel agora significava ‘No-Bell’” (BARTUSIAK, 2017, p. 2)

É válido considerar, todavia, “[...] que a concessão de crédito por descobertas científicas às vezes não é claramente definida” (MCNAMARA, 2008, p. 50). Ainda assim, o astrônomo Fred Hoyle direcionou suas críticas ao Comitê Nobel por considerar que o instante decisivo da descoberta havia ocorrido com a cientista. É importante apontar que, além de elaborar uma ressalva quanto à demora do grupo de Cambridge em publicar os primeiros achados para a comunidade científica, o astrônomo ressalta, em um comentário transcrito por Wade (1975), a importância do trabalho desenvolvido pela cientista:

Há uma tendência de interpretar mal a magnitude da realização de Miss Bell, porque parece tão simples - apenas pesquisar e pesquisar em uma grande massa de registros. A conquista veio de uma vontade de considerar como uma possibilidade séria um fenômeno que todas as experiências anteriores haviam sugerido que era impossível. [...] Eu acrescentaria que minha crítica ao Prêmio Nobel foi dirigida contra a própria comissão de premiações, não contra o professor Hewish. Parece claro que o Comitê não se preocupou em entender o que aconteceu neste caso.

Segundo Wade (1975), Hewish concedeu uma resposta moderada a estas declarações, “[...] dizendo, com efeito, que Burnell vinha usando seu telescópio, sob suas instruções, para fazer um levantamento do céu iniciado por ele” (p. 358). Segundo o radioastrônomo, em outro relato, “para ser honesto, não acho que teria importância quem tinha sido meu aluno [...] a descoberta dos pulsares era inevitável depois que a pesquisa começou” (HEWISH, 2010). De acordo com McGrayne (1998, p. 373), na Revista *Science*, Hewish comentou que “Jocelyn era uma garota muito boa, mas estava apenas fazendo seu trabalho. Ela percebeu que essa fonte estava fazendo isso. Se ela não tivesse percebido, teria sido negligente”.

Após a láurea, a cientista concedeu declarações compreendendo sua ausência pelo fato de que o Comitê Nobel não costumava reconhecer estudantes de pós-graduação, além de considerar que a responsabilidade pelo sucesso deveria ser direcionada aos orientadores e às pesquisas de longa data (MCGRAYNE, 1998). Naquela época, Wade (1975, p. 359) relata que a cientista pensava que “[...] ele [Hewish] mereceu o prêmio, que ela foi tratada com justiça e que, se ele recebeu mais crédito do que ela, também correu mais riscos”. Segundo a própria pesquisadora, “[...] acredito que rebaixaria os Prêmios Nobel se fossem concedidos a estudantes de pesquisa, exceto em casos muito excepcionais, e não acredito que este seja um deles” (BELL BURNELL, 1977, p. 688). Todavia, Combes e Durret (2020) destacam que, posteriormente, ao

adentrar em discussões sobre a presença das mulheres da ciência, Bell Burnell considerou a possibilidade de sua ausência estar associada à uma discriminação de gênero:

Indiscutivelmente, meu status de estudante e talvez meu gênero também foram minha ruína com relação ao Prêmio Nobel, que foi concedido ao professor Antony Hewish e ao professor Martin Ryle. Naquela época, a ciência ainda era percebida como sendo realizada por homens ilustres liderando equipes de lacaios não reconhecidos que cumpriam suas ordens e não contribuíam de outra forma senão conforme as instruções! (BELL BURNELL, 2004b, p. 489).

Interessante apontar que, Bell Burnell e Hewish foram reconhecidos, em 1973, com a Medalha *Albert Michelson* pelo *The Franklin Institute*: conforme McGrayne (1998, p. 371), esta láurea “[...] imediatamente alimentou especulações de que Burnell poderia dividir o Prêmio Nobel com Hewish”. Apesar do Prêmio Nobel, a astrônoma (Figura 1) veio a ser reconhecida em outras ocasiões, como o Prêmio Oppenheimer em 1978, o Prêmio *Beatrice Tinsley* da *American Astronomical Society* em 1987 e a Medalha *Herschel* da *Royal Astronomical Society* em 1989 (MCGRAYNE, 1998). Em 2007, recebeu o título de Dama da Ordem do Império Britânico pela Rainha Elizabeth II.

Figura 1 – Jocelyn Bell Burnell



Fonte: Photolabs Royal Observatory, Edinburgh, Courtesy AIP Emilio Segrè Visual Archives, Physics Today Collection

Em 2018, recebeu o *Breakthrough* de Física, sendo “[...] reconhecida pelo comitê com um prêmio especial em física fundamental por suas realizações científicas e por sua liderança

inspiradora nas últimas cinco décadas” (MERALI, 2018, p. 161): ela destinou o prêmio de 3 milhões de dólares ao financiamento de pesquisas para grupos subrepresentados na ciência (COMBES; DURRET, 2020). Em 2021, recebeu a Medalha de Ouro pela *Royal Astronomical Society*, devido a sua “[...] contribuição excepcional à astronomia por meio de sua pesquisa, ensino, liderança acadêmica e engajamento público” (ROYAL ASTRONOMICAL SOCIETY, 2021). Curiosamente, a cientista encarou com um relativo otimismo o fato de não receber o Prêmio Nobel:

Descobri que me sai muito bem por não receber o Prêmio Nobel, especialmente quando carregada, como fui, por uma onda de simpatia e uma onda de feminismo. Eu também estava recebendo muitos outros prêmios, até certo ponto como compensação por não ter recebido o Nobel. E isso é provavelmente mais divertido porque significa que há mais festas. O Nobel dura uma semana, mas só há uma festa. E se você receber um Nobel, ninguém jamais lhe dará outra coisa porque não sentem que podem igualar. Portanto, conseguir um Nobel poderia muito bem significar menos diversão no geral (BELL BURNELL, 2009).

4.2.4 Pós-Pulsares

McGrayne (1998, p. 370) faz um importante questionamento, quanto à atuação da cientista após a descoberta dos pulsares: “E onde estava Jocelyn Burnell durante toda a empolgação que ela havia criado?”. Embora a publicação dos primeiros pulsares tenha gerado repercussão na comunidade astronômica, entre físicos teóricos e radioastrônomos, fazendo com que cientistas adentrassem neste novo aspecto de estudo, a cientista “[...] estava ocupada tentando redigir sua tese de doutorado e procurando um emprego no sul da Inglaterra, onde seu noivo, um funcionário público, estava trabalhando” (WADE, 1975, p. 362).

Após defender seu doutorado, se casou com Martin Burnell: “ele havia se formado em Cambridge, seis meses antes de mim e tinha um emprego [...] eu precisava encontrar um emprego naquela parte da Inglaterra” (BELL BURNELL, 2000, p. 71). Desta forma, “assim que ela descobriu os pulsares, foi entrevistada e fotografada pela imprensa e terminou sua tese de doutorado, ela abandonou a pesquisa competitiva de nível mundial” (MCGRAYNE, 1998, p. 357):

Eu realmente passei por momentos difíceis e me afastei da radioastronomia [...] A fase seguinte ao meu doutorado foi extremamente diversa. Eu era casada com um homem que tinha que mudar de emprego regularmente, então estávamos em mudanças para cima e para baixo no país (BELL BURNELL, 2018, p. 16).

Neste contexto, lecionou em determinadas universidades em meio período para cuidar de seu filho – inicialmente, considerou em abandonar a carreira científica por completo para se

dedicar a criação do seu filho; posteriormente, optou por manter algum vínculo com o âmbito científico. Atuou em diferentes áreas da Astronomia, em estudos de objetos na faixa dos raios gama, na Universidade de Southampton, entre os anos de 1968 e 1973, e na faixa dos raios-X, no *College London* e no *Mullard Space Science Laboratory* em 1974. Por certo, seu “[...] sucesso inicial na astronomia deu-lhe uma vantagem enquanto se mudava pelo país tentando encontrar um emprego em algum lugar perto de seu marido” (MCGRAYNE, 1998, p. 371):

Eu estava muito insegura quanto a desistir do trabalho. [...] Portanto, os padrões de minha carreira nos 20 anos seguintes foram na verdade governados por seus empregos [do marido] e pelo fato de que depois de um tempo tivemos um filho e eu trabalhei em meio período (BELL BURNELL, 2000, p. 71).

Paralelamente com a *Mullard*, entre 1973 até 1987, a astrônoma atuou na *Open University*, instituição direcionada à formação a distância. À época da entrevista de McGrayne (1998), Bell Burnell apontou que as aulas eram ministradas, por tutoras/es, presencialmente ou por telefone, sendo que a instituição possuía “[...] a maior proporção de mulheres e estudantes de famílias operárias de qualquer universidade britânica” (MCGRAYNE, 1998, p. 374). De acordo com a cientista, a universidade apresentava uma explícita consciência de gênero, mas ações institucionais como a licença-maternidade ainda não eram existentes (BELL BURNELL, 1996):

Grande parte da minha vida profissional foi impulsionada por circunstâncias familiares. Trabalhei meio período por 18 anos e era casada com um marido peripatético que se mudava muito, então eu procurava qualquer emprego que pudesse conseguir em Astronomia ou Física, onde quer que ele estivesse. [...] Comecei a trabalhar para a *Open University* em 1973 [...] Candidatei-me para ser tutora e fui recrutada. A intenção original era ser uma tutora enquanto eu educava os filhos em casa. Eu rapidamente decidi que criar filhos em casa era enfadonho em comparação com a vida no mundo exterior, então na verdade voltei a trabalhar mais cedo do que esperava, embora em meio período (BELL BURNELL, 1996, p. 184).

Não, nem havia licença-maternidade quando eu estava grávida. Lembro-me de meus vizinhos, principalmente das mulheres me dizendo: “Olha, você tem um marido, uma nova casa e um novo bebê e você diz que está entediada?”. Suposição absoluta de quem não trabalhava e de que se sentia realizada por ser dona de casa, esposa e mãe. Então, eu realmente tive muitos problemas para encontrar creches também e essa foi uma das razões pelas quais eu trabalhei em meio período (BELL BURNELL, 2000, p. 92).

No ano de 1982, enquanto atuava na *Open University*, a cientista (Figura 2) também trabalhou “[...] realizando pesquisas em astronomia na faixa do infravermelho no Observatório Real de Edimburgo” (COMBES; DURRET, 2020, p. 31). Atuando em outra faixa do espectro eletromagnético, neste observatório, atuou no gerenciamento do *James Clerk Maxwell Telescope*, localizado no Havaí (MCGRAYNE, 1998).

Novamente, o projeto estava em um novo campo para ela: o telescópio foi projetado para detectar comprimentos de onda de rádio submilimétricos, em tamanho entre ondas infravermelhas e ondas de rádio. Ondas submilimétricas são absorvidas pelo vapor de água na atmosfera da Terra, então o telescópio foi construído 4.200 metros acima do nível do mar, onde o ar é claro e seco (MCGRAYNE, 1998, p. 374).

Figura 2 – Jocelyn Bell Burnell na *Open University*



Fonte: The Open University, Courtesy AIP Emilio Segrè Visual Archives

Por certo, “seu conhecimento profundo da radioastronomia e de todo o espectro eletromagnético valeram-lhe uma vida inteira de respeito na comunidade científica e uma carreira de prestígio na academia” (COMBES; DURRET, 2020, p. 31). Segundo a cientista, “[...] estava gostando muito de aprender esses novos ramos da astrofísica, mas descobri que há uma grande sobrecarga quando você se move para uma nova área” (BELL BURNELL, 2000, p. 78). Por outro lado, McGrayne (1998, p. 375) elabora um contraponto sobre a formação da cientista: “Poucos astrônomos britânicos têm uma formação tão ampla [...] Alguns astrônomos de sua idade, que aderiram ao movimento do pulsar, agora eram professores em tempo integral em universidades de prestígio”.

Apesar disso, além da sua atuação em várias universidades entre as décadas de 1970 e 1990, Jocelyn Bell Burnell atuou na reitoria do Departamento de Ciências na Universidade de Bath entre os anos de 2001 a 2004. Entre 2008 e 2010, presidiu o Instituto Britânico de Física e nos anos de 2014 até 2018, foi presidente da *Royal Society* de Edimburgo. Atualmente, é professora visitante em instituições como Princeton e Oxford.

Ainda, a cientista escreveu um livro intitulado *Broken For Life*, que, segundo McGrayne (1998), curiosamente não faz quaisquer menções aos pulsares, mas aborda questões vinculadas à sua religiosidade, por ser pertencente à religião Quaker. No entanto, conforme a biógrafa relata, “logo depois que ela escreveu o livro [...] o casamento de Burnell entrou em colapso. Como ela

brincou, ‘Eu lidei mal com meu nome de solteira. Descobri pulsares como Bell e me casei. Escrevi um livro como Burnell e divorciei-me’” (MCGRAYNE, 1998, p. 377). Neste contexto, a cientista atuou em seu primeiro emprego em tempo integral, na cidade de Milton Keynes, como professora de Física na *Open University*, no ano de 1991: “a posição [...] representou uma ligeira mudança de direção, mas não mais do que isso [...] ela estaria ajudando outros a terem uma segunda chance - ou a primeira chance que eles nunca tiveram” (MCGRAYNE, 1998, p. 377).

Nas últimas décadas, Bell Burnell vem apresentando preocupações com os debates sobre a diversidade na ciência e as questões de gênero no campo da Astronomia. Por exemplo, “quando ela chegou a Edimburgo, ficou surpresa ao descobrir que as aulas de astronomia tinham a mesma porcentagem de mulheres de 1892, ano em que o Departamento de Astronomia da universidade admitiu mulheres pela primeira vez” (MCGRAYNE, 1998, p. 375). Atuando na União Astronômica Internacional, trabalha na elaboração de estudos sobre a presença de mulheres na entidade, além de atuar na divulgação de ações para a promoção da diversidade no campo da Astronomia.

4.3 DISCUSSÕES DE GÊNERO NA HISTÓRIA DE BELL BURNELL

Estes elementos históricos relativos à trajetória pessoal e acadêmica de Jocelyn Bell Burnell possibilitam a discussão sobre determinados desafios que se refletem em exemplos de cientistas mulheres. Como apontado por Santana (2021, p. 85), a utilização da categoria de gênero permite não somente “[...] entender a ciência e a história de determinada mulher cientista, mas [...] é inclusive uma ferramenta útil para escapar de escritas anedóticas e hagiográficas” sobre mulheres. Deste modo, a intenção desta análise consiste em “usar o particular, o específico para nos auxiliar a ver e compreender modelos mais amplos sobre as práticas, o desenvolvimento de ideias, os papéis culturais e políticos das mulheres e das ciências” (SOMBRIÓ, 2014, p. 5-6).

Primeiramente, um dos aspectos discutido por Sharon McGrayne (1998, p. 5) diz respeito às razões que mantiveram mulheres no campo científico, a despeito dos inúmeros desafios estruturais: “Diante de tais obstáculos, o que sustentava essas mulheres?”. Assim, a biógrafa pontua alguns fatores que podem contribuir com o acesso e a permanência de mulheres no campo científico, como por exemplo, além do gosto pessoal pela ciência, a influência de pais e parentes – e posteriormente de parceiros; valores familiares favoráveis à educação e o apoio das instituições concedido às mulheres. No exemplo de Bell Burnell, notamos um amplo suporte familiar, no acesso cultural à ciência por meio de visitas ao observatório e nos livros de

Astronomia; e apoio escolar, como no exemplo de seu professor de física. Para que muitas “[...] mulheres tivessem acesso à educação e à carreira de cientistas, precisaram do que chamamos de rede de apoio, que pode vir da família” (GUIMARÃES; OLIVER, 2017, p. 242). Segundo a cientista:

Meus pais [...] estavam frequentemente nos comprando livros e, principalmente quando meus pais perceberam que eu poderia ter uma inclinação científica [...] se eu expressasse interesse em um livro sobre ciências, ele apareceria muito rapidamente (BELL BURNELL, 2000, p. 12).

Além de aspectos da vivência privada, elementos do contexto político e das instituições interferem no incentivo de jovens para ingressarem no campo científico. Podemos questionar, por exemplo, o fato de uma das escolas frequentadas pela cientista separar o cronograma de estudo por gênero: a concepção de “ciência doméstica” estabelece relações com a dicotomia entre as esferas sociais públicas e privadas, sendo estas últimas predominantemente direcionadas às mulheres. Schiebinger (2001) argumenta que, ao longo da história, a atuação feminina esteve fortemente condicionada ao contexto político de organização das instituições, como a ciência: neste âmbito, conforme apontado por Bell Burnell (2010), o lançamento do satélite *Sputnik* desencadeou um contexto propício de encorajamento das gerações mais jovens, como mulheres, no ingresso à ciência:

A partir das décadas de 1960 e 1970 um conjunto de fatores conspirou para estimular as mulheres a ingressarem na ciência. [...] O lançamento do Sputnik, em 1957, desencadeou um frenesi de recrutamento [...] Nesta atmosfera, mesmo mulheres e minorias figuravam como recursos nacionais valiosos. Isso, juntamente com o movimento das mulheres renovado da década de 1970, produziu um *boom* na participação das mulheres na ciência - um *boom* intensificado por um financiamento governamental de programas designados para atrair mais minorias e mulheres para a ciência e engenharia.

Neste sentido, embora a formação básica de Jocelyn Bell fosse constituída de elementos favoráveis para seu interesse nas Ciências, ao analisarmos o contexto de sua entrada e permanência durante sua formação acadêmica, observamos que, sendo a única mulher no curso de Física, não era bem recebida por seus colegas homens; assim, “ela logo percebeu que as mulheres nas ciências físicas estavam ‘fora de seu papel’. Os alunos a tratavam como se ela fosse ‘Jocelyn de Júpiter’ - algo pouco natural” (MCGRAYNE, 1998, p. 362). Deste modo, apesar da entrada feminina em instituições universitárias ser institucionalizado naquela época, o contexto universitário ainda era raramente convidativo para mulheres na Física, o que implica que, “o acesso à graduação não era garantia de que a trajetória acadêmica dessas mulheres teria

tratamento equivalente a dos discentes homens” (VIEIRA, 2021, p. 14). No caso específico da cientista, ela conviveu com situações de desestímulo de seus pares:

[A cientista] [...] simplesmente ignorou as mulheres bem-intencionadas em seu dormitório, que a aconselharam a largar a física e deixar a universidade com um diploma geral de três anos em vez de um diploma com honras de quatro anos. Mulheres casadas não precisam de muita educação, disseram a ela (MCGRAYNE, 1998, p. 362).

Deste modo, ao longo de sua vida, mulheres se deparam com determinadas expectativas culturais que podem propiciar seu afastamento silencioso em certos espaços, como no ambiente científico. No entanto, como no caso de Bell Burnell, “mesmo mulheres que se distinguiram na ciência sofrem às vezes de uma forma de auto-dúvida” (SCHIEBINGER, 2001, p. 123). Conforme conta a cientista, referindo-se à sua formação acadêmica, “quando vim para Cambridge, comecei a sofrer do que agora sei que é a síndrome do impostor [...] decidi que até que eles me expulsassem eu iria dar o meu melhor” (BELL BURNELL, 2018, p. 16). Este é um importante ponto igualmente debatido por Schiebinger (2001, p. 126), no sentido que “[...] por serem submetidas a cerrado escrutínio, as mulheres desenvolvem padrões extremamente altos [...] como um pré-requisito para ingressar e permanecer na ciência, sentindo às vezes que devem ser mais brilhantes que os homens”. Este aspecto se manifesta no seguinte relato da cientista:

A educação na Irlanda do Norte, York e Glasgow não me preparou para a suave confiança que encontrei em Cambridge no outono de 1965. Eu era provinciana e mulher. Os homens de Cambridge pareciam muito espertos (e alguns muito ansiosos para que alguém soubesse disso). Fiquei intimidada e concluí que minha admissão como estudante de pós-graduação havia sido um erro, que seria [...] considerada estúpida demais para ter sucesso em Cambridge. Essa atitude agora seria rotulada de “síndrome do impostor” e, apesar das intervenções, pode fazer com que o aluno saia por conta própria antes [...] de ser expulso de um lugar de prestígio. Porém, não querendo desistir prematuramente, decidi trabalhar o mais duro e cuidadosamente que pude, para que quando me expulsassem eu não tivesse a consciência culpada! (BELL BURNELL, 2017, p. 831).

Outra possível reflexão, relativa à sua formação acadêmica, diz respeito à escolha profissional da pesquisadora pelo campo da Radioastronomia. Neste contexto, McGrayne (1998, p. 363) argumenta que “as astrônomas [...] muitas vezes trabalhavam tarde da noite com homens em áreas remotas”, e assim, para evitar situações inoportunas, “algumas universidades direcionaram as mulheres para a pesquisa solar porque era uma ocupação diurna”. No plano da conjectura, em entrevista com o historiador David DeVorkin, a cientista especula se as recomendações concedidas pelos astrônomos do Observatório *Armagh*, na verdade, não estavam direcionando a então estudante a escolher um campo da Astronomia em que se pudesse atuar

durante o período diurno. Neste âmbito, concordamos com Schiebinger que tais dinâmicas “[...] para evitar o surgimento de comportamento indelicado podem interferir com a edificação de fortes relações de trabalho, cruciais para o êxito profissional e para condições de trabalho apropriadas” (2001, p. 113). Ainda, segundo a astrônoma,

Certamente foi uma era em que havia muito poucas astrônomas, e aquelas que eram, estavam sendo orientadas [por homens]. Por exemplo, Mary Bruck, que se casou com um dos diretores do Royal Observatory em Edinburgo, foi direcionada para a astronomia solar porque poderia atuar durante o dia. [...] Uma mulher solteira não tinha permissão para observar; um homem e uma mulher não tinham permissão para observar. E se duas mulheres observassem em pares, elas não tinham permissão para dirigir para casa depois. Não era considerado seguro (BELL BURNELL, 2000, p. 22-23).

A temática de pesquisa de Bell também pode denotar uma possível divisão do trabalho por gênero, sendo sua responsabilidade a análise de sinais de quasares em longos gráficos, considerando que, membros do grupo direcionaram a cientista para uma pesquisa mais adequada para uma mulher. Segundo Lima (2019, p. 16), “é comum delegar atividades de coleta de dados, de catalogação de características, uma vez que as mulheres são tidas como mais detalhistas”. Isso apresenta uma similaridade com o que Rossiter (1982, p. xv), denomina de “trabalho de mulheres na ciência”, pelo fato de que “[...] mesmo com o aumento do nível educacional das mulheres e a expansão de seu papel fora de casa, elas eram vistas realizando apenas uma estreita gama de atividades femininas”, a exemplo de análises de “[...] chapas estelares astronômicas ou catalogando coleções de história natural, mensurando rastros em filmes ou calculando equações antes do advento dos computadores” (SCHIEBINGER, 2001, p. 71).

Além disso, em relação ao reconhecimento público de cientistas, Rossiter (1982, p. xvi) também aponta o fato de que “mulheres notáveis frequentemente [...] eram [e ainda são] reconhecidas apenas tardiamente [...] décadas depois de suas realizações”. O episódio ocorrido com Bell Burnell permite refletir a estrutura de láureas como o Prêmio Nobel, “[...] reconhecido como uma das mais importantes premiações científicas, garantindo aos laureados ainda mais poder e prestígio na comunidade, [...] é um reflexo da segregação hierárquica pela sub-representação das mulheres nas áreas científicas e tecnológicas” (SANTANA, 2021, p. 40). Neste sentido, o Prêmio Nobel consiste em uma fonte de exemplificação de um fenômeno social denominado Efeito Matilda, definido pela historiadora Margaret Rossiter.

Segundo Rossiter (1993), o Efeito Matilda pode se manifestar no âmbito de publicações bem como de premiações, consistindo, em outras palavras, em “[...] casos onde a participação feminina na atividade científica tem seu mérito diminuído ou completamente atribuído ao trabalho masculino” (SANTANA, 2021, p. 38). Em outras palavras, pelo fato das mulheres serem

“[...] menos bem inseridas nos quadros, confrontadas a atenções menores de seus superiores hierárquicos e de seus colegas, o valor de suas contribuições poderia ser minimizado” (LOWY, 2020, p. 237). Por certo, Sepulveda e Silva (2021) argumentam a recorrência desse fenômeno no contexto de láureas, a exemplos de Prêmios Nobel que apresentam a omissão do nome de mulheres cientistas nas indicações, como: Frieda Robscheit-Robbins em Medicina no ano de 1934, Rosalind Franklin em Medicina no ano de 1962, Chien Shiung-Wu em Física no ano de 1957 e Lise Meitner em Física no ano de 1944. A historiadora também menciona o exemplo de Jocelyn Bell Burnell:

Da mesma forma, nas décadas de 1960 e 1970, mulheres mais jovens associadas, como a astrofísica Jocelyn Bell na Inglaterra [...] colaboraram em importantes trabalhos científicos, mas não participaram dos prêmios Nobel [...] concedidos a essas descobertas. Até então, no entanto, havia crítica feminista suficiente para que essas decisões fossem chamadas de ‘controversas’ (ROSSITER, 1993, p. 329).

Os elementos relativos ao casamento e a maternidade, também presentes na trajetória de Bell Burnell, sugerem uma possível evidência da chamada polarização entre as esferas doméstica e pública. Neste contexto, Schiebinger (2001, p. 69) argumenta que “a família deslocou-se para a esfera doméstica privada, enquanto a ciência migrava para a esfera pública da indústria e universidade”. Assim, quando a astrônoma apareceu no laboratório com um anel de noivado, era um indicativo para seus colegas de que ela sairia do contexto público da ciência, para adentrar a um contexto privado, de cuidado do marido, e, por conseguinte, dos filhos. De outra forma, no contexto social em que Bell estava inserida, não era reconhecido que mulheres casadas e/ou mães atuassem, simultaneamente, em ambientes públicos, como a ciência:

As instituições científicas – universidades, academias e indústrias – foram estruturadas sobre a suposição de que os cientistas seriam homens com esposas em casa para cuidar deles e de suas famílias. O funcionamento homogêneo do mundo profissional de muitas maneiras dependia das contribuições não reconhecidas de esposas que [...] cuidavam de seus maridos profissionais, proporcionando lares bem dirigidos e apoio disponível para o progresso das carreiras dos homens (SCHIEBINGER, 2001, p. 70).

Após defender seu doutorado, a cientista necessitou reorganizar sua carreira, abandonando-a parcialmente, de maneira a cuidar do marido e do filho, atuando em meio período em universidades num contexto que não se existia licença-maternidade ou infantários disponíveis. Naquela época, ela “[...] não percebeu a magnitude do que ela estava desistindo. Estava apenas começando a perceber que muitos cientistas a consideravam uma descobridora dos pulsares” (MCGRAYNE, 1998, p. 371). Como o caso de Bell Burnell, mulheres acabam por “[...] enfrentar dificuldades maiores para conciliar trabalho, vida de casal e responsabilidades

familiares” (LÖWY, 2020, p. 239), o que acarreta em interrupções frequentes em suas carreiras profissionais. Conforme a própria cientista:

Embora agora estejamos muito mais conscientes sobre a igualdade de oportunidades, acho que ainda há uma série de desvantagens estruturais inerentes às mulheres. Estou muito consciente de que, tendo trabalhado meio período, tendo tido uma carreira bastante interrompida, meu histórico de pesquisa é muito mais irregular do que qualquer homem de idade comparável (BELL BURNELL, 1996, p. 184).

Durante sua estadia no Observatório Real de Edimburgo, a cientista passou a questionar o fato das mulheres serem direcionadas a empregos em meio período. Para a biógrafa McGrayne (1998, p. 375), a cientista apontou que “[...] o problema com o trabalho de meio período é que ele pressupõe que os cuidados domésticos e infantis permaneçam com as mulheres, e os trabalhos de meio período e de status inferior muitas vezes caminham juntos tradicionalmente”. Considerando que as mulheres foram direcionadas às profissões relacionadas ao cuidado, o contexto de industrialização manteve esta dinâmica, “[...] levando as mulheres para o trabalho fora de casa, mas mantendo-as nessas profissões de cuidados” (GUIMARÃES; OLIVER, 2017, p. 244).

É interessante apontar que, a exemplo dos diferentes posicionamentos da cientista na época do Prêmio Nobel e em tempos posteriores à premiação, McGrayne (1998) aponta como a participação de Bell Burnell em discussões de gênero na ciência aconteceu gradualmente. Seu posicionamento em relação aos episódios de discriminação vivenciados pela cientista durante a graduação evidencia tal aspecto. Segundo ela, “em parte, acho que foi à medida que fui ficando mais velha que tive uma perspectiva das coisas, que vi mais claramente as injustiças [...] Eu não estava terrivelmente alerta - não estava nem um pouco alerta - como feminista naquela época” (BELL BURNELL, 2000, p. 30). De fato, Fox Keller (2006) argumenta que muitas mulheres atuantes na ciência deram inúmeras contribuições sem estar diretamente associadas aos debates feministas. Por certo, no seguinte comentário, por exemplo, a astrônoma elenca a importância de modelos de cientistas – durante a sua trajetória, “[...] não havia nenhum modelo, nem mesmo um mentor, na verdade” (BELL BURNELL, 2000, p. 73) – além da resignificação de situações vivenciadas por mulheres que adentram em tais discussões feministas:

Muitas mulheres que foram as primeiras mulheres a entrar nas áreas chegaram lá sendo dragões, machados de batalha ou até mesmo homenzinhos. Espero que, à medida que mais mulheres entrarem em campo, algumas das mulheres mais velhas tenham tempo e inclinação para ajudar a apoiar e encorajar as mulheres mais jovens, para que haja uma mentora, ou talvez uma rede ou um modelo para elas. Acho que tudo isso é muito importante. **Levei muito tempo para articular e interpretar as experiências que estava tendo e encontrar o equilíbrio certo: isso é sexista, isso é assédio, sou eu que sou paranoica ou o quê?** Se houvesse mulheres mais velhas a quem eu pudesse recorrer, acho que teria sido mais fácil (BELL BURNELL, 1996, p. 184, grifo nosso).

Neste relato, a cientista também certamente está se referindo a uma *cultura científica* cujas práticas são permeadas por características associadas ao imaginário masculino, como a competitividade e a neutralidade. Deste modo, de maneira a permanecer no ambiente científico, muitas vezes, “[...] as mulheres que tentam se tornar pesquisadoras aceitam esta cultura como a única possível” (LÖWY, 2020, p. 238). Por outro lado, em outra declaração, a cientista aponta uma crítica sobre a insuficiência de apenas incentivar a entrada de mulheres e de outros grupos na ciência sem efetuar mudanças na própria estrutura científica. Sobre este aspecto, a astrônoma aponta que:

Não acredito mais que tornar as mulheres mais corajosas, mais assertivas, “mais parecidas com os homens” é o caminho certo para seguir em frente. As mulheres não deveriam ter que fazer toda a adaptação. É hora de a sociedade se mover em direção às mulheres, não as mulheres em direção à sociedade. No passado, houve algumas mulheres astrônomas excelentes que não foram totalmente reconhecidas por suas contribuições. Embora o avanço e o reconhecimento das astrônomas mulheres possam vir de maneiras inesperadas e em surtos, como a pesquisa do pulsar, espero que eles venham mais rapidamente no futuro. No entanto, há mais mulheres na astronomia agora do que em 1967, quando eu era estudante de graduação, e a sociedade está mais acostumada com sua presença intelectual. As mulheres começaram a mover a sociedade em sua direção, e a familiaridade ajudará a gerar aceitação. Espero que as mulheres mais jovens encontrem o campo cada vez mais aberto e receptivo, e que suas realizações sejam prontamente reconhecidas (BELL BURNELL, 2004b, p. 489, grifo nosso).

Assim, “o motor principal da mudança [...] não é a presença física das mulheres pesquisadoras [...] mas a mudança global das atitudes a respeito das mulheres na sociedade” (LÖWY, 2020, p. 234). Da mesma forma, este posicionamento de Bell Burnell (2004b) se aproxima das críticas desenvolvidas ao *feminismo liberal*, em que defende “[...] que as mulheres assimilem a ciência, ao invés de vice-versa; supõe-se que nada na cultura ou no conteúdo das ciências, precise mudar para acomodá-las” (SCHIEBINGER, 2001, p. 24). Em outra ocasião, em sua participação em um dos episódios da série *Beautiful Minds*, veiculada pela BBC, a cientista apresentou um posicionamento sobre como as mulheres poderiam contribuir com o desenvolvimento científico:

Uma das coisas que as mulheres trazem para um projeto de pesquisa, ou mesmo qualquer projeto, é que elas vêm de um lugar diferente, têm uma formação diferente. A ciência foi nomeada, desenvolvida e interpretada por homens brancos durante décadas e as mulheres veem a sabedoria convencional de um ângulo ligeiramente diferente - e isso às vezes significa que [elas] podem apontar claramente para falhas na lógica, lacunas no argumento, [elas] podem dar uma perspectiva diferente do que é a ciência (BELL BURNELL, 2010).

Este posicionamento denota semelhanças com o chamado *feminismo da diferença*. Dentre vários aspectos, essa corrente elaborou críticas à dita neutralidade da ciência em relação ao gênero e enfatizou que diferenças entre homens e mulheres apresentam origens culturais. Em outras palavras, não consiste na defesa de uma mudança na ciência “[...] por meio de uma metodologia feminina, mas que a ciência como instituição cultural estava engendrada pelas relações de gênero” (SANTANA, 2021, p. 61). Assim, revelou-se que “[...] valores geralmente atribuídos às mulheres foram excluídos da ciência e que desigualdades de gênero foram construídas na produção e estrutura do conhecimento” (SCHIEBINGER, 2001, p. 26). Um possível contraponto, apontado por Schiebinger (2001, p. 27), entretanto, a ser elaborado sobre este posicionamento diz respeito ao fato de não se desejar recair na defesa de uma maneira “feminina” de se fazer ciência. Deste modo,

Embora traços denominados femininos possam, às vezes, servir como ferramentas para crítica, talvez por nos permitir ver aspectos da natureza que foram mal compreendidos ou negligenciados, não se pode esperar que eles sirvam de base para um tipo inteiramente novo de ciência.

4.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os Estudos Feministas sobre a Ciência possibilitaram direcionar pesquisas no sentido de se evidenciar dinâmicas de opressão de gênero existentes nas práticas, nos ambientes e nos resultados científicos. Em especial, a escrita sobre as trajetórias de cientistas mulheres possibilita, dentre vários aspectos, romper com um modelo de representação da ciência “[...] que apenas destaca a presença de homens como líderes de pesquisa, como cientistas de destaque e como vencedores de grandes prêmios reguladores” (LIMA, 2019, p. 38-39). No sentido de ensejar mudanças na representação do campo científico, “[...] a História da Ciência tem o poder de, se não fazer, ao menos iniciar tais reparações. Deve estar atenta ao mundo atual e romper com as estruturas de desigualdade” (VIEIRA, 2021, p. 11).

Assim, especificamente, longe de querer apresentar as histórias de vida das mulheres em um caráter meramente descritivo, é imprescindível que “[...] reflexões políticas sejam levantadas ao teorizar sobre essas histórias de vida, pensando a partir de epistemologias feministas, questionando os modos como gênero demarcou a vida daquelas mulheres cientistas” (SANTANA, 2021, p. 53). Schiebinger (2001, p. 330) argumenta, no entanto, que “a influência feminista não foi sentida, uniformemente, através das ciências”. A Física consiste em um dos campos que apresenta uma maior escassez de estudos nessa perspectiva. Neste sentido, ainda, podemos refletir: “O fato de que os elétrons não têm gênero à maneira de certos objetos de inquirição nas ciências da vida e sociais torna a física imune à análise feminista?”

(SCHIEBINGER, 2001, p. 293). Como explorado neste artigo, o estudo biográfico de uma cientista atuante na Física, como Jocelyn Bell Burnell, permite que possamos evidenciar diversos elementos da prática e da formação dos cientistas neste campo, a exemplo da divisão do trabalho científico com base no gênero e a discriminação no que diz respeito ao reconhecimento intelectual entre físicas e físicos.

Desta maneira, “com o tempo ficou evidente como essas histórias de vida poderiam fornecer elementos na busca por mais equidade de gênero na ciência” (SANTANA, 2021, p. 61). De fato, realizar estudos biográficos sobre mulheres cientistas que envolvem “[...] o contexto das conquistas [e desafios] das mulheres [...] fornece uma visão sobre como as situações ocorreram no passado e como mudanças precisam ocorrer no futuro” (LARSEN, 1995, p. 127). Em específico, os elementos apontados na trajetória de Jocelyn Bell Burnell sugerem a importância de uma estrutura familiar e escolar de incentivo ao ingresso na ciência e de mudanças estruturais para mulheres permanecerem no ambiente científico.

Por outro lado, observamos a mudança de postura da cientista em discussões feministas ao longo da sua trajetória, que certamente, possibilitou elencar barreiras estruturais que se refletiram em sua carreira e que se projetam na história de tantas outras cientistas, como a discriminação durante a formação de mulheres em campos do conhecimento, como a Física; a conciliação do casamento e da maternidade com a vida acadêmica; e as diferenças no reconhecimento intelectual de mulheres, a exemplo do Efeito Matilda. Longe de querer esgotar essas discussões, sugerimos a possibilidade de estudos de outras fontes documentais com o objetivo de aprofundar ou elencar outros aspectos da trajetória da astrônoma, a exemplo de arquivos pessoais, como diários de laboratório e outras entrevistas. Em suma, Vieira (2021, p. 141), tratando o exemplo de Cecilia Payne-Gaposchkin (1900-1979) reitera a existência de tais obstáculos, tais como

[...] dúvidas sobre suas capacidades, dificuldades de acesso e permanência na carreira,
[...] baixo reconhecimento, local de trabalho masculinizado, progresso profissional lento
[...] menor remuneração, barreiras para captar recursos e o desrespeito à privacidade de suas vidas fora do ambiente profissional.

Ao se discutir acerca da escrita de narrativas sobre a trajetória de mulheres, como cientistas, há um importante contraponto a se destacar: devemos ser vigilantes sobre o fato de que “[...] homens e mulheres não formam grupos homogêneos e unitários” (SEPULVEDA; SILVA, 2021, p. 99). Assim, essa vigilância diz respeito a não ressaltarmos o imaginário de uma mulher universal, pois, como exposto por Sandra Harding, “[...] temos uma infinidade de

mulheres que vivem em intrincados complexos históricos de classe, raça e cultura” (1993, p. 9). Um conceito que considera essa reflexão é a interseccionalidade, podendo ser entendida como “entrelaçamento do gênero com a raça, a classe e a sexualidade” (COSTA, 2010, p. 50).

Desta forma, no exemplo explorado neste artigo, Jocelyn Bell Burnell é bem caracterizada como uma mulher cis, branca, europeia e heterossexual, inserida em uma condição socioeconômica relativamente favorável que lhe possibilitou o acesso ao campo científico. Apesar destas condições, percebemos determinados desafios em sua trajetória associados ao seu gênero, mas, que são barreiras que não generalizam as opressões vivenciadas por todas as cientistas: “a experiência isolada de uma mulher não pode servir de base para concepções e políticas que nos emanciparão a todas da hierarquia de gênero” (HARDING, 1993, p. 23):

As mulheres nunca constituíram um grupo cerrado com interesses, antecedentes, valores, comportamentos e maneirismos comuns, mas sim vieram sempre de diferentes classes, raças, orientações sexuais, gerações e países; as mulheres têm diferentes histórias, necessidades e aspirações (SCHIEBINGER, 2001, p. 26).

Em conclusão, como aponta Schiebinger, “[...] a ciência moderna é um produto de centenas de anos de exclusão das mulheres, [e] o processo de trazer mulheres para a ciência exigiu, e vai continuar a exigir, profundas mudanças estruturais na cultura, métodos e conteúdo da ciência” (2001, p. 37). Acrescentamos à citação da historiadora que tais mudanças estruturais podem ser ensejadas por meio de ações na educação científica. Neste âmbito, é válido demonstrar à discentes e docentes as potencialidades da ciência, mas também suas problemáticas como um corpo de conhecimento que também reproduziu – e ainda reproduz – opressões sociais, como de gênero. Em outras palavras, modificações também são igualmente requeridas na abordagem de exemplos de cientistas no contexto escolar.

Faz-se necessário mostrar que elas estiveram presentes, embora tenham sido vítimas de um projeto de apagamento de suas contribuições. Como as estudantes podem ver uma carreira promissora em física, por exemplo, se elas não se veem em livros didáticos, paradidáticos, em discussões sobre teorias ou em qualquer outro material de divulgação da ciência? (LIMA, 2019, p. 163).

Assim, concordamos com Sepulveda e Silva (2021) quanto à potencialidade na abordagem de elementos sobre Natureza da Ciência associada às discussões sobre relações de gênero na ciência, bem como outros demarcadores sociais, como raça e classe. Ao não se considerar tais aspectos “[...] é estar alheio à diversidade das personagens do campo da ciência” (LIMA, 2019, p. 163). Neste sentido, é possível, por exemplo, articular as reflexões deste artigo em conjunto com outras publicações sobre a história dos pulsares em uma sequência didática

direcionada à formação de professoras/es em Física e em Astronomia, de forma a ressaltar as contribuições de Jocelyn Bell Burnell e seu contexto de formação e atuação no campo científico e acadêmico. Este objetivo de pesquisa, aparentemente desafiador, pode ser mais bem explorado no contexto de investigações mais amplas, como em dissertações de mestrado.

Em suma, o acesso às narrativas sobre mulheres cientistas por discentes e docentes, em especial, meninas e mulheres, permite que nós, pesquisadores/as ou futuras/os cientistas, possamos nos reconhecer em tais histórias de vida, podendo “[...] ajudar a reorientar nossos modos familiares de pensar como as relações de gênero exercem poder sobre nossa própria existência e nossa relação com a ciência” (SANTANA, 2021, p. 86).

REFERÊNCIAS

- ANTENEODO, C. *et al.* Brazilian physicists community diversity, equity, and inclusion: A first diagnostic. **Physical Review Physics Education Research**, v. 16, n. 1, p. 1–13, 2020.
- BARTUSIAK, M. In Good Company: The protagonist of the neutron star story. **Natural History**, v. 125, n. 8, 2017.
- BELL BURNELL, J. Petit Four. **Annals of the New York Academy of Sciences**, v. 302, n. 1 Eighth Texas, p. 685–689, 1977.
- BELL BURNELL, J. The Discovery of Pulsars. In: KELLERMANN, K.; SHEETS, B. (Ed.). **Serendipitous Discoveries in Radio Astronomy**. Green Bank: National Radio Astronomy Observatory, 1983.
- BELL BURNELL, J. People in Physics: Interview with Jocelyn Bell Burnell. Entrevista Concedida a Robert Lambourne. **Physics Education**, v. 31, n. 3, p. 183–186, 1996.
- BELL BURNELL, J. Oral History Interviews. Entrevista Concedida a David DeVorkin. **Niels Bohr Library & Archives, American Institute of Physics**, 2000.
- BELL BURNELL, J. Pliers, pulsars and extreme physics. **Astronomy and Geophysics**, v. 45, n. 1, p. 1.07-1.11, 2004a.
- BELL BURNELL, J. So Few Pulsars, so Few Females. **Science**, v. 304, n. 5670, p. 489, 2004b.
- BELL BURNELL, J. The Discover Interview: Jocelyn Bell Burnell. Entrevista Concedida a Douglas Colligan. **Discover**, v. 30, n. 10, 2009.
- BELL BURNELL, J. Discovery of Pulsars (Temporada 1, Episódio 1) **Beautiful Minds** [Seriado de Televisão]. United Kingdom: BBC, 2010.
- BELL BURNELL, J. The past, present and future of pulsars. **Nature Astronomy**, v. 1, n. 12, p. 831–834, 2017.

BELL BURNELL, J. The woman who heard stars spin. Entrevista Concedida a Leah Crane. **New Scientist**, v. 239, n. 3195, p. 16, 2018.

BLUE, J.; TRAXLER, A.; COCHRAN, G. Resource Letter: GP-1: Gender and Physics. **American Journal of Physics**, v. 87, n. 8, p. 616–626, 2019.

CABRAL, C. G. Sobre nomes e (re)nomes: gênero, história e ensino da engenharia no Brasil. In: GROSSI, M. P.; REA, C. A. **Teoria Feminista e Produção de Conhecimento Situado: Ciências Humanas, Biológicas, Exatas e Engenharias**. Florianópolis: Tribo da Ilha e Devires, 2020. p. 185-199.

CELLARD, A. A análise documental. In: POUPART, J. *et al.* (Ed.). **A Pesquisa Qualitativa: enfoques epistemológicos e metodológicos**. 3. ed. Petrópolis: Editora Vozes, 2012. p. 295–315.

COMBES, F.; DURRET, F. Jocelyn Bell Burnell, découvreuse des pulsars. **Reflets de la Physique**, v. 106, n. 64, p. 30–32, 2020.

CORDEIRO, M. D. Mulheres na Física: um pouco de história. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 34, n. 3, p. 669–672, 2017.

COSTA, C. de L. Feminismo, tradução cultural e a descolonização do saber. **Fragmentos: Revista de Língua e Literatura Estrangeiras**, v. 21, n. 2, p. 045–059, 2010.

FOX KELLER, E. Qual foi o impacto do feminismo na ciência? **Cadernos Pagu**, n. 27, p. 13–34, 2006.

GUIMARÃES, C.; OLIVER, G. S. Ciência Feminista, História e Epistemologia. In: MOURA, B. A.; FORATO, T. C. M. (Org.). **Histórias das Ciências, Epistemologia, Gênero e Arte: ensaios para a formação de professores**. São Bernardo do Campo: Editora UFABC, 2017. p. 237-253.

HARDING, S. A instabilidade das categorias analíticas na teoria feminista. **Revista Estudos Feministas**, v. 1, n. 1, p. 7–32, 1993.

HEERDT, B. **Saberes Docentes: Gênero, Natureza da Ciência e Educação Científica**. 2014. Londrina. 239 p. Tese (Doutorado em Ensino de Ciências e Educação Matemática) – Universidade Estadual de Londrina.

HEWISH, A. *et al.* Observation of a Rapidly Pulsating Radio Source. **Nature**, v. 217, n. 5130, p. 709–713, 1968.

HEWISH, A. Pulsars and High Density Physics. **Nobel Lectures**, p. 174–183, 1974.

HEWISH, A. Discovery of Pulsars (Temporada 1, Episódio 1) **Beautiful Minds** [Seriado de Televisão]. United Kingdom: BBC, 2010.

LARSEN, K. M. Women in astronomy: Inclusion in introductory textbooks. **American Journal of Physics**, v. 63, n. 2, p. 126–131, 1995.

LIMA, I. P. C. Lise Meitner e a fissão nuclear: uma visão não eurocêntrica da ciência. **Revista Gênero**, v. 16, n. 1, p. 51–65, 2015.

LIMA, I. P. C. **Lise Meitner e a Fissão Nuclear**: caminhos para uma narrativa feminista. Salvador. 2019. 181 p. Tese (Doutorado em Ensino, Filosofia e História das Ciências) – Universidade Federal da Bahia.

LÖWY, I. Por que tão devagar? Os obstáculos para a igualdade dos sexos na pesquisa científica. In: GROSSI, M. P; REA, C. A. **Teoria Feminista e Produção de Conhecimento Situado**: Ciências Humanas, Biológicas, Exatas e Engenharias. Florianópolis: Tribo da Ilha e Devires, 2020. p. 231-246.

MAIA FILHO, A. M.; SILVA, I. L. A trajetória de Chien Shiung Wu e a sua contribuição à Física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 36, n. 1, p. 135–157, 2019.

MATTHEWS, M. R. História, filosofia e ensino de ciências: a tendência atual de reaproximação. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 12, n. 1, p. 164–214, 1995.

MCGRAYNE, S. B. **Nobel Prize Women in Science**: Their Lives, Struggles and Momentous Discoveries. 2. ed. Washington: Joseph Henry Press, 1998.

MCNAMARA, G. **Clocks in the Sky**: The Story of Pulsars. New York: Praxis, 2008.

MERALI, Z. Pulsar discoverer wins \$3-million prize. **Nature**, v. 561, p. 161, 2018.

NOBEL PRIZE. **The Nobel Prize in Physics 1974**. 2022. Disponível em: <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/1974/summary/>. Acesso em: 04 jan. 2022.

PIRES, L. N.; PEDUZZI, L. O. Q. Jocelyn Bell Burnell e os Pulsares: trajetória e contribuições para a Astronomia Moderna. In: Simpósio Nacional de Ensino de Física, 24., 2021, Online. **Anais...** Santo André: Sociedade Brasileira de Física.

PIRES, L. N.; PEDUZZI, L. O. Q. Little Green Men: o episódio de detecção dos pulsares e o protagonismo de Jocelyn Bell Burnell. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 27, n. 1, p. 108–136, 2022a.

PIRES, L. N.; PEDUZZI, L. O. Q. Pulsating Stars: O Contexto Histórico de Pós-Detecção dos Pulsares no Campo da Física e da Astronomia. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 22, e37497, p. 1-27, 2022b.

PIRES, L. N.; SANTOS, I. M.; DAMASIO, F. Maria Goeppert-Mayer e o modelo nuclear de camadas: contribuições de uma mulher cientista e implicações para o ensino de Física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 38, n. 1, p. 293–324, 2021.

ROSSITER, M. W. **Women Scientists in America**: Struggles and Strategies to 1940. Baltimore: Johns Hopkins Press, 1982.

ROSSITER, M. W. The Matthew Matilda Effect in Science. **Social Studies of Science**, v. 23, n. 2, p. 325–341, 1993.

ROYAL ASTRONOMICAL SOCIETY. **Royal Astronomical Society Honours Stars of Astronomy and Geophysics**. 2021. Disponível em: <https://ras.ac.uk/news-and->

[press/news/royal-astronomical-society-honours-stars-astronomy-and-geophysics](https://www.royalsocietypublishing.org/press/news/royal-astronomical-society-honours-stars-astronomy-and-geophysics). Acesso em: 04 jan. 2022.

SANTANA, C. Q. **Gênero, Ciência e História: Reflexões Para Escrita da História de Mulheres Cientistas**. 2021. Salvador. 92 p. Dissertação (Mestrado em Ensino, Filosofia e História das Ciências) - Universidade Federal da Bahia e Universidade Estadual de Feira de Santana.

SANTANA, C. Q.; PEREIRA, L. S. O caso Alice Ball: uma proposta interseccional para o Ensino de Química. **Química Nova na Escola**, v. 43, n. 4, p. 380–389, 2020.

SCHIEBINGER, L. **O feminismo mudou a ciência?** Bauru: EDUSC, 2001.

SEPULVEDA, C.; SILVA, I. Narrativas dissidentes: contribuições da história das mulheres para uma educação anti-opressão. In: GALIETA, T. (Org.). **Temáticas Sociocientíficas na Formação de Professores**. São Paulo: Livraria da Física, 2021. p. 93-111.

SOMBRIO, M. M. O. **Em Busca Pelo Campo: Ciências, Coleções, Gênero e Outras Histórias sobre Mulheres Viajantes no Brasil em Meados do Século XX**. 2014. Campinas. 239 p. Tese (Doutorado em Política Científica e Tecnológica) - Universidade Estadual de Campinas.

VIEIRA, P. C. **Uma estrela eclipsada na ciência: um resgate histórico de Cecília Payne e seu papel na determinação da composição estelar**. 2021. Porto Alegre. 172 p. Tese (Doutorado em Ensino de Física) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

VIEIRA, P. C.; MASSONI, N. T.; ALVES-BRITO, A. O papel de Cecilia Payne na determinação da composição estelar. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 43, p. e20210028, 2021.

WADE, N. Discovery of Pulsars: A Graduate Student's Story. **Science**, v. 189, n. 4200, p. 358–364, 1975.

Artigo 5

OS FARÓIS ASTRONÔMICOS NA SALA DE AULA: PROPOSIÇÃO DE UMA UNIDADE DE ENSINO SOBRE OS PULSARES PARA A FORMAÇÃO DOCENTE EM FÍSICA E ASTRONOMIA

“Nothing is static, nothing is final, everything is held provisionally”.

Jocelyn Bell Burnell³³

³³ Tradução: “*Nada é estático, nada é definitivo, tudo é mantido provisoriamente*”. Referência: DISCOVERY of Pulsars (Temporada 1, Episódio 1) Beautiful Minds [Seriado de Televisão]. United Kingdom: BBC, 2010.

5 OS FARÓIS ASTRONÔMICOS NA SALA DE AULA: PROPOSIÇÃO DE UMA UNIDADE DE ENSINO SOBRE OS PULSARES PARA A FORMAÇÃO DOCENTE EM FÍSICA E ASTRONOMIA

RESUMO: Apesar das inúmeras justificativas, expostas em documentos oficiais, sobre a importância da discussão de elementos sobre Astronomia no contexto escolar, é consensual em diversas pesquisas a necessidade de uma maior exploração deste campo do conhecimento na formação nas Licenciaturas em Ciências, Física e Astronomia. Um profícuo caminho para contribuir em tal perspectiva consiste na abordagem de elementos sobre a História da Astronomia: um dos mais importantes episódios históricos da área consiste na descoberta dos pulsares, que foram identificados por meio da atuação da astrônoma britânica Jocelyn Bell Burnell. De maneira a contribuir com o acesso docente a temáticas contemporâneas em Astronomia, embasadas em uma perspectiva histórica, propomos, em um âmbito teórico, uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa que objetiva desenvolver discussões de caráter histórico-epistemológico sobre a descoberta dos pulsares, sendo direcionada ao contexto de formação inicial de professoras/es de Física e de Astronomia. A proposta é embasada em pressupostos educacionais da Teoria da Aprendizagem Significativa Crítica de Marco Antônio Moreira. Em conclusão, elencamos algumas reflexões e possibilidades teóricas relacionadas à sequência didática.

Palavras-Chave: Descobertas Científicas; Serendipidade; Ciência Normal; Estrelas de Nêutrons; Mulheres na Ciência; Jocelyn Bell Burnell; Unidades de Ensino Potencialmente Significativas.

5.1 INTRODUÇÃO

Durante os últimos anos, houve uma ampla divulgação de descobertas e de pesquisas relativas ao campo da Astronomia, a exemplo da detecção das ondas gravitacionais por meio do interferômetro *Virgo* e o LIGO³⁴. Por certo, “com o advento da astronomia de ondas gravitacionais, ganhamos acesso a eventos cataclísmicos” (MENDES, 2021, p. 59): em 2015, a equipe do LIGO detectou a coalescência de dois buracos negros, e no ano de 2017, em conjunto com o *Virgo*, o LIGO também veio a identificar a fusão de duas estrelas de nêutrons. Assim, a partir dos esforços de astrônomas/os, físicas/os, engenheiras/os e outras/os profissionais, o investimento em ciência “[...] financiou um sem-número de pesquisas que, com auxílio de

³⁴ Em português, “Observatório de Ondas Gravitacionais por Interferômetro Laser”.

tecnologia de ponta, mudaram completamente nossa concepção do Cosmos ao longo das últimas décadas” (SLOVINSCKI; ALVES-BRITO; MASSONI, 2021, p. e20210173-3).

Em relação à importância da abordagem de aspectos sobre descobertas astronômicas no contexto escolar, a exemplo das supracitadas, Soler e Leite (2012) ressaltam que trabalhos da área sugerem as seguintes justificativas: o despertar de sentimentos e inquietações sobre o Universo, a relevância sócio-histórico-cultural da Astronomia e a possibilidade de ampliação da visão de mundo por meio deste campo científico. Por meio deste tema, em nível de exemplo, é possível “[...] compreender as notícias sobre as pesquisas científicas a respeito da origem e evolução do universo, sobre a busca por vida em outros planetas e sobre novas descobertas realizadas com os telescópios espaciais” (HENRIQUE; ANDRADE; L’ASTORINA, 2010, p. 22).

Em artigo recente, Horvath (2021) sugere que a Base Nacional Comum Curricular (BNCC) indica, embora de maneira esparsa, a abordagem de conceitos de Astronomia e Astrofísica nas chamadas Unidades Temáticas, como *Terra e Universo*. Em relação ao Ensino Médio, por exemplo, algumas das habilidades preconizadas pelo documento que se relacionam com a Astronomia consistem em:

Analisar e utilizar modelos científicos, propostos em diferentes épocas e culturas para avaliar distintas explicações sobre o **surgimento e a evolução** da Vida, da Terra e do Universo.

[...]

Analisar a evolução estelar associando-a aos modelos de origem e distribuição dos elementos químicos no Universo, compreendendo suas relações com as condições necessárias ao surgimento de sistemas solares e planetários, suas estruturas e composições e as possibilidades de existência de vida, utilizando representações e simulações com ou sem o uso de dispositivos e aplicativos digitais (BRASIL, 2018, p. 557, grifo nosso).

Entretanto, considerando a reconhecida ausência de discussões sobre elementos da Astronomia na formação inicial de professoras/es (LANGHI; NARDI, 2009; HENRIQUE; ANDRADE; L’ASTORINA, 2010), propomos que um profícuo caminho para amenizar esta problemática em alguma medida, além de enriquecer a formação dos docentes, seja por meio de aspectos históricos *sobre* a ciência: “a história da astronomia é repleta de elementos que não apenas instigam a curiosidade [...] mas que propiciam debates valiosos acerca do desenvolvimento de seus conceitos e do próprio funcionamento da atividade científica” (GORGES NETO; ARTHURY, 2021, p. 167–168). As discussões de Natureza da Ciência (NdC) podem contemplar, por exemplo, que “[...] a astronomia não é algo exclusivamente teórico e desenvolvida somente com base em hipóteses não testadas [...] [podendo] modificar a concepção [...] de que a astronomia é algo imutável e livre de erros” (ALMEIDA; MENEZES, 2020, p. 78–79).

A descoberta dos pulsares, por exemplo, consiste em um dos mais importantes episódios históricos da Astronomia, sendo repleta de elementos que possibilitam reflexões acerca da natureza do conhecimento científico. Como explorado em determinados artigos (PIRES; PEDUZZI, 2022a, 2022b), a identificação dos primeiros pulsares explicita o papel da serendipidade em uma descoberta científica, sabendo que até o trabalho protagonizado pela astrônoma Jocelyn Bell Burnell, estrelas de nêutrons e buracos negros eram “[...] tomados como uma curiosidade intelectual, pouco plausível de realmente existir no mundo” (CARDOSO; DUQUE, 2021, p. 30). Após o início da descoberta, entretanto, a investigação “[...] desses objetos exóticos e suas propriedades passou de um problema acadêmico para um tema central em astrofísica” (MENDES, 2021, p. 58). De modo mais amplo, tal descoberta reforçou a possibilidade da existência de objetos como buracos negros.

Em 1967, Jocelyn Bell encontrou um sinal inesperado nos dados que coletava com o radiotelescópio que ajudara a construir em Cambridge, como parte do seu doutorado: um sinal periódico de rádio, extremamente estável, com período de 1,337 segundos. Naturalmente, a hipótese inicial foi que o sinal tivesse origem artificial, pois nenhuma fonte astrofísica conhecida até então exibia tamanha regularidade, variando num intervalo de tempo tão curto. No entanto, análise detalhada demonstrou tratar-se de uma fonte externa ao sistema solar; a ela deu-se o nome de *pulsar*. Antes da descoberta dos pulsares, não era óbvio se estrelas de nêutrons de fato existiam e como seria possível observá-las. [...] No ano que se seguiu à publicação do trabalho de Bell e Hewish, ferveu intenso debate sobre a natureza do sinal. Eventualmente, se consolidou a ideia de que pulsares são estrelas de nêutrons magnetizadas (MENDES, 2021, p. 59, grifo da autora).

Langhi e Nardi (2012) apontam que uma das dificuldades encontradas por docentes em abordarem a temática de Astronomia consiste no número reduzido de bibliografias confiáveis, além do restrito tempo para pesquisas. Tais fatores implicam na “[...] falta de atualizações constantes aos novos fenômenos e conhecimentos astronômicos por parte dos professores” (LIMA *et al.*, 2021, p. 4). Procurando contribuir, em alguma medida, com o acesso das/os docentes para temáticas contemporâneas para o ensino de Astronomia com um devido respaldo histórico-epistemológico, apresentamos neste artigo, uma proposta de Unidade de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS) com o objetivo de promover discussões de caráter histórico sobre a descoberta dos pulsares, na perspectiva da formação de licenciandas/os em Física e em Astronomia. Com o estudo, intencionamos responder ao seguinte questionamento: *“Como abordar o processo de descoberta dos pulsares protagonizado pela cientista Jocelyn Bell Burnell em uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa, considerando elementos histórico-epistemológicos, para a formação inicial de professoras e professores de Física e de Astronomia?”*.

O artigo está organizado nas seguintes seções: discutimos, em primeiro momento, elementos teóricos que orientam a elaboração de sequências didáticas no formato de uma UEPS,

articulados com determinados aspectos do referencial educacional da Teoria da Aprendizagem Significativa Crítica (TASC). Em seguida, apresentamos a proposta da UEPS intitulada “*A Little Bit of Scruff: o episódio de descoberta dos pulsares e a trajetória da astrônoma Jocelyn Bell Burnell*”, direcionada à formação inicial de professoras/es em Física e em Astronomia, construída com base em artigos (PIRES; PEDUZZI, 2021, 2022a, 2022b, 2022c) e materiais de divulgação científica sobre a temática. Por último, apresentamos reflexões sobre a Unidade Didática, no sentido de se indicar potencialidades e limitações em sua implementação.

5.2 UEPS: ELEMENTOS TEÓRICO-METODOLÓGICOS

Nos últimos anos, no contexto de ensino de Física e de Astronomia, inúmeros trabalhos se debruçaram em proposições e implementações de Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS) nos mais diversos níveis educativos, desde o ensino médio (SILVA; DAMASIO; RAICIK, 2019; SOUZA; ANDRADE NETO, 2020), perpassando o contexto de formação inicial (PANTOJA; MOREIRA, 2020) e formação continuada (DAMASIO; PEDUZZI, 2016). Em uma revisão bibliográfica sobre as tendências e possibilidades de pesquisas com UEPS, desenvolvida por Souza e Pinheiro (2019), as autoras enfatizaram o fato de que, a partir do ano de 2011, os estudos com a utilização desta metodologia de ensino sugerem “[...] uma tendência crescente para área de ensino” (p. 120), apesar dos estudos apresentarem que “[...] há maior concentração com estudantes da etapa final da educação básica brasileira, o Ensino Médio” (p. 121).

De acordo com Moreira (2011), as UEPS consistem em sequências de ensino especialmente baseadas nos pressupostos educacionais da Teoria de Aprendizagem Significativa de David Ausubel, mas também consideram elementos da Teoria da Aprendizagem Significativa Crítica de Marco Antônio Moreira, no interacionismo social de Lev Vygotsky e nos campos conceituais de Gérard Vergnaud. De forma a estabelecer uma aproximação com as temáticas apresentadas na proposta de ensino, consideramos os pressupostos educacionais da Teoria de Aprendizagem Significativa Crítica (TASC), que são derivadas, em grande medida, da Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS).

A *Aprendizagem Significativa* consiste em um processo cognitivo em que novos conhecimentos são assimilados pela/o aprendiz de maneira *substantiva e não arbitrária*. Em relação a estes conceitos, “substantiva quer dizer não-literal [...] e não-arbitrária significa que a interação [é] [...] com algum conhecimento especificamente relevante já existente na estrutura cognitiva do

sujeito que aprende” (MOREIRA, 2012, p. 30). Em outras palavras, para a aprendizagem de um conceito ser significativa, a/o aprendiz precisa assimilar “a substância [...] das novas ideias, não as palavras precisas para expressá-las” (MOREIRA, 1997, p. 20) e precisa associar o novo conhecimento a determinadas concepções prévias existentes em sua estrutura cognitiva. Isto resume a conhecida caracterização proferida por David Ausubel de que “o fator isolado mais importante que influencia a aprendizagem é aquilo que o aluno já sabe”.

Assim, *subsunçores* são chamados os conhecimentos compreendidos previamente pela/o aprendiz que servem de âncora para o aprendizado de novos conceitos. Segundo Moreira (2012, p. 32), “não é conveniente “coisificá-lo”, “materializá-lo” como um conceito, por exemplo [...] pode ser também uma concepção, um construto, uma proposição, uma representação, um modelo”. Em meio ao processo de aprendizagem significativa, tais subsunçores são alterados, sendo mais bem elaborados ou aprofundados: “[...] os novos conhecimentos adquirem um significado para o sujeito, ao passo que os subsunçores também são modificados; eles podem adquirir novos significados ou corroborar os já existentes” (RAICIK, 2020, p. 167).

Entretanto, de maneira a elucidar ou ensejar o desenvolvimento de subsunçores sobre determinada temática pelas/os aprendizes, recorre-se à utilização dos chamados *organizadores prévios*, que devem apresentar discussões mais gerais e abrangentes sobre a temática a ser explorada na proposta. Dentre diferentes possibilidades, podem consistir em “[...] um enunciado, uma pergunta, uma situação-problema, uma demonstração, um filme, uma leitura introdutória, uma simulação. Pode ser também uma aula que precede um conjunto de outras aulas” (MOREIRA, 2012, p. 39). Cabe apontar que, embora a perspectiva da aprendizagem significativa se apresente num sentido de crítica à aprendizagem mecânica, esta última é

[...] necessária quando um indivíduo adquire informações em uma área de conhecimento completamente nova [...] isto é, a aprendizagem mecânica ocorre até que alguns elementos de conhecimento, relevantes a novas informações na mesma área, existam na estrutura cognitiva e possam servir de subsunçores, ainda que pouco elaborados (MOREIRA, 1999, p. 154–155).

Os conhecimentos na forma de subsunçores cada vez mais diferenciados e contextualizados, mediante novas aprendizagens significativas, dependem da ocorrência de dois processos: a *diferenciação progressiva* e a *reconciliação integrativa*. A diferenciação progressiva consiste no “[...] processo de atribuição de novos significados a um dado subsunçor” (MOREIRA, 2012, p. 34). Para tanto, conceitos e ideias sobre determinada temática devem ser discutidos a partir de seus aspectos mais gerais em direção a elementos mais específicos. A reconciliação integrativa, por sua vez, ocorrendo de maneira simultânea à diferenciação progressiva, “[...] consiste em eliminar diferenças aparentes, resolver inconsistências, integrar significados, fazer

superordenações” (MOREIRA, 2012, p. 35). Em outras palavras, é um processo de exploração entre relações entre diferentes conceitos e/ou preposições. Outros princípios considerados também consistem na *organização sequencial* e na *consolidação dos conteúdos*. Ao se pensar em uma sequência didática, é importante *organizar sequencialmente* os conteúdos de maneira que determinados tópicos sejam dependentes daqueles que os antecedem, o que significa “[...] tirar-se partido das dependências sequenciais naturais existentes” (MOREIRA, 1999, p. 162). É de suma importância assegurar que as/os aprendizes apresentem determinados conhecimentos antes de se adentrar em novos conceitos, logo, “exercícios, resoluções de situações-problema, clarificações, discriminações, diferenciações, integrações são importantes antes da introdução de novos conhecimentos” (MOREIRA, 2012, p. 50).

Em suma, é importante enfatizar que a ocorrência de aprendizagem significativa é também dependente das seguintes condições: o aprendiz deve apresentar uma *predisposição* para aprender a temática: “[...] se a intenção do[a] aprendiz for simplesmente a de memorizá-lo, arbitrária e literalmente, tanto o processo de aprendizagem como seu produto serão mecânicos” (MOREIRA, 1999, p. 156); além do fato do material de aprendizagem dever ser *potencialmente significativo* – se diz “potencialmente” pelo fato de que o significado está em quem aprende.

Entretanto, Gulis *et al.* (2021, p. 92) argumentam que a TAS “[...] atribui pouca ênfase às dimensões sociais ou interacionistas. Em outras palavras, as críticas que são também fundamentais ao processo educacional devem ser consideradas”. Assim, embora considere princípios da teoria ausubeliana, a Teoria de Aprendizagem Significativa Crítica (TASC) de Moreira (2005), que se baseia em aspectos do ensino subversivo definido por Neil Postman e Charles Weingartner, parte do princípio que “[...] em tempos de mudanças rápidas e drásticas não basta fomentar uma aprendizagem significativa, também é necessário que ela seja subversiva” (DAMASIO; PEDUZZI, 2016, p. 20).

O ensino subversivo de Postman e Weingartner (1978) defende a exploração, no contexto de sala de aula, de conceitos como “[...] relatividade, probabilidade, incerteza, função, causalidade múltipla [...] relações não-simétricas, graus de diferença e incongruência” (MOREIRA, 2005, p. 84), em contraponto a *conceitos fora de foco*, que englobam, por exemplo, a noção da ciência como produtora de verdades absolutas e a educação científica como um mero processo de transmissão de conhecimentos. Moreira (2005), por sua vez, se baseia em uma aprendizagem subversiva, optando por chamar de aprendizagem significativa crítica, a qual possibilita que

[...] o aluno poderá fazer parte de sua cultura e, ao mesmo tempo, não ser subjugado

por ela, por seus ritos, mitos e ideologias. É através dessa aprendizagem que ele poderá lidar construtivamente com a mudança sem deixar-se dominar por ela (MOREIRA, 2005, p. 88).

Estendemos a justificativa de Moreira (2005) na perspectiva que, por meio da TASC, também seja possível refletir sobre as dinâmicas de opressão reforçadas pela ciência, como de gênero, mas, no sentido de refletir sobre a necessidade de mudanças estruturais deste importante construto da humanidade. De outra forma, intenciona-se que docentes, tanto na educação básica quanto na educação superior, possam reunir elementos para sua prática de maneira a ensejar um ambiente educacional que seja mais acessível a mulheres e outros grupos sociais, direcionando-se na construção de um espaço acadêmico e científico que considere a pluralidade de indivíduos em sua produção como parte de sua natureza. Deste modo, não somente é importante conhecer um conceito científico, a partir

[...] de um ponto de vista interno às ciências da natureza, por exemplo, em conhecer seus métodos de funcionamento e conceitos científicos pertinentes, [...] [mas também] seus impactos externos não podem (e não devem) ser desprezados, acolhendo um ensino historicamente contextualizado, consistente e, igualmente, crítico em relação ao papel social das ciências [...] essa crítica é estendida, principalmente, ao que se refere à participação das mulheres no desenvolvimento científico e à importância que a própria crítica feminista à ciência assume para esse propósito (VIEIRA, 2021, p. 55).

Moreira (2005), ainda, aponta onze princípios para ensejar a aprendizagem significativa crítica, a saber: (a) princípio do conhecimento prévio – aprendemos somente em relação ao que já sabemos; (b) princípio da interação social e do questionamento – considerar o intercâmbio de perguntas entre participantes do processo de aprendizado; (c) princípio da não centralidade do livro-texto – partir da diversidade de materiais educativos; (d) princípio da/o aprendiz como preceptor/representador – o conhecimento não é passivamente aprendido, mas é assimilado a partir de percepções prévias; (e) princípio do conhecimento como linguagem – possuindo sua linguagem, a própria “[...] ciência é uma extensão, um refinamento, da habilidade humana de perceber o mundo” (p. 92); (f) princípio da consciência semântica – “o significado está nas pessoas, não nas palavras”, (p. 92); (g) princípio da aprendizagem pelo erro – até porque o próprio conhecimento científico se desenvolve pela superação de erros; (h) princípio da desaprendizagem – identificar conceitos ou concepções prévias que podem ser insuficientes ou incompatíveis na resolução de problemáticas; (i) princípio da incerteza do conhecimento – “nosso conhecimento é, portanto, incerto, pois depende das perguntas que fazemos sobre o mundo” (p. 96); (j) princípio da não utilização do quadro-de-giz – ou apenas das apresentações em *slides*, o que se direciona a diversidade de estratégias de ensino; (k) princípio do abandono da narrativa – propiciar que as/os aprendizes discorram sobre o conhecimento, sem recair em

monólogos pela/o docente.

Para a elaboração das UEPS, Moreira (2011) apresenta orientações denominadas de *aspectos sequenciais*, sendo longe de serem entendidos como princípios prescritivos. Deste modo, recomenda-se a definição do tópico específico a ser abordado – no âmbito deste artigo, a história da descoberta dos pulsares. Em seguida, é importante a proposição de situações iniciais que oportunizem a manifestação de subsunções sobre a temática. Posteriormente, considerando a diferenciação progressiva e a reconciliação integradora como “[...] processos da dinâmica da estrutura cognitiva [que] podem também ser tomados como princípios programáticos do conteúdo da matéria de ensino” (MOREIRA, 2012, p. 35), deve-se apresentar situações-problema sobre a temática, de maneira introdutória. Em seguida, deve-se apresentar o conhecimento pelos seus aspectos mais gerais, “[...] dando uma visão inicial do todo, do que é mais importante na unidade de ensino, mas logo exemplificando, abordando aspectos específicos” (MOREIRA, 2011, p. 4). De fato, com base no princípio de reconciliação integrativa, é importante se retomar os aspectos mais estruturantes em simultâneo com uma apresentação de novos conteúdos em nível mais alto de complexidade, por meio de novas situações-problema.

Na direção para encerramento da unidade, é importante reservar momentos para uma revisão dos conteúdos em uma perspectiva integradora. A avaliação consiste em aspecto importante neste processo: a *avaliação formativa*, que deve ser desenvolvido ao longo da implementação da Unidade Didática, além da importância de uma *avaliação somativa*, que oportunize para a/o aprendiz – no nosso exemplo, professoras/es em formação inicial – que utilize a informação apreendida em outros contextos. De outra forma, deve-se “[...] formular questões e problemas de uma maneira nova e não familiar, que requeira máxima transformação do conhecimento adquirido” (MOREIRA, 1999, p. 156). Pelo fato de ser um processo extenso, a ocorrência de aprendizagem significativa deve se basear em evidências de aprendizagem ao longo de todo o processo.

5.3 PULSARES EM SALA DE AULA: PROPOSIÇÃO DA UEPS

No âmbito das pesquisas em ensino de ciências, Moreira (2004) enfatiza a importância de tais investigações serem desenvolvidas com base em referenciais teóricos devidamente explicitados, que sejam coerentes mutuamente e adequados aos fins das pesquisas. Assim, construímos a Unidade Didática com base em três referenciais: o metodológico, o educacional e o epistemológico. Como já mencionado anteriormente, baseamo-nos em pressupostos

metodológicos que fundamentam uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) (MOREIRA, 2011). O referencial educacional, por sua vez, é a Teoria de Aprendizagem Significativa Crítica (TASC) de Marco Antônio Moreira (2005), especialmente escolhido por seu viés *crítico*, o que concede elementos explícitos que permitem discussões sobre elementos de gênero na ciência. Os referenciais epistemológicos, considerados para análise de elementos históricos envolvidos no processo de descoberta dos pulsares, incluem reflexões de estudiosos como Thomas Kuhn (2011, 2018), Norwood Hanson (1967) e Ludwik Fleck (2010), além de estudos que articulem relações entre Gênero e Ciências, como Margaret Rossiter (1993), Sharon McGrayne (1998) e Londa Schiebinger (2001).

Cabe mencionar que a proposta sugerida incorpora considerações e reflexões críticas sobre uma intervenção realizada no contexto de um Estágio de Docência, em que apresentamos para licenciandas/os em Física uma discussão de caráter histórico-epistemológico sobre a serendipidade³⁵ na descoberta dos pulsares, evento científico protagonizado pela cientista Jocelyn Bell Burnell. A intervenção ocorreu no mês de julho de 2021 na disciplina de *Instrumentação Para o Ensino de Física A*, ministrada na sétima fase do curso de Licenciatura em Física da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Pelo fato de sua ementa contemplar, dentre vários pontos, a temática de História e Filosofia da Ciência, esta disciplina constitui um espaço profícuo para desenvolvimento de discussões histórico-epistemológicas.

Sendo baseada, em grande medida, nos princípios estruturantes das UEPS, a intervenção consistiu em três encontros. Nesses momentos, apresentamos uma introdução histórica sobre a detecção dos pulsares; em seguida, uma discussão epistemológica mais ampla sobre descobertas científicas; e, no encerramento, organizamos uma discussão específica sobre a presença da serendipidade neste episódio histórico. Após a intervenção, por meio de um questionário, as/os discentes desenvolveram apreciações críticas sobre a sequência didática e os materiais utilizados, apontando sugestões especialmente na organização sequencial dos conteúdos. Em suma, de certo modo, é possível considerar essa experiência de estágio como uma sondagem inicial relativa à receptividade de licenciandas/os em Física sobre a temática, que contribuiu no sentido de observar potencialidades e melhorias na construção da Unidade Didática.

Assim, a Unidade Didática intitulada “*A Little Bit of Scruff: o episódio de descoberta dos pulsares e a trajetória da astrônoma Jocelyn Bell Burnell*” é especialmente direcionada a uma disciplina de graduação em Física que disponibilize espaço para discussões de cunho histórico acerca da

³⁵ A serendipidade consiste na ocorrência de descobertas fortuitas, ocorridas casualmente. No mundo científico, especialmente em campos empíricos, ocasionalmente cientistas se deparam com novos achados em meio às pesquisas, o que ilustra “[...] a poderosa interação do acaso com a mente preparada” (VAN ANDEL, 1994, p. 134).

ciência, envolvendo cinco encontros.

Em consonância com o referencial educacional adotado, é essencial que o primeiro encontro compreenda um momento de levantamento de conhecimentos prévios, de maneira a verificar que subsunçores as/os participantes possuem sobre as estrelas de nêutrons e os pulsares e sobre a história da descoberta destes objetos astronômicos. Pelo fato da Unidade de Ensino discutir um importante episódio de descoberta na Astronomia, também é relevante questionar o que as/os participantes entendem sobre uma descoberta científica. Posteriormente, por meio da utilização de organizadores prévios, como vídeos e reportagens que apresentem este fenômeno astronômico, orienta-se a discussão de determinados aspectos conceituais e históricos sobre os pulsares, em nível de uma situação-problema inicial.

No segundo encontro, elabora-se uma discussão de alguns pontos gerais do artigo de Pires e Peduzzi (2022a), em que os autores desenvolvem uma análise de caráter histórico-epistemológico sobre o episódio de identificação dos primeiros pulsares por Bell Burnell: deve-se solicitar, nesse momento, que as/os alunos coloquem suas impressões sobre a leitura. Em seguida, considerando o princípio de diferenciação progressiva, desenvolve-se um aprofundamento da temática em seus aspectos de NdC, como a serendipidade em descobertas científicas e o processo de produção de conhecimento em um contexto de ciência normal kuhniana. Em outras palavras, discute-se como os primeiros passos da descoberta dos pulsares aconteceram de maneira inesperada, a partir da postura atenta de Bell Burnell em sua pesquisa e da flexibilidade de seu orientador e dos demais radioastrônomos envolvidos, mas que a compreensão das características destas estrelas ocorreu, em um contexto de ciência normal, mediante conhecimentos estabelecidos pela Radioastronomia e Astrofísica Estelar.

No encontro seguinte, como uma nova situação-problema, apresenta-se o processo histórico de pós-deteção dos pulsares, que consiste no contexto mais amplo de compreensão destas estrelas pela comunidade astronômica. Com base na leitura prévia do artigo de Pires e Peduzzi (2022b), faz-se importante destacar alguns aspectos gerais do material e solicitar que as/os participantes coloquem seus comentários sobre a leitura. É de suma relevância apontar que o contexto de compreensão sobre as características destas estrelas não se encerra na identificação dos primeiros pulsares por Bell Burnell. Assim, em termos de uma nova discussão epistemológica, diferenciando-se progressivamente os conteúdos, faz-se importante elaborar uma discussão sobre a coletividade no processo de construção de uma descoberta científica e especialmente, por meio de reflexões oportunizadas pelo referencial fleckiano, discutir o contexto de circulação de novos conhecimentos científicos através de conferências, artigos e manuais –

como o ocorrido no processo de entendimento das primeiras características dos pulsares pelos astrônomos.

Posteriormente, como uma última situação-problema, no quarto encontro, desenvolve-se o aprofundamento da discussão sobre a descoberta dos pulsares e atuação da astrônoma na perspectiva do campo de estudos de Gênero e Ciências: esta temática é debatida no artigo de Pires e Peduzzi (2022c). Além de se discutir a predominância masculina no processo de compreensão deste fenômeno, deve-se apontar elementos da trajetória da astrônoma que problematizam a presença de fatores que favorecem ou dificultam o acesso e a permanência de mulheres no mundo científico e acadêmico. Da mesma forma, faz-se importante retomar os aspectos históricos do início da descoberta dos pulsares por Bell Burnell, evidenciando as problemáticas de gênero vivenciadas pela astrônoma em meio a sua atuação científica.

Por fim, o último encontro destina-se a uma revisão integrativa das discussões elaboradas nos momentos anteriores: desde aspectos conceituais sobre estas estrelas, o processo histórico de sua descoberta, perpassando por discussões epistemológicas como a existência da serendipidade, o trabalho científico em um contexto de ciência normal, a coletividade científica e a circulação de conhecimentos entre os cientistas e finalizando com discussões de Gênero e Ciências, analisando a trajetória científica e as contribuições da astrônoma. Como avaliação somativa, propõe-se que as/os participantes desenvolvam um plano de aula direcionado ao ensino de Física na educação básica, que articule algumas das discussões desenvolvidas na Unidade Didática.

Deste modo, a proposta objetiva que as/os professoras/es em formação conheçam o protagonismo de Bell Burnell no processo histórico de descoberta dos primeiros pulsares, o caminho desenvolvido pelos astrônomos para a compreensão destes objetos como estrelas de nêutrons em rotação, além de evidenciar possíveis discussões sobre a natureza do conhecimento científico que se manifestam neste episódio. Para apresentação da proposta didática detalhada, consideramos a forma de organização presente no artigo de Raicik (2020).

Quadro 1 – Proposição da UEPS.

UEPS
<i>A Little Bit of Scruff: o episódio de descoberta dos pulsares e a trajetória da astrônoma Jocelyn Bell Burnell</i>
<p><i>Objetivo Geral:</i> Discutir elementos do processo histórico de descoberta dos pulsares, de maneira a evidenciar aspectos de natureza da ciência, além de problematizar questões de gênero presentes na trajetória da astrônoma Jocelyn Bell Burnell.</p> <p><i>Conceitos Centrais:</i> Estrelas de Nêutrons; Pulsares; Serendipidade; Descobertas Científicas; Mulheres na Ciência.</p> <p><i>Público-Alvo:</i> Licenciandas/os em Física e em Astronomia.</p> <p><i>Disciplina:</i> Deve contemplar discussões históricas, preferencialmente, nas últimas fases da graduação.</p> <p><i>Duração:</i> cinco encontros – ou dez aulas de 50 minutos.</p> <p><i>Constituintes da UEPS:</i> A Unidade de Ensino é constituída por quatro artigos; uma reportagem e dois vídeos de divulgação científica.</p> <p>O artigo “<i>Jocelyn Bell Burnell e a Descoberta dos Pulsares: Revisando Pesquisas do Ensino de Física e de Astronomia em uma Perspectiva Histórica</i>” (PIRES; PEDUZZI, 2021) consiste em um levantamento bibliográfico de aspectos históricos sobre as estrelas de nêutrons e os pulsares que se apresentam em pesquisas do campo do ensino de Física e de Astronomia.</p> <p>O artigo “<i>Little Green Men: o Episódio de Detecção dos Pulsares e o Protagonismo de Jocelyn Bell Burnell</i>” (PIRES; PEDUZZI, 2022a) apresenta uma discussão de caráter histórico-epistemológico sobre o episódio de detecção dos pulsares, elencando determinados aspectos sobre a prática científica, como a presença da serendipidade em descobertas científicas e a importância do trabalho científico em um contexto de ciência normal kuhniana.</p> <p>O artigo “<i>Pulsating Stars: o Contexto Histórico de Pós-Detecção dos Pulsares no Campo da Física e da Astronomia</i>” (PIRES; PEDUZZI, 2022b), apresenta uma discussão histórico-epistemológica sobre a atividade científica empreendida ao final da década de 1960 para compreender as primeiras características dos pulsares. Em termos de discussões de NdC, destacam-se o processo de construção coletiva de uma descoberta científica, bem como o contexto de compartilhamento de novos conhecimentos sobre um fenômeno entre os cientistas, em uma perspectiva fleckiana.</p> <p>O artigo “<i>Look Dear, You’ve Made a Discovery: Aspectos da Vida e da Trajetória da Astrônoma</i></p>

Jocelyn Bell Burnell” (PIRES; PEDUZZI, 2022c) apresenta elementos da trajetória acadêmica da cientista Jocelyn Bell Burnell. Sendo analisados por meio de estudos sobre Gênero e Ciências, possibilitam refletir sobre determinadas fatores que favorecem a entrada de mulheres na ciência, bem como dificuldades estruturais encontradas por elas no campo científico e acadêmico.

A reportagem “*Estrelas que Brilham no Tempo: Jocelyn Bell*” apresenta uma ampla discussão sobre os pulsares, em termos da identificação dos primeiros objetos por Bell Burnell, a explicação da atualidade sobre essas estrelas e seu reconhecimento no âmbito popular.

Os vídeos de divulgação científica, intitulados “*Journeys of Discovery: Jocelyn Bell Burnell and Pulsars*” e “*I Changed Astronomy Forever, He Won the Nobel Prize for It*” apresentam comentários de Jocelyn Bell Burnell sobre sua trajetória acadêmica e sua atuação no episódio de descoberta dos pulsares.

Primeiro Encontro (2 Aulas)

OS PULSARES: PRIMEIRAS IMPRESSÕES

Situação Inicial

Após se iniciar o módulo de ensino mediante a apresentação do título da proposta e o seu objetivo geral, faz-se essencial realizar um levantamento sobre os conhecimentos prévios que as/os participantes possuem sobre o fenômeno e discussões correlatas, por meio dos seguintes questionamentos: (a) *Você já ouviu falar sobre estrelas de nêutrons ou pulsares?* (b) *Conhece algum aspecto sobre a trajetória acadêmica da astrônoma Jocelyn Bell Burnell?* (c) *Você conhece algum aspecto sobre a história da descoberta dos pulsares?* (d) *O que vem a ser uma descoberta científica?*

Situação-Problema

De maneira que as/os participantes sejam introduzidos a alguns aspectos gerais sobre a história dos pulsares, propõe-se a leitura coletiva em grande grupo da reportagem³⁶ intitulada “*Estrelas que Brilham no Tempo: Jocelyn Bell*”, que assinala determinados pontos sobre como os pulsares são entendidos conceitualmente, a história de sua descoberta, suas relações com a cultura popular e sua importância para as pesquisas da atualidade em Astronomia. A partir desse organizador prévio, espera-se que as/os participantes possam explicitar suas impressões sobre as características dos pulsares e a importância de sua descoberta para a Astronomia. Depois disso, desenvolve-se uma discussão por meio de perguntas orientadoras, como por exemplo: (a) *De que maneira este material apresenta os conceitos de estrelas de nêutrons e de pulsares?* (b) *Que conceitos de Física podem ser articulados para a compreensão do comportamento deste objeto?* (c) *Que elementos históricos e*

³⁶ Disponível em: <https://divulgacao.iastro.pt/pt/feature/estrelas-que-brilham-no-tempo-jocelyn-bell/>

populares sobre os pulsares são evidenciados na reportagem? (d) Como os cientistas desenvolveram construções teóricas sobre estas estrelas? (e) Como aconteceu a identificação dos primeiros sinais dos pulsares por Bell Burnell? Em ambos os momentos da situação inicial, orienta-se que a/o ministrante escreva os comentários das/os participantes na lousa, de maneira a ensinar a discussão no grande grupo.

Próximo Encontro

Solicita-se que as/os participantes realizem previamente a leitura do artigo “*Little Green Men: o Episódio de Detecção dos Pulsares e o Protagonismo de Jocelyn Bell Burnell*”, que permite um aprofundamento dos aspectos históricos envolvidos na detecção dos pulsares. Em especial, orienta-se que as/os participantes realizem uma leitura mais atenta da seção que apresenta determinadas discussões sobre a natureza do conhecimento científico, a exemplo da serendipidade em descobertas científicas.

Segundo Encontro (2 Aulas)

A SERENDIPIDADE E OS PRIMEIROS PULSARES

Explorando o Tema

De maneira a ensinar algumas reflexões sobre a descoberta dos pulsares com o artigo lido previamente, as/os participantes são orientados a assistirem, no primeiro momento da aula, ao vídeo³⁷ “*Journeys of Discovery: Jocelyn Bell Burnell and Pulsars*”. No material, a astrônoma aponta, dentre vários pontos, o fato dos sinais do primeiro pulsar serem entendidos como algo totalmente inesperado. Posteriormente, desenvolve-se uma discussão em grande grupo sobre pontos gerais do episódio que as/os chamaram mais a atenção das/os professoras/es em formação.

Em seguida, propõe-se a retomada dos aspectos históricos discutidos tanto no vídeo quanto no artigo por meio de um aprofundamento epistemológico. Assim, orienta-se uma exposição-dialogada, por meio de uma apresentação de *slides*, para apontar determinados trechos do artigo, em especial suas considerações epistemológicas. Como uma das possíveis discussões de natureza da ciência, faz-se importante evidenciar como os pulsares consistem em um exemplar da presença da serendipidade em uma descoberta científica. Para ensinar e fomentar a discussão, algumas perguntas orientadoras podem ser apresentadas: (a) *A partir do exemplo dos pulsares, como você descreveria o conceito de serendipidade?* (b) *Qual a importância da serendipidade para o*

³⁷ Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=z_3zNw91MSY

desenvolvimento da ciência? (c) De que maneiras as/os cientistas atuam ou reagem no contexto de uma descoberta serendíptica?

Igualmente, faz-se importante também apontar, mesmo que brevemente, que a descoberta dos pulsares consiste em um profícuo exemplo de atuação científica em um contexto de ciência normal, com base na perspectiva de Thomas Kuhn. Em outras palavras, embora os primeiros sinais encontrados por Bell Burnell pudessem ser compreendidos como um achado anômalo, os pulsares, posteriormente, foram rapidamente compreendidos a luz de pressupostos paradigmáticos da Radioastronomia e Astrofísica Estelar.

Próximo Encontro

Recomenda-se fortemente que as/os licenciandas/os realizem a leitura do artigo “*Pulsating Stars: o Contexto Histórico de Pós-Detecção dos Pulsares no Campo da Física e da Astronomia*”, que apresenta elementos histórico-epistemológicos relativos ao processo de construção conceitual sobre os pulsares pelas/os astrônomas/os.

Terceiro Encontro (2 Aulas)

AFINAL, O QUE SÃO OS PULSARES?

Aprofundando o Tema

Neste encontro, deve-se apontar que o processo de descoberta dos pulsares extrapola os importantes esforços de Jocelyn Bell Burnell e dos demais radioastrônomos da Universidade de Cambridge. Inicialmente, com o auxílio de uma apresentação de *slides*, propõe-se a apresentação de determinados aspectos sobre o contexto histórico de pós-detecção desse objeto astronômico, como exemplos de artigos que descrevem pesquisas desenvolvidas em âmbito teórico e observacional sobre o comportamento dessas estrelas. Neste contexto, de maneira a estimular as reflexões das/os participantes, formula-se as seguintes perguntas orientadoras: (a) *Como os astrônomos trabalharam no processo de compreensão sobre as características dos pulsares?* (b) *De que maneiras os astrônomos comunicaram seus conhecimentos relativos aos pulsares?* (c) *Qual o caminho trilhado pelos astrônomos até a compreensão dos pulsares como estrelas de nêutrons em rotação?* Igualmente, deve-se conceder espaço para as/os participantes apontarem que segmentos da narrativa histórica consideram mais interessantes.

Na sequência, propõe-se um aprofundamento epistemológico na perspectiva de Ludwik Fleck: ressaltando a construção coletiva de uma descoberta científica, salienta-se que o episódio dos pulsares consiste em um frutífero exemplo para ilustrar o trabalho do *coletivo de pensamento astronômico*, com especialidade em Radioastronomia e Astrofísica, no processo de compreensão

destes objetos. Concomitantemente, resgata-se outros conceitos fleckianos, a exemplo de *ciência dos periódicos* e *ciência dos manuais*, de maneira a explicar a gradativa construção conceitual sobre os pulsares nos artigos científicos até a consolidação de suas características nos manuais científicos.

Próximo Encontro

Indica-se que as/os participantes realizem a leitura do artigo “*Look Dear, You’ve Made a Discovery: Aspectos da Vida e da Trajetória da Astrônoma Jocelyn Bell Burnell*”, que proporcionará subsídios para uma discussão sobre a presença das mulheres na ciência, a partir do exemplo da cientista Jocelyn Bell Burnell.

Quarto Encontro (2 Aulas)

NO-BELL: A PRESENÇA DAS MULHERES NA CIÊNCIA

Encerramento com Estudos de Gênero e Ciências

Neste encontro, como uma última situação-problema, propõe-se que a história dos pulsares seja aprofundada com uma discussão sobre a presença das mulheres nos campos da Física e da Astronomia. Para tanto, de maneira a suscitar aspectos do artigo lido previamente, indica-se que as/os alunos assistam ao vídeo³⁸ “*I Changed Astronomy Forever, He Won the Nobel Prize for It*”, que apresenta aspectos da trajetória pessoal e científica de Bell Burnell. Posteriormente, realiza-se uma discussão em grande grupo por meio de questionamentos, como:

(a) *Que desafios encontrados por Jocelyn Bell durante sua carreira científica chamaram a sua atenção? Por quê?*
 (b) *Que dificuldades encontradas por Bell Burnell se refletem na trajetória de outras mulheres cientistas?* (c) *Qual a importância de conhecermos a trajetória de mulheres cientistas, não somente suas contribuições à Ciência?*

Desse modo, o episódio histórico de detecção dos pulsares, explorado nos encontros anteriores, é retomado por meio da introdução de elementos de gênero envolvidos na atuação de Jocelyn Bell Burnell, a exemplo do Efeito Matilda e sua ausência no Prêmio Nobel de Física de 1974: este é um ponto especialmente discutido por Rossiter (1993). Outras barreiras, presentes na trajetória da astrônoma devem ser ressaltadas, como a discriminação pelos pares em sua formação em Física e seu processo de conciliação entre vida pessoal e profissional: aspectos que são problematizados por Schiebinger (2001). Também, por outro lado, faz-se importante discutir aspectos que impulsionam a entrada e a permanência de mulheres na ciência, como o apoio familiar, escolar e institucional.

³⁸ Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=NDW9zKqvPJI>

Quinto Encontro (2 Aulas)
REVISANDO E AVALIANDO

Faz-se importante a elaboração de uma revisão integrativa dos eixos discutidos na unidade de ensino: aspectos conceituais sobre os pulsares; a identificação e compreensão destes objetos astronômicos em uma perspectiva histórico-epistemológica; reflexões de gênero por meio do estudo da trajetória acadêmica de Jocelyn Bell Burnell.

Como atividade somativa, solicita-se para as/os participantes que estruturem um plano de aula para o contexto de ensino de Física e de Astronomia na educação básica, que articule alguns dos elementos históricos, epistemológicos ou conceituais relacionados aos pulsares com determinados aspectos discutidos no currículo da Física. Esta atividade deverá ser iniciada durante o encontro, mas há a possibilidade de que ela seja finalizada em momento posterior, individualmente.

Para contribuir na construção da atividade, como leitura optativa, sugere-se que as/os participantes realizem o estudo do artigo “*Jocelyn Bell Burnell e a Descoberta dos Pulsares: Revisando Pesquisas do Ensino de Física e de Astronomia em uma Perspectiva Histórica*”. A partir deste texto, espera-se indicar aspectos históricos sobre pulsares que se apresentam em trabalhos do ensino de Física e de Astronomia nos últimos anos.

Ainda, cabe apontar que a avaliação das/os participantes não será baseada apenas na avaliação somativa, na qual se observa indícios de aprendizagem significativa sobre a temática, em sua utilização em novos contextos. A avaliação formativa, que compreende, por exemplo, a participação nas discussões coletivas, deve ser igualmente considerada.

AVALIAÇÃO DA UEPS

Além da avaliação somativa, é necessário que as/os participantes apontem suas avaliações sobre a organização sequencial da Unidade Didática, a lógica interna dos artigos e a potencialidade dos materiais de divulgação científica considerados na proposta; igualmente, orienta-se que apontem o que poderia ser mantido ou o que poderia ser modificado em futuras implementações. A UEPS também deve ser analisada pela/o ministrante, de maneira a ser aprimorada para futuras intervenções.

Fonte: Autoria própria.

5.4 CONSIDERAÇÕES SOBRE A UEPS

A Unidade Didática intitulada “*A Little Bit of Scruff: o episódio de descoberta dos pulsares e a trajetória da astrônoma Jocelyn Bell Burnell*” consiste em um importante esforço para a inserção de

aspectos histórico-epistemológicos envolvidos na descoberta dos pulsares no âmbito da formação inicial de professoras/es de Física e de Astronomia. Sendo construída nos moldes de uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (MOREIRA, 2011), a proposta apresenta uma contribuição na lacuna apontada por Souza e Pinheiro (2019, p. 126), no que diz respeito à necessidade de “[...] ampliação dos estudos [da utilização de UEPS] na formação inicial e continuada de professores”.

Além disso, é válido reiterar o fato desta proposta, em sua construção, considerar reflexões preliminares de uma intervenção realizada em um Estágio de Docência, que possibilitaram ponderar sobre a organização sequencial dos conteúdos, além de avaliar a receptividade das/os participantes sobre a temática. A proposta igualmente contribui na amenização, em alguma medida, da seguinte problemática apresentada por Paulucci *et al.* (2022, p. e20210226-9): “as abordagens [didáticas] específicas envolvendo supernovas, anãs brancas e estrelas de nêutrons são muito menos frequentes que as que envolvem buracos negros”.

Com base no princípio de *diferenciação progressiva*, em que “[...] ideias, conceitos, proposições mais gerais e inclusivos do conteúdo devem ser apresentados no início do ensino e, progressivamente, diferenciados, ao longo do processo, em termos de detalhes e especificidades” (MOREIRA, 2011, p. 9), os conteúdos da proposta se organizam, inicialmente, por uma apresentação inicial dos pulsares às/aos professoras/es em formação. Posteriormente, elementos históricos envolvidos na descoberta desse objeto astronômico são aprofundados, com a intenção de se apresentar aspectos sobre a natureza do conhecimento científico envolvidos neste episódio, como a serendipidade e a coletividade na ciência. De maneira a problematizar a presença de Jocelyn Bell Burnell no episódio em sua totalidade, a última discussão da Unidade Didática compreende um momento de reflexão sobre a presença das mulheres na ciência, com o respaldo em estudos sobre Gênero e Ciências.

Em relação ao referencial educacional adotado, consideramos que a Teoria de Aprendizagem Significativa Crítica de Moreira (2005) apresenta importantes elementos para subsidiar reflexões críticas sobre conceitos científicos e seus contextos de produção. Especificamente, na discussão sobre a história dos pulsares, é possível problematizar o processo complexo envolvido na compreensão de uma descoberta científica, especialmente uma descoberta baseada na serendipidade. Em outras palavras, refletir que além do fato da importância da “mente preparada” de Bell Burnell na identificação de sinais diferenciados em seu radiotelescópio, a coletividade, exemplificada pelos demais radioastrônomos e astrofísicos, possibilitou consolidar a descoberta dos pulsares. Não somente isso; ao se discutir elementos de

gênero presentes na trajetória de Jocelyn Bell Burnell, permite-se elucidar “[...] mecanismos de opressão que operam nas trajetórias acadêmicas das mulheres, como uma das instâncias da dinâmica de manutenção de desigualdade social e discriminação em nossa sociedade” (SEPULVEDA; SILVA, 2021, p. 99). Como exposto por Vieira (2021, p. 147), a TASC possibilita embasar tanto

[...] o ensino dos conceitos inerentes à Física quanto promover o engajamento de um caráter crítico a docentes e estudantes e estender discussões [...] de uma mulher cientista como contraponto à sua invisibilização, bem como elucidar que tal aspecto também é parte indissociável do desenvolvimento das ciências e, por tal, não pode e não deve ser desqualificado, ainda que por desconhecimento ou, mais gravemente, por omissão.

Igualmente, ressaltamos que a proposta apresenta flexibilidade quanto à alteração dos materiais utilizados. Por exemplo, de maneira a ensejar uma apresentação inicial sobre os pulsares, podem-se selecionar outros organizadores prévios, como textos e vídeos de divulgação científica, que também contemplem discussões conceituais sobre estas estrelas. Outros materiais que debatam as questões de NdC abordadas na unidade – reflexões sobre descobertas científicas, serendipidade na prática científica e elementos de gênero na trajetória de cientistas – podem ser articulados na proposta, desde que conversem com a postura epistemológica elencada pela proposta, baseada em autoras/es da moderna filosofia da ciência. Ainda, no sentido de respaldar implementações futuras, consideramos profícuo o desenvolvimento de estudos que articulem discussões sobre evolução estelar, estrelas de nêutrons e pulsares no contexto do currículo de Física, a exemplo do mapeamento de conhecimentos prévios que professoras/es em formação podem manifestar sobre estas temáticas. Em relação às estrelas, de modo geral, Paulucci *et al.* (2022, p. e20210226-6) apontam que “[...] vários levantamentos mostram um desconhecimento bem maior e concepções alternativas múltiplas”.

Em suma, a proposta consiste em um importante esforço teórico que direciona contribuições à abordagem didática de episódios da História da Astronomia no contexto de Educação em Ciências. De fato, concordamos com Paulucci *et al.* (2022, p. e20210226-4) com o fato de “apresentar as estrelas desde pontos de vista histórico-filosófico e físico é totalmente coerente na educação dos cidadãos do Século 21”. Tendo em vista que, especialmente na abordagem didática de História e Filosofia da Ciência, “o desafio a ser enfrentado neste momento seja o como incorporar” (MOURA, 2014, p. 44), consideramos importante que docentes apliquem e desenvolvam novas versões da proposta, mantendo a essência de seus pressupostos, de maneira a refletir sobre as potencialidades das estratégias de ensino e das discussões propostas na Unidade Didática, bem como para suscitar novos elementos relativos à receptividade sobre a temática.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, A. S.; MENEZES, M. C. F. A história da astronomia nos livros de ciências naturais dos anos finais do ensino fundamental do PNL D 2017-2019. **Alexandria: Revista de Educação em Ciência e Tecnologia**, v. 13, n. 2, p. 75–98, 2020.
- BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular: Educação é a Base**. Brasília, 2018.
- CARDOSO, V.; DUQUE, F. Buracos negros: a derradeira fronteira. **Cadernos de Astronomia**, v. 2, n. 2, p. 16–41, 2021.
- DAMASIO, F.; PEDUZZI, L. O. Q. A formação de professores para um ensino subversivo visando uma aprendizagem significativa crítica: uma proposta por meio de episódios históricos de ciência. **Revista Labore em Ensino de Ciências**, v. 1, n. 1, p. 14–34, 2016.
- FLECK, L. **Gênese e Desenvolvimento de um Fato Científico**. Belo Horizonte: Fabrefactum, 2010.
- GORGES NETO, L.; ARTHURY, L. H. M. Formação Docente e as Concepções dos Estudantes no Âmbito da Astronomia. **Cadernos de Astronomia**, v. 2, n. 1, p. 159–170, 2021.
- HANSON, N. R. An Anatomy of Discovery. **The Journal of Philosophy**, v. 64, n. 11, p. 321–352, 1967.
- HENRIQUE, A. B.; ANDRADE, V. F. P.; L'ASTORINA, B. Discussões sobre a natureza da ciência em um curso sobre a história da astronomia. **Revista Latino-Americana de Educação em Astronomia**, n. 10, p. 17–31, 2010.
- HORVATH, J. E. Subsídios para uma discussão da formação das estrelas na sala de aula. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 43, p. e20210237, 2021.
- KUHN, T. S. **A Tensão Essencial: estudos selecionados sobre tradição e mudança científica**. São Paulo: Editora Unesp, 2011.
- KUHN, T. S. **A Estrutura das Revoluções Científicas**. 13. ed. São Paulo: Perspectiva, 2018.
- LANGHI, R.; NARDI, R. Ensino da astronomia no Brasil: educação formal, informal, não formal e divulgação científica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 31, n. 4, p. 4402, 2009.
- LANGHI, R.; NARDI, R. **Educação em Astronomia: Repensando a Formação de Professores**. São Paulo: Escrituras, 2012.
- LIMA, G. K. *et al.* Investigações sobre Educação em Astronomia: estado do conhecimento da RELEA, SNEA, RBEF e CBEF. **Tear: Revista de Educação, Ciência e Tecnologia**, v. 10, n. 1, p. 1–22, 2021.
- MCGRAYNE, S. B. **Nobel Prize Women in Science: Their Lives, Struggles and Momentous**

- Discoveries. 2. ed. Washington: Joseph Henry Press, 1998.
- MENDES, R. Estrelas de nêutrons e seus múltiplos mensageiros. **Cadernos de Astronomia**, v. 2, n. 2, p. 58–70, 2021.
- MOREIRA, M. A. Aprendizagem Significativa: um conceito subjacente. In: Encontro Internacional sobre Aprendizagem Significativa. 3., Burgos. **Anais...** Burgos: ENAS, 1997.
- MOREIRA, M. A. **Teorias da Aprendizagem**. São Paulo: Editora Pedagógica e Universitária, 1999.
- MOREIRA, M. A. Aprendizagem Significativa Crítica. **Indivisa, Boletín de Estudios e Investigación**, n. 6, p. 83–101, 2005.
- MOREIRA, M. A. Unidades de Enseñanza Potencialmente Significativas - UEPS. **Aprendizagem Significativa em Revista**, v. 1, n. 2, p. 43–63, 2011.
- MOREIRA, M. A. ¿Al afinal, qué es aprendizaje significativo? **Qurrículum: Revista de Teoría, Investigación y Práctica Educativa**, n. 25, p. 29–56, 2012.
- MOURA, B. A. O que é natureza da Ciência e qual sua relação com a História e Filosofia da Ciência. **Revista Brasileira de História da Ciência**, v. 7, n. 1, p. 32–46, 2014.
- PANTOJA, G. C.; MOREIRA, M. A. Conceitualização do conceito de campo elétrico de estudantes de Ensino Superior em Unidades de Ensino Potencialmente Significativas sobre eletrostática. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 42, p. e20200288, 2020.
- PAULUCCI, L. *et al.* Levantamento de recursos e uma avaliação atual do Ensino de Astrofísica Estelar. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 44, p. e20210226, 2022.
- PIRES, L. N.; PEDUZZI, L. O. Q. 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, p. 157–180, 2021.
- PIRES, L. N.; PEDUZZI, L. O. Q. Little Green Men: o episódio de detecção dos pulsares e o protagonismo de Jocelyn Bell Burnell. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 27, n. 1, p. 108–136, 2022a.
- PIRES, L. N.; PEDUZZI, L. O. Q. Pulsating Stars: o contexto histórico de pós-detecção dos pulsares no campo da Física e da Astronomia. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 22, e37497, p. 1-27, 2022b.
- PIRES, L. N.; PEDUZZI, L. O. Q. Look Dear, You've Made a Discovery: aspectos da vida e da trajetória da astrônoma Jocelyn Bell Burnell. 2022c. **Submetido à publicação**.
- POSTMAN, N.; WEINGARTNER, C. **Contestação – Nova Fórmula de Ensino**. Rio de Janeiro: Expressão e Cultura, 1978.
- RAICIK, A. C. Nos embalos da HFC: discussões sobre a experimentação e aspectos relativos à NdC em UEPS. **Experiências em Ensino de Ciências**, v. 15, n. 2, p. 164–197, 2020.

ROSSITER, M. W. **Women Scientists in America: Struggles and Strategies to 1940**. Baltimore: Johns Hopkins Press, 1982.

ROSSITER, M. W. The Matthew Matilda Effect in Science. **Social Studies of Science**, v. 23, n. 2, p. 325–341, 1993.

SCHIEBINGER, L. **O feminismo mudou a ciência?** Bauru: EDUSC, 2001.

SILVA, T.; DAMASIO, F.; RAICIK, A. C. Thaysa Storchi Bergmann e a Astrofísica: um ensino de e sobre ciência a partir dos estudos de uma mulher cientista. **Experiências em Ensino de Ciências**, v. 14, n. 3, p. 133–157, 2019.

SLOVINSCKI, L.; ALVES-BRITO, A.; MASSONI, N. T. A Astronomia em currículos da formação inicial de professores de Física: uma análise diagnóstica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 43, p. e20210173, 2021.

SOLER, D. R.; LEITE, C. Importância e Justificativas para o Ensino de Astronomia: um olhar para as pesquisas da área. In: II Simpósio Nacional de Educação em Astronomia, 2., São Paulo. **Anais...** São Paulo: Universidade de São Paulo, 2012.

SOUZA, G. F.; PINHEIRO, N. A. M. Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS): Identificando Tendências e Possibilidades de Pesquisa. **Revista Dynamis**, v. 25, n. 1, p. 113–128, 2019.

SOUZA, M. G.; ANDRADE NETO, A. S. Uma investigação acerca das concepções sobre a natureza da ciência de alunos do Ensino Médio após ensino combinado da epistemologia de Laudan e de problemas em aberto de Física Contemporânea dentro de UEPS. **Revista Brasileira de Ensino de Ciências e Matemática**, v. 3, n. 2, p. 441–466, 2020.

VAN ANDEL, P. Anatomy of the Unsought Finding. Serendipity: Origin, History, Domains, Traditions, Appearances, Patterns and Programmability. **British Journal for the Philosophy of Science**, v. 45, n. 2, p. 631–648, 1994.

VIEIRA, P. C. **Uma estrela eclipsada na ciência: um resgate histórico de Cecília Payne e seu papel na determinação da composição estelar**. 2021. Porto Alegre. 172 p. Tese (Doutorado em Ensino de Física) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

“If we assume we’ve arrived: we stop searching, we stop developing”.

Jocelyn Bell Burnell³⁹

Em meados de agosto de 1967, no Observatório de Radioastronomia *Mullard* da Universidade de Cambridge, uma estudante de doutorado com os cabelos amarrados em duas tranças e com óculos de extremidades pontudas, debruçada sobre longos gráficos em papel com registros de fontes de rádio celestes obtidos por um radiotelescópio, à procura de quasares, identificou o comportamento de um objeto astronômico não reconhecido naquela época. Posteriormente, a luz de inúmeros estudos e debates, os astrônomos entraram em um consenso de que estes sinais consistiam nos chamados *pulsares*. Levin (2015, p. 93) aponta características sobre os pulsares inicialmente detectados por Jocelyn Bell Burnell que os colocam em uma posição importante nas descobertas astronômicas do último século:

A força desses gigantes ímãs astronômicos é milhões, bilhões ou, num extremo, trilhões de vezes maior que a do campo magnético da Terra. Uma estrela de nêutrons com menos do dobro da massa do Sol e com menos trinta quilômetros de diâmetro completa aproximadamente um giro por segundo, enquanto outras giram muitas centenas de vezes por segundo. Partículas aceleradas até quase a velocidade da luz ao longo do campo magnético emitem radiação, criando um feixe de luz como o de um farol que varre o espaço em volta [...] É famosa a noção de que uma colher de chá de uma estrela de nêutrons teria a massa de uma montanha na Terra. O empuxo gravitacional seria tão forte em sua superfície que uma pessoa essencialmente ia se liquefazer e se fundir com o invólucro nuclear da estrela. [...] Elas giram com muita harmonia, criando um sinal periódico nos dados do feixe emitido que é assustadoramente regular no tempo. Quando o feixe se move rapidamente e passa em sua varredura pela Terra, o efeito é o do tiquetaquear de um relógio extremamente preciso, em alguns casos mais que os mais acurados relógios atômicos.

Estes objetos astronômicos possibilitaram o fortalecimento da existência de objetos mais extremos como buracos negros, puderam corroborar observacionalmente aspectos da Teoria da Relatividade Geral de Albert Einstein, além de sugerir o fato da dinamicidade do Universo. Ainda assim, estas estrelas sinalizam para a necessidade de resolução de novos questionamentos, sabendo que aspectos sobre sua natureza e do seu comportamento ainda não são bem compreendidos. Desta forma, “por si mesmas ou como instrumentos para enxergarmos além, estrelas de nêutrons guardam a promessa para uma maior compreensão do cosmos” (MENDES, 2021, p. 68).

³⁹ Tradução: “*Se presumirmos que chegamos: paramos de pesquisar, paramos de desenvolver*”. Referência: DISCOVERY of Pulsars (Temporada 1, Episódio 1) Beautiful Minds [Seriado de Televisão]. United Kingdom: BBC, 2010.

Reconhecendo as profícuas potencialidades de discussão deste objeto astronômico no contexto da educação científica, o objetivo geral desta pesquisa consistiu em *desenvolver um estudo histórico-epistemológico sobre a descoberta dos pulsares por Jocelyn Bell Burnell na década de 1960 e propor uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa sobre esta temática para a formação inicial de docentes em Física e em Astronomia*. Entendemos que a compreensão de um fenômeno científico deve tanto contemplar sua construção conceitual quanto o contexto de produção desse conhecimento e as/os agentes envolvidos neste processo. De outra forma,

Muita informação se esconde por trás de cada conceito, os quais também têm uma história, um contexto de origem, mutações, adaptações em cujas trajetórias não estão imbricados somente outros mais elementares, mas também as pessoas que trabalham com ciência, suas histórias de vida e sua relação com a sociedade (VIEIRA, 2021, p. 9).

Intencionando alcançar este objetivo geral, estando atentos às recomendações de Moreira (2004) em relação à fundamentação de pesquisas na área do ensino de ciências, articulamos um conjunto de referenciais de caráter epistemológico, educacional e metodológico. Os referenciais epistemológicos envolveram autoras/es como Thomas Kuhn (2011, 2018), Ludwik Fleck (2010), Londa Schiebinger (2001) e Margaret Rossiter (1993). Como referencial educacional, consideramos a Teoria de Aprendizagem Significativa Crítica de Marco Antônio Moreira (2005). Em relação aos referenciais metodológicos, baseamo-nos na Análise Documental de Cellard (2012) e nas Unidades de Ensino Potencialmente Significativas de Moreira (2011).

Com base nestes referenciais, detalhamos o objetivo geral da pesquisa em cinco objetivos específicos, investigados por meio da organização da dissertação no formato de cinco artigos. A escrita de dissertações e de teses neste formato apresenta profícuas possibilidades como desafios, como apresentado por algumas pesquisas da área (TEIXEIRA, 2010; CORDEIRO, 2011; TENFEN, 2011; QUEIROZ, 2014; RACIK, 2015; DAMASIO, 2017; JORGE, 2018; LAMBIASE, 2019). Em especial, é possível destacar a importância do *feedback* das/os pareceristas na avaliação dos artigos submetidos à publicação, que com o rigor da crítica oportunizam reflexões e sugestões, além de indicarem novas leituras que contribuem para o aprimoramento da pesquisa. Por outro lado, uma visível dificuldade diz respeito em redigir artigos que, pela natureza da temática, demandam um número considerável de páginas, que podem exceder os limites de espaço aceitos pela maioria dos periódicos.

Cabe ressaltar ainda que o acesso às reflexões apresentadas neste formato pode se desenvolver tanto por meio da leitura individual e isolada de determinados artigos, quanto pelo estudo integral dos cinco capítulos presentes na dissertação. Por certo, organizar a dissertação

neste formato permite ao “[...] leitor assumir uma postura ativa, abrindo-se à possibilidade de fazer a leitura de algum capítulo isolado ou da pesquisa como um todo, tendo sua visão geral” (FONSECA, 2021, p. 23). De maneira a evidenciar a unidade desta dissertação como um todo, apresentamos a seguir uma integração das discussões desenvolvidas em cada artigo, de maneira a estabelecer as conexões entre os capítulos e os objetivos específicos da pesquisa. Posteriormente, elencamos possibilidades de novos estudos. Conforme Kubota *et al.* (2018, p. 8), a construção de uma dissertação no formato de artigos deve, em sua conclusão

[...] apresentar os principais pontos conclusivos a partir da discussão dos resultados [...] e oportunidades para trabalhos futuras decorrentes da pesquisa. [...] Além disso, destaca-se que uma das potenciais contribuições de uma dissertação ou tese em formato de coletânea de artigos é o próprio alinhamento e costura desses trabalhos entre si.

Os títulos dos artigos que compõem a dissertação são os seguintes:

1. *Jocelyn Bell Burnell e a Descoberta Dos Pulsares: Revisando Pesquisas do Ensino de Física e de Astronomia em uma Perspectiva Histórica*
2. *Little Green Men: o Episódio de Detecção dos Pulsares e o Protagonismo de Jocelyn Bell Burnell*
3. *Pulsating Stars: o Contexto Histórico de Pós-Detecção dos Pulsares no Campo da Física e da Astronomia*
4. *Look Dear, You've Made A Discovery: Aspectos da Vida e da Trajetória da Astrônoma Jocelyn Bell Burnell*
5. *Os Faróis Astronômicos na Sala de Aula: Proposição de uma Unidade de Ensino sobre os Pulsares para a Formação Docente em Física e Astronomia*

O Artigo 1 se debruçou sobre o primeiro objetivo específico da dissertação: *evidenciar, por meio de uma pesquisa bibliográfica, como trabalhos acadêmicos publicados em periódicos, em eventos de ensino de ciências e em dissertações e teses do ensino de Física e de Astronomia abordam aspectos sobre a história da descoberta dos pulsares e o protagonismo de Jocelyn Bell Burnell*. Este artigo veio a se demonstrar como um importante mapeamento que indicou, por exemplo, menções pontuais sobre a história dos pulsares em artigos de periódicos e de eventos da área do ensino de Física.

A pesquisa bibliográfica possibilitou perceber a ausência de quaisquer investigações, direcionadas ao ensino de Física e de Astronomia, que discutissem especificamente o episódio a partir do protagonismo de Jocelyn Bell Burnell: este resultado tanto justifica como fortalece o desenvolvimento da presente investigação. Além disso, a análise dos trabalhos coletados propiciou identificar elementos sobre a Natureza da Ciência (NdC) com potencial de aprofundamento em artigos posteriores da dissertação, como o processo epistemológico de uma descoberta científica, além da problematização sobre a presença das mulheres no campo científico.

Considerando as profícuas potencialidades na investigação da história dos pulsares, direcionadas ao contexto de ensino, o Artigo 2 apresentou uma discussão de caráter histórico-epistemológico sobre o episódio de detecção dos pulsares por Jocelyn Bell Burnell. Com a análise documental de fontes primárias, como relatos de Bell Burnell, com o apoio de documentos secundários, desenvolveu-se uma narrativa histórica que abarca desde a entrada da astrônoma em seu doutorado na Universidade de Cambridge, no ano de 1965, até a detecção dos primeiros pulsares pela cientista, entre os anos de 1967 e 1968. A partir desta narrativa, evidenciou-se, especialmente, a manifestação da serendipidade em descobertas científicas: a importância da postura atenta de Bell Burnell em sua pesquisa e a flexibilidade dos radioastrônomos da Universidade de Cambridge para investigar um objeto inesperado, que propiciou o início de uma importante descoberta para a Astronomia. Sobre este aspecto, a própria cientista aponta que

Quão difícil é prever como e onde os avanços virão; os **fortuitos**, é claro, são, por definição, ainda mais difíceis de prever [...] o ambiente de Cambridge e a atmosfera excitante que então pertencia à radioastronomia provavelmente ajudaram a contemplar o incrível (BELL BURNELL, 2009, p. 4, grifo nosso).

Complementar a esta discussão, discorreu-se no artigo sobre o fato de o episódio exemplificar o processo de produção de novos conhecimentos e da compreensão de uma descoberta científica em um contexto de ciência normal na perspectiva de Thomas Kuhn. A descoberta, em grande parte, fora decorrente da imersão da cientista nos objetivos e nas técnicas de pesquisa, típicos de tal contexto. Além disso, ainda que, inicialmente, os pulsares pudessem ser compreendidos como uma anomalia, a compreensão de suas características ocorreu por meio de conhecimentos da Radioastronomia e Astrofísica Estelar, consistindo em mais um importante objeto a ser investigado pelos astrônomos. Segundo a própria cientista:

As seguintes questões parecem ser significativas: eu tinha meu próprio telescópio e receptores e entendia seu comportamento [...] Analisava todos os dados e **como estudante de pesquisa tinha tempo/espço para acompanhar anomalias** [...] A descoberta resultou de um trabalho cuidadoso – observação aguçada e acompanhamento minucioso (BELL BURNELL, 2009, p. 4, grifo nosso).

Desta maneira, destacando especialmente a presença da serendipidade em uma descoberta científica, este artigo traz uma importante contribuição à consecução do segundo objetivo específico da dissertação: *elencar discussões relativas à Natureza da Ciência que se apresentam em elementos históricos sobre a descoberta dos pulsares por Jocelyn Bell Burnell, considerando referenciais modernos do campo da Epistemologia e Filosofia da Ciência.*

O processo de descoberta dos pulsares compreendeu outros aspectos que ultrapassam a importante atuação científica protagonizada por Bell Burnell. Desta forma, o Artigo 3 intencionou abordar determinados elementos histórico-epistemológicos acerca do contexto de pós-deteccção dos pulsares, o contexto seguinte a atuação científica desenvolvida por Bell Burnell, Hewish e demais radioastrónomos da Universidade de Cambridge. A narrativa histórica desenvolvida, construída especialmente com base em artigos científicos publicados à época, entre os anos de 1968 e 1969, apontou o movimento da comunidade astronômica na compreensão deste novo objeto, que ganhou visibilidade após a publicação do artigo de Hewish *et al.* (1968) na Revista *Nature*.

Também direcionado a contemplar o segundo objetivo da dissertação, as discussões de NdC exploradas no artigo, ressaltadas predominantemente por meio da perspectiva de Ludwik Fleck, consistiram no processo de coletividade em uma descoberta científica, analisada por meio dos conceitos de *coletivo de pensamento*, *circulação intracoletiva*, *ciência dos periódicos* e *ciência dos manuais*. Nesta perspectiva, evidenciamos o desenvolvimento de conferências e de seminários pelo coletivo de pensamento astronômico, em especial, radioastrónomos e astrofísicos, além da publicação de diversos artigos com resultados teóricos e observacionais, processos estes que impulsionaram a construção dos primeiros conhecimentos sobre os pulsares que ampliaram as possibilidades de estudos no campo da Astronomia. Além disso, este artigo, novamente, ainda que de maneira mais breve, aponta o processo de serendipidade em descobertas científicas: os pulsares se manifestaram em determinadas ocasiões anteriores ao trabalho desenvolvido pela astrônoma, mas não captaram a atenção dos observadores – o que demonstra a importância da “mente preparada” das/os cientistas para a ocorrência dessas descobertas.

Neste momento, é importante apontar que esses artigos, em grande medida, foram essenciais para consecução do quarto objetivo específico: *explicitar conhecimentos de Física e de Astronomia que proporcionem o entendimento conceitual dos pulsares*. De fato, é possível avaliar que os pulsares consistem em um fenômeno que pode ser investigado em diversos campos da Física e da Astronomia: desde a Mecânica, para se compreender o movimento de rápida rotação destas estrelas; à Óptica, de maneira a se entender a ampla faixa do espectro eletromagnético em que pulsares podem emitir seus pulsos até os telescópios; à Radioastronomia, no seu processo de identificação por meio dos radiotelescópios; à Astrofísica, especialmente no entendimento do processo de evolução estelar. Por ser um fenômeno de fronteira, pulsares são investigados na perspectiva da Física Nuclear e de Partículas – de forma a entender a constituição destas estrelas – além da Física Relativística, como em estudos sobre as ondas gravitacionais.

Em meio à relevância de destacar a coletividade na descoberta dos pulsares, havia uma mulher cientista com uma importante trajetória a ser evidenciada, em especial, para o campo da educação científica. Desta maneira, o Artigo 4 procurou alcançar o exposto no terceiro objetivo da dissertação, a saber, *realizar um estudo biográfico sobre a trajetória acadêmica de Jocelyn Bell Burnell, considerando referenciais de Gênero e Ciências, que evidencie elementos para discussão sobre a presença das mulheres no campo científico*. Neste estudo, foram apontados determinados elementos, a luz da trajetória de vida de Bell Burnell, que favorecem ou impedem o ingresso, a ascensão e a permanência de mulheres na ciência. O manuscrito apontou que a história da astrônoma exemplifica a importância do apoio familiar e escolar para meninas ingressarem à ciência. Por outro lado, evidencia, como um aspecto recorrente na carreira de mulheres, os impactos do Efeito Matilda e as dificuldades na conciliação entre a maternidade e a atividade científica. Em suma, o artigo defende que estas discussões de gênero e a história de mulheres cientistas devem ser consideradas em debates sobre a NdC, reconhecendo-se, no entanto, que nenhuma trajetória pode generalizar os desafios vivenciados por mulheres, tendo em vista que mulheres possuem diferentes origens.

O Artigo 5, por sua vez, veio a contemplar o quinto objetivo específico da dissertação, no sentido de se *propor uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa, com base no referencial da Teoria da Aprendizagem Significativa Crítica, que promova discussões histórico-epistemológicas sobre a descoberta dos pulsares para a educação científica na formação inicial de docentes em Física e em Astronomia*. A Unidade Didática, baseada em grande medida nas discussões apontadas nos artigos anteriores, consistiu em um importante esforço para que futuras/os professoras/es reconheçam aspectos históricos de uma importante descoberta da Astronomia do Século XX de maneira a refletir, entre outras coisas, sobre determinados elementos relativos a Natureza da Ciência, a exemplo da manifestação da serendipidade e da coletividade em descobertas científicas, além da presença de mulheres no empreendimento científico.

É de suma importância ressaltar a flexibilidade da proposta, no sentido de que outros materiais que elaborem discussões sobre as estrelas de nêutrons, a serendipidade e coletividade na ciência, bem como o debate sobre mulheres na ciência podem ser considerados e contribuir com as discussões, desde que mantenham a essência e conversem com os objetivos da Unidade de Ensino. Em suma, entendemos que implementações da proposta podem proporcionar uma dupla contribuição em sala de aula, concedendo visibilidade a um relevante episódio da História da Astronomia e evidenciando as contribuições e a trajetória de uma importante cientista.

Cabe lembrar que na introdução e no início de cada artigo desta dissertação, apresentamos citações proferidas por Bell Burnell, devidamente contextualizadas, que oportunizam reflexões relativas à ciência e a produção do conhecimento científico. A citação abaixo, por exemplo, resume, em grande medida, o processo de escrita de uma pesquisa e suas possibilidades futuras. Igualmente, podemos estender tal reflexão a esta dissertação, que também direciona o nosso olhar para a procura de novos sinais, de novas possibilidades de estudos:

Ao desenvolver uma pesquisa científica, você está abordando uma ou duas questões e descobre que tem mais algumas dúvidas que foram descobertas por sua pesquisa. Então é como estar em círculos e cada vez que você alcança a borda do círculo, você percebe que há mais perguntas e outro círculo fora dele, e você vai até a borda desse círculo, e percebe que há mais perguntas fora dele. [...] Enquanto o financiamento, enquanto a vida permitir, você continua perseguindo pergunta após pergunta após pergunta (BELL BURNELL, 2010).

Desta maneira, além da importância de implementações didáticas sobre a história dos pulsares no contexto da formação inicial de docentes em Física e em Astronomia, possibilidades futuras de pesquisas incluem:

a) investigar outras fontes documentais sobre a descoberta dos pulsares sob a perspectiva de outros personagens, a exemplo de Antony Hewish e de outros cientistas envolvidos no episódio histórico;

b) adentrar em elementos da História Cultural da Ciência, de maneira a abordar, por exemplo, aspectos da cultura popular que perpassam a própria produção do conhecimento científico: o exemplo dos *Little Green Men* demonstra como o imaginário cultural sobre extraterrestres encaminhou os radioastrônomos de Cambridge a certa parcimônia em meio à tentativa de publicação dos primeiros pulsares. Igualmente, seria importante investigar a repercussão da descoberta no meio midiático;

c) estudar o conceito de serendipidade na ciência por meio de outros episódios históricos, reconhecendo a ausência de discussões relativas à este aspecto da natureza da ciência na educação científica e de conceitos relacionados, como acaso, casualidade e acidentalidade;

d) apontar e explorar outros elementos de Natureza da Ciência que podem ser debatidos por meio do episódio. Por exemplo, seria válido explorar o debate sobre a instrumentação na Astronomia e sua importância na construção de modelos científicos: no contexto histórico de detecção dos primeiros pulsares, o desenvolvimento de radiotelescópios e da radioastronomia estava em uma crescente expansão;

e) atentar à necessidade de investigações direcionadas ao ensino de ciências sobre trajetórias e contribuições de outras astrônomas mulheres, a exemplo de Vera Rubin, cujo trabalho possibilitou demonstrar as primeiras evidências da existência de matéria escura; e de

Margaret Burbidge, desenvolvendo pesquisas na compreensão da nucleossíntese estelar, o processo de produção de elementos químicos no interior das estrelas;

f) investigar o episódio histórico considerado na presente pesquisa por meio de outras perspectivas epistemológicas, especialmente de filósofas da ciência. Esta ideia se mostra relevante pelo fato de que, apesar da presente pesquisa objetivar romper com a escrita, predominantemente masculina, sobre a história de personagens na ciência, grande parte dos referenciais em que se apoiou está associada a uma epistemologia canônica. Sem desejar recair em argumentos anacrônicos, consideramos importante ressaltar que estas epistemologias não consideraram o fato que a produção científica esteve, por tempos, “[...] diretamente influenciada pela hegemonia branca e masculina na qual a ciência está estabelecida” (LIMA, 2019, p. 53).

Ainda, destacamos que em meio à pandemia global da COVID-19, mulheres pesquisadoras vivenciaram a sobrecarga entre o mundo doméstico e o mundo profissional. Em um estudo conduzido pelo projeto *Parent In Science*, que entrevistou pesquisadoras/es brasileiras/os durante a pandemia, apontou-se que “[...] nem todos os cientistas são afetados da mesma forma: mães brancas e mulheres negras, estas independentemente de serem mães, são os grupos mais atingidos no meio acadêmico” (STANISCUASKI *et al.*, 2021, p. 7). Ainda que distante temporalmente, esse contexto parece ressoar em alguma medida com determinados desafios vivenciados por Jocelyn Bell Burnell. Assim, é insuficiente apenas garantir o acesso às mulheres no campo científico, mas sim, mudanças estruturais nas instituições científicas são essenciais para que elas, mulheres de diferentes origens possam permanecer neste espaço.

Em conclusão, espera-se que esta pesquisa, sobre a contribuição de uma importante cientista na descoberta de um dos fenômenos mais interessantes da Astronomia do Século XX, possa ensejar o desenvolvimento de outras investigações que procurem explorar a potencialidade de conceitos ainda pouco explorados na educação científica, a exemplo dos pulsares, e possa incentivar a escrita sobre a história de outras mulheres. De fato, como apontado por Bell Burnell na frase que inicia esta seção, “se presumirmos que chegamos: paramos de pesquisar, paramos de desenvolver”.

REFERÊNCIAS

BELL BURNELL, J. Discovery of Pulsars (Temporada 1, Episódio 1) **Beautiful Minds** [Seriado de Televisão]. United Kingdom: BBC, 2010.

BELL BURNELL, J. **Reflections On The Discovery of Pulsars**. Proceedings of “XXVII General Assembly of International Astronomical Union”. 2009.

<https://doi.org/10.22323/1.099.0014>

CELLARD, A. A análise documental. In: POUPART, J. *et al.* (Ed.). **A Pesquisa Qualitativa: enfoques epistemológicos e metodológicos**. 3. ed. Petrópolis: Editora Vozes, 2012. p. 295–315.

CORDEIRO, M. D. **Dos Curie a Rutherford**: aspectos históricos e epistemológicos da radioatividade na formação científica. 2011. Florianópolis. 234 p. Dissertação (Mestrado em Educação Científica e Tecnológica) - Universidade Federal de Santa Catarina.

DAMASIO, F. **História da Ciência na Educação Científica**: uma abordagem epistemológica de Paul Feyerabend procurando promover a Aprendizagem Significativa Crítica. 2017. Florianópolis. 404 p. Tese (Doutorado em Educação Científica e Tecnológica) - Universidade Federal de Santa Catarina.

FLECK, L. **Gênese e Desenvolvimento de um Fato Científico**. Belo Horizonte: Fabrefactum, 2010.

FONSECA, K. H. L. **Tecnologias digitais na educação**: possibilidades para a formação de professoras dos anos iniciais do Ensino Fundamental. 2021. Viçosa. 211 p. Dissertação (Mestrado em Educação) - Universidade Federal de Viçosa.

HEWISH, A. *et al.* Observation of a Rapidly Pulsating Radio Source. **Nature**, v. 217, n. 5130, p. 709–713, 1968.

JORGE, L. **Na Formação de Professores e Cientistas**: uma HQ sobre aspectos da NdC e imagens: encantar-se com os entre-(en)laces. 2018. Florianópolis. 335 p. Dissertação (Mestrado em Educação Científica e Tecnológica) - Universidade Federal de Santa Catarina.

KUBOTA, F. I. *et al.* Teses e dissertações em formato de coletânea de artigos: identificação e análise de características fundamentais para uma estruturação robusta. In: Simpósio de Engenharia de Produção, 25., Bauru. **Anais...** Bauru: Universidade Estadual Paulista, 2018.

KUHN, T. S. **A Tensão Essencial**: estudos selecionados sobre tradição e mudança científica. São Paulo: Editora Unesp, 2011.

KUHN, T. S. **A Estrutura das Revoluções Científicas**. 13. ed. São Paulo: Perspectiva, 2018.

LAMBIASE, R. G. P. **Perspectivas e desafios da licenciatura para a educação profissional**: um estudo de caso. 2019. Salvador. 137 p. Tese (Doutorado em Ensino, Filosofia e História das Ciências) – Universidade Federal da Bahia, Universidade Estadual de Feira de Santana.

LEVIN, J. **A música do universo**: ondas gravitacionais e a maior descoberta científica dos últimos cem anos. São Paulo: Companhia das Letras, 2015.

LIMA, I. P. C. **Lise Meitner e a fissão nuclear**: caminhos para uma narrativa feminista. 2019. Salvador. 181 p. Tese (Doutorado em Ensino, Filosofia e História das Ciências) - Universidade Federal da Bahia.

MENDES, R. Estrelas de nêutrons e seus múltiplos mensageiros. **Cadernos de Astronomia**, v. 2, n. 2, p. 58–70, 2021.

MOREIRA, M. A. Pesquisa básica em educação em ciências: uma visão pessoal. **Revista Chilena de Educación Científica**, v. 3, n. 1, 2004.

MOREIRA, M. A. Aprendizagem Significativa Crítica. **Indivisa, Boletín de Estudios e Investigación**, n. 6, p. 83–101, 2005.

MOREIRA, M. A. Unidades de Enseñanza Potencialmente Significativas - UEPS. **Aprendizagem Significativa em Revista**, v. 1, n. 2, p. 43–63, 2011.

QUEIROZ, M. R. P. P. P. **A matemática financeira situada em contextos bancários e em livros didáticos**. 2014. Salvador, 135 p. Tese (Doutorado em Ensino, Filosofia e História das Ciências) – Universidade Federal da Bahia, Universidade Estadual de Feira de Santana.

RAICIK, A. C. **Experimentos exploratórios: os contextos da descoberta e da justificativa nos trabalhos de Gray e Du Fay**. 2015. Florianópolis. 233 p. Dissertação (Mestrado em Educação Científica e Tecnológica) - Universidade Federal de Santa Catarina.

ROSSITER, M. W. The Matthew Matilda Effect in Science. **Social Studies of Science**, v. 23, n. 2, p. 325–341, 1993.

SCHIEBINGER, L. **O feminismo mudou a ciência?** Bauru: EDUSC, 2001.

STANISCUASKI, F. *et al.* Gender, Race and Parenthood Impact Academic Productivity During the COVID-19 Pandemic: From Survey to Action. **Frontiers in Psychology**, v. 12, n. May, p. 1–14, 2021.

TEIXEIRA, E. S. **Argumentação e abordagem contextual no ensino de Física**. 2010. Salvador. 148 p. Tese (Doutorado em Ensino, Filosofia e História das Ciências) - Universidade Federal da Bahia, Universidade Estadual de Feira de Santana.

TENFEN, D. N. **Mapas conceituais como ferramenta para a organização do conhecimento em uma disciplina sobre história da Física**. 2011. Florianópolis. 206 p. Dissertação (Mestrado em Educação Científica e Tecnológica) - Universidade Federal de Santa Catarina.

VIEIRA, P. C. **Uma estrela eclipsada na ciência: um resgate histórico de Cecília Payne e seu papel na determinação da composição estelar**. 2021. Porto Alegre. 172 p. Tese (Doutorado em Ensino de Física) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul.