

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE FÍSICA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA

**Tese de Doutorado**

**UMA ESTRELA ECLIPSADA NA CIÊNCIA:  
UM RESGATE HISTÓRICO DE CECILIA PAYNE E SEU PAPEL  
NA DETERMINAÇÃO DA COMPOSIÇÃO ESTELAR**

**Patrese Coelho Vieira**

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dra. Neusa Teresinha Massoni  
Coorientador: Prof. Dr. Alan Alves Brito

Porto Alegre  
Ago/2021

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE FÍSICA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA

**Tese de Doutorado**

**UMA ESTRELA ECLIPSADA NA CIÊNCIA:  
UM RESGATE HISTÓRICO DE CECILIA PAYNE E SEU PAPEL  
NA DETERMINAÇÃO DA COMPOSIÇÃO ESTELAR**

**Patrese Coelho Vieira**

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ensino de Física do Instituto de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Doutor em Ensino de Física.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dra. Neusa Teresinha Massoni  
Coorientador: Prof. Dr. Alan Alves Brito

Porto Alegre  
Ago/2021

*Pesquisa*

*Ó Universo, ó Amante,*

*Eu me entreguei a ti*

*Não por ouro*

*Não por glória*

*Mas por amor.*

*Nossas crianças são imortais,*

*Eu sou a Mãe.*

*A descendência do nosso amor*

*Terá a imagem de uma humilde mãe*

*E também de um orgulhoso e imperioso pai.*

*Como Dânae*

*Eu o vi em um fluxo de estrelas brilhantes;*

*Como Alcmena*

*Muito, muito tempo eu fiquei deitada em seu abraço terrível.*

*Seus filhos caminham ao redor do firmamento;*

*Minhas crianças saltitam em seus calcanhares.*

*Cecilia Helena Payne-Gaposchkin*

## Agradecimentos

Realizar agradecimentos nominais sempre pode levar a algumas injustiças, mas igualmente não seria justo deixar de reconhecer o auxílio de quem esteve presente ao longo desses anos.

Obrigado, prof<sup>a</sup>. Neusa e prof. Alan, por terem apresentado a ideia para esta tese, sem a qual nada teria acontecido, pelas revisões, inspirações, prazos a mais, incentivos e por não desistirem deste trabalho, principalmente quando eu estava quase desistindo. Sem a orientação de vocês certamente não conseguiria terminá-lo.

Agradeço o Iuday, a quem conheci depois de ingressar no doutorado e que em tão pouco tempo se tornou tão especial. Obrigado pela paciência e companheirismo no convívio diário e por compreender as ausências.

Embora provavelmente não lembrem, quero expressar minha gratidão à Juliana, à Elisa e ao Carlos, por terem dito que não há problema algum em um homem realizar uma pesquisa sobre a vida de uma mulher. O importante é que a história seja contada.

Harlow Shapley, certa vez, disse a Cecilia Payne que ninguém poderia concluir um doutorado sem sofrer um colapso nervoso. Particularmente, discordo, por isso gostaria de agradecer a Livia por ter me ajudado a manter a sanidade mental dentro dos níveis aceitáveis.

Agradeço à Priscila, por em todos os anos, no dia dos professores, reconhecer que fiz bem em não seguir as suas recomendações profissionais. Obrigado, também, às muitas professoras em minha família, pelos exemplos e por não glamourizarem a profissão, pois lutar é preciso.

Luna Maria e Salem foram parte essencial da produção desta tese, pois miar na minha volta pedindo colo fazia com que eu fosse obrigado a permanecer horas sentado trabalhando em frente ao computador para não desacomodá-los.

Obrigado, Cleusa e Odair, pelo incentivo em ter a educação que vocês, infelizmente, não tiveram acesso. Mesmo não mais presentes, suas palavras permanecem vivas.

Às servidoras e aos servidores da UFRGS, minha admiração e respeito por manter essa instituição funcionando diariamente. Educação pública, gratuita e de qualidade são direitos inegociáveis.

Conhecer a história de Cecilia Payne e poder contá-la se transformou em um grande aprendizado. Espero ter feito um bom trabalho e que as pessoas que tomarem contato com esta tese possam aproveitá-la e refletir sobre a jornada dessa brilhante cientista.

## Sumário

<b>Resumo.....</b>	<b>7</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>8</b>
<b>1. Introdução: por que é importante abordar a história de mulheres na ciência?.....</b>	<b>9</b>
1.1. Por uma ciência plural .....	9
1.2. Uma breve introdução à história de Cecilia Payne .....	11
1.3. Mulheres na ciência: histórias de desafios e privações.....	14
<b>2. Pesquisa: Cecilia Payne, composição estelar e vivência de uma mulher cientista.....</b>	<b>22</b>
2.1. A História da Ciência pode contribuir para uma maior participação das mulheres na ciência? .....	22
2.2. Justificativa: a subrepresentação das mulheres na ciência.....	26
2.3. Definição do problema de pesquisa .....	37
<b>3. Estruturação da pesquisa: referenciais teóricos, metodológicos e epistemológicos ....</b>	<b>40</b>
3.1. Subsídios para a pesquisa em História da Ciência.....	40
3.2. Relações entre História da Ciência e ensino de ciências .....	44
3.3. Aportes da teoria da aprendizagem significativa crítica de Marco Antonio Moreira....	53
3.4. Organização dos dados e emprego da teoria fundamentada em dados de Anselm Strauss e Juliet Corbin.....	58
3.4.1. Fontes de dados .....	58
3.4.2. Análise dos dados e cuidados historiográficos.....	61
3.5. Contribuições da epistemologia de Ludwik Fleck.....	66
3.6. Considerações da crítica feminista da ciência de Londa Schiebinger .....	74
<b>4. Cecilia Payne e a composição das atmosferas estelares .....</b>	<b>87</b>
4.1. A complexidade por trás do elemento mais simples.....	87
4.2. Uma menina que queria ser cientista .....	90
4.3. Completa transformação da imagem do mundo: os anos em Cambridge.....	94
4.4. Novo Mundo, antigas tradições: a chegada em Harvard .....	102
4.5. O estado da arte da composição estelar .....	105
4.6. Atmosferas estelares: a tese de doutorado de Payne.....	111

4.7. Alcançando a abundância relativa dos elementos químicos nas estrelas.....	118
4.8. Desdobramentos da tese de Payne .....	126
4.9. Uma estrela eclipsada .....	131
4.10. Reconhecimento tardio: a estrela volta a brilhar quando o eclipse se desfaz? .....	135
<b>5. Considerações finais .....</b>	<b>141</b>
<b>6. Referências bibliográficas.....</b>	<b>148</b>
<b>7. Apêndice .....</b>	<b>172</b>

## Resumo

O presente trabalho apresenta um relato histórico sobre a vida e obra da astrofísica britânico-estadunidense Cecilia Helena Payne-Gaposchkin (1900 – 1979), cuja trajetória pessoal esteve envolta em dificuldades enfrentadas, enquanto mulher cientista, para ingressar e permanecer na carreira profissional e na busca por reconhecimento e ascensão acadêmica. Está focado, principalmente, em seu papel fundamental na determinação da abundância relativa dos elementos químicos nas atmosferas das estrelas, no período de realização de sua pesquisa de doutorado, entre 1923 e 1925. Para tal, se tomou por base tanto publicações da época, realizadas pela própria cientista e também por seus pares, quanto fontes posteriores que tratam de sua história de vida e carreira profissional, analisadas dentro do contexto das perspectivas historiográficas atuais, através das bases conceituais da Teoria Fundamentada em Dados de Strauss e Corbin, da Teoria da Aprendizagem Significativa Crítica de Moreira, da Epistemologia de Fleck e da Crítica Feminista à Ciência de Schiebinger. Entendeu-se que a tese de doutorado de Payne representa um marco na Astrofísica, por apontar a homogeneidade da composição das estrelas e a alta concentração de hidrogênio e hélio nas atmosferas estelares em relação aos demais elementos químicos analisados. Este último achado contrariava o estilo de pensamento então vigente, no qual elementos metálicos, como o ferro, teriam maior preponderância. Mesmo diante de tal feito, entendido como pioneiro, Cecilia Payne permaneceu subvalorizada profissionalmente por ser mulher, com progresso lento e continuamente desvalorizado, tendo seu legado encoberto.

**Palavras-chave:** Cecilia Payne; História da Ciência; Mulheres na História da Ciência; Astrofísica.

### Abstract

This work presents a historical account of the life and work of British-American astrophysicist Cecilia Helena Payne-Gaposchkin (1900-1979), whose personal trajectory was shrouded in difficulties faced as a woman scientist to enter and remain in a professional career and in the search for recognition and academic advancement. It is mainly focused on her fundamental role in determining the relative amount of chemical elements in the atmospheres of stars, during the period of her doctoral research, between 1923 and 1925. For that, we took as a basis publications of the time, made by the scientist herself and also by her peers, as well as later sources that deal with her life history and professional career, analyzed within the context of current historiographic perspectives, through the conceptual bases of Strauss and Corbin's Ground Based Theory, Moreira's Theory of Critical Meaningful Learning, Fleck's Epistemology and from Schiebinger's Feminist Critique of Science. It was understood that Payne's doctoral thesis represents a milestone in Astrophysics, as it points to homogeneity in the composition of stars and the concentration of hydrogen and helium in stellar atmospheres in relation to other chemical elements. This last finding contradicted the then current thought style, in which metallic elements, such as iron, had greater preponderance. Even in the face of this feat, understood as a pioneer, Cecilia Payne remained professionally undervalued for being a woman, with slow progress and continuously undervalued, having her legacy covered up.

**Keywords:** Cecilia Payne; History of Science; Women in the History of Science; Astrophysics.

# 1. INTRODUÇÃO: POR QUE É IMPORTANTE ABORDAR A HISTÓRIA DE MULHERES NA CIÊNCIA?

## 1.1. POR UMA CIÊNCIA PLURAL

Estrelas são esferas autogravitantes de gás ionizado, cuja fonte de energia é a transmutação de elementos através de reações nucleares, isto é, da fusão nuclear de hidrogênio em hélio e, posteriormente, em elementos mais pesados. (OLIVEIRA FILHO; SARAIVA, 2017, p.193)

Estudantes de Astrofísica inevitavelmente se deparam, ao conhecer a teoria da evolução estelar, com uma primeira conceitualização do que são estrelas. Tais definições exigem um conjunto de conhecimentos prévios de Física introduzidos ao longo de anos, um processo que tem início no Ensino Básico e é enriquecido e aprofundado no Ensino Superior, e que tem, portanto, diferentes graus de complexidade. 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. Este caráter, por vezes, parece dissociado da ciência, cuja concepção tradicional privilegia os resultados e não os aspectos relacionados à construção do conhecimento (SANTOS, 2017).

Nessa perspectiva, ao se tratar a temática da composição das estrelas, seria imprescindível citar em sala de aula, tanto da educação científica básica quanto superior, o papel de Cecilia Payne, astrofísica responsável por medir as grandes quantidades de hidrogênio e hélio em comparação aos demais elementos químicos presentes nas atmosferas estelares (PAYNE, 1925). A História da Ciência, que tem entre os seus benefícios auxiliar na desconstrução da noção de universalidade e infalibilidade científica e fornecer novas bases para a reformulação do pensar sobre ciência (ALFONSO-GOLDFARB, 1994; BELTRAN; SAITO; TRINDADE, 2014; SCHIFFER; GUERRA, 2019), poderia contribuir enormemente nesse processo. Há décadas se defende que seu emprego no ensino de ciências pode favorecer abordagens que contextualizam aspectos éticos, sociais, filosóficos, políticos, econômicos e

tecnológicos (BROUWER; SINGH, 1983; MATTHEWS, 1995; DUARTE; 2004, MARTINS, 2007; OKI; MORADILLO, 2008; MONTEIRO; MARTINS, 2015; BARP *et al.*, 2017; GURGEL, 2020; JARDIM; GUERRA; SCHIFFER, 2021), bem como pode ser um auxiliar à elevação cultural de estudantes de cursos universitários, sob o viés de que não deveríamos apenas treinar especialistas, mas lhes fornecer uma formação cultural mais ampla, repensando a natureza da pesquisa científica e sua relação com outras culturas, humanizando as ciências da natureza (MARTINS, 1990; EL-HANI, 2006; CORDEIRO; PEDUZZI, 2012; MARQUES, 2015.a; CARVALHO; JUSTI, 2019).

O resgate do percurso histórico de cientistas permitiria, por exemplo, perceber o diálogo entre construtos teóricos e as experimentações desenvolvidas; evidenciar aspectos subjetivos, lógicos e coletivos presentes no contexto da descoberta; ressignificar o papel do experimento na pesquisa científica, percepções estas que evitariam a geração e propagação de visões distorcidas da dinamicidade da ciência (RAICIK; PEDUZZI, 2015), assunto extremamente atual e cujo debate se mostra urgente.

No entanto, apesar das vantagens apontadas, um fator em comum percebido nas diferentes etapas da educação formal é a pouca utilização da História da Ciência no ensino de ciências (TEIXEIRA; GRECA; FREIRE JR, 2012; OLIVEIRA; SILVA, 2013), a qual abre margem para uma abordagem tradicional, mais mecanicista e autoritária (TEIXEIRA, 2018). Mesmo quando presente em livros didáticos, o uso da História da Ciência, em geral, ocorre de forma breve, ingênua e distorcida (CARVALHO; GARCIA, 2015).

Esse distanciamento entre História da Ciência e ensino acaba por agir em benefício de um mesmo perfil de ciência e também de cientista, uma vez que a diversidade de profissionais deixa de ser explorada, um exercício crítico que, por vezes, historiadores e historiadoras da ciência não executam ao eleger um perfil mais recorrente de personagem a ser relatado, o masculino, realidade que se tornou mais fortemente questionada somente na década de 1970 (SCHIEBINGER, 2001; SANTANA, 2021), a partir de avanços obtidos através da pauta da chamada segunda onda feminista (conforme será aprofundado no Capítulo 3). Privilegia-se, desse modo, um cenário geral de cientistas enquanto homens, brancos (REZNIK; MASSARANI; MOREIRA, 2019), provenientes da Europa ou Estados Unidos (ALVES-BRITO *et al.*, 2019-2020), presumivelmente cisgêneros e heterossexuais (PINHEIRO, 2019), oriundos de estratos sociais, culturais e econômicos vistos como mais elevados ou, se não, são apresentados como exemplos de perseverança e ascensão social, características que, aliadas à

ideia de que para se estudar ciência é necessário ter nascido com um intelecto genial (ROSENTHAL; REZENDE, 2017), acabam por endossar o senso comum de que se tornar cientista é um destino para poucos escolhidos.

Tal estereótipo tem refúgio no colonialismo, em dar poder e narrar as conquistas de povos vistos como desenvolvidos, os mesmos que destruíram e usurparam a história, a arte, a ciência e a riqueza material e imaterial de muitos outros povos, taxados erroneamente como inferiores ou incultos (ROSA; ALVES-BRITO; PINHEIRO, 2020), um modelo conhecido como eurocentrismo, que toma como referência clássica as civilizações grega e romana, e se coloca como mais avançado em termos de civilização e saberes, fazendo com que as culturas conquistadas interiorizem uma pretensa condição de “primitivas e arcaicas” (VIEIRA, 2006).

A ciência não pode permanecer com uma estrutura que suscite conivência com tais erros do passado. Ela precisa e deve urgentemente ser mais plural, derrubar modelos equivocados, dar voz às pessoas sistematicamente silenciadas e mostrar que sem seus conhecimentos e esforços essa mesma ciência não estaria hoje no seu atual grau de refinamento. Nesse sentido, a História da Ciência tem o poder de, se não fizer, ao menos iniciar tais reparações. Deve estar atenta ao mundo atual e romper com as estruturas de desigualdade (GUERRA; MOURA; GURGEL, 2020).

É nessa corrente de pensamento que a presente tese busca se inserir, na tentativa de trazer mais luz às realizações de cientistas que foram invisibilizados(as), quer por questões associadas à raça, etnia, gênero, nacionalidade, orientação sexual, identidade de gênero, entre outras, e que historicamente foram associadas a grupos minoritários e excluídos. A admirável contribuição de Cecília Payne para o entendimento do que são feitas as estrelas em conjunto com os percalços enfrentados enquanto mulher para se tornar cientista é o caso histórico que aqui se busca resgatar.

## ***1.2. UMA BREVE INTRODUÇÃO À HISTÓRIA DE CECILIA PAYNE***

Cecilia Helena Payne-Gaposchkin (1900 – 1979) foi a primeira pessoa a mensurar e perceber a grande quantidade de hidrogênio e hélio na composição das atmosferas estelares em relação aos demais elementos químicos (KIDWELL, 1996; MOORE, 2020), quando tinha

apenas 24 anos de idade. Apesar desse feito, de fundamental importância para a Física e a Astrofísica (HEARNSHAW, 2014), seu nome pouco é conhecido ou assume um papel influente mesmo nos círculos dessas áreas.

Nascida no interior da Inglaterra, quando criança demonstrou interesse pelas ciências e curiosidade pelo mundo que a cercava, percebendo desde pequena que seu gênero já assumia relevância nas atividades que poderia ou não fazer, de acordo com as regras sociais de então, e questionando suas razões (PAYNE-GAPOSCHKIN, 1996). Mesmo com sua curiosidade, passou parte da infância em escolas exclusivamente para meninas, as quais não costumavam investir no ensino de ciências, fato que persistiu até meados de sua adolescência.

Ingressou em 1919 na Newnham College, instituição da Universidade de Cambridge também voltada para o ensino somente de mulheres, em um curso de formação generalista em Ciências da Natureza, com ênfase nas áreas de Botânica, Química e Física. No mesmo ano, ao assistir na universidade a uma palestra sobre as observações do eclipse solar que forneceram bases empíricas para a Teoria da Relatividade Geral, ocorreu o que ela chamou de uma transformação da sua visão de mundo (PAYNE-GAPOSCHKIN, 1996), optando por aprofundar seus estudos em Física, dedicando-se mais fortemente à Astronomia, porém de forma independente, pois esse ramo não pertencia ao seu curso de origem.

Com a finalização de sua graduação, em 1923, precisou mudar-se para os Estados Unidos, pois, por ser mulher, não conseguiria prosseguir na Universidade de Cambridge, obtendo uma bolsa como pesquisadora na Universidade de Harvard. Em meio a desafios pessoais e profissionais, em 1925 publicaria sua tese de doutorado, intitulada “*Stellar Atmospheres*” (PAYNE, 1925.a), na qual faria um teste para a ainda incipiente teoria da ionização térmica, realizando como uma das aplicabilidades sugeridas a medida da abundância relativa dos elementos químicos na constituição da atmosfera de um grupo de estrelas.

Sua tese, organizada de forma bem embasada e inovadora, foi avaliada com inicial cautela por um influente revisor, que a aconselhou a desconsiderar a enorme abundância de hidrogênio e hélio, sob o argumento de que esse achado contrariava a concepção vigente à época, de que as estrelas teriam elementos mais pesados, como o ferro, presentes de forma mais numerosa em sua composição. Cecilia Payne aderiu parcialmente às orientações recebidas, publicando os resultados originais, porém apontando ressalvas às suas próprias

conclusões, impelida pelo *estilo de pensamento* que predominava à época (FLECK, 2010) e por receios do que o poder desse revisor poderia causar em sua carreira (DeVORKIN, 2010).

Apesar da prudência tomada, sua tese foi bem recebida por seus pares (STRUVE, 1926) e lhe garantiu certo destaque no círculo astronômico local<sup>1</sup>. Ainda assim, tal situação não se transformou em garantia de melhores condições de trabalho ou mesmo de reconhecimento. Cecilia Payne (Figura 1) foi contratada como assistente do diretor do Observatório de Harvard, porém desempenhava funções muito mais complexas que seu cargo e recebia um salário baixíssimo comparado aos seus colegas homens (KIDWELL, 1996). Somente foi contratada como professora na instituição em 1956, após mais de três décadas de trabalho, sendo a primeira mulher nessa universidade a ocupar tal posição.



---

<sup>1</sup> Ludwik Fleck, que é tomado como referencial teórico-epistemológico nesta tese, propôs que a estrutura dos coletivos de cientistas e o conhecimento dos fatos científicos são marcados pela formação de grupos segregados de especialistas, que ele denomina *círculos esotéricos*, que se destacam pelo elevado saber e competência e acabam estabelecendo relações intelectuais, por exemplo, com os novatos e leigos, em que há um predomínio de sua *forma* ou *estilo de pensamento* (MASSONI; MOREIRA, 2015).

*Fig. 1: Cecilia Payne na Universidade de Harvard, Estados Unidos, provavelmente na década de 1920. Fonte: Smithsonian Institution Archives; autoria desconhecida; imagem sem restrições conhecidas em relação a direitos autorais.*

Infelizmente, mesmo nos dias atuais, são pouquíssimas as pessoas que já ouviram falar sobre essa pesquisadora, se desperdiçando sua grandeza e a representatividade que a mesma poderia suscitar. Em princípio, existe uma quantidade ínfima de materiais dedicados a explicar seu legado em língua portuguesa, em sua maioria reportagens em *sites* de notícia ou publicações em *blogs*, e não se encontrou publicações na literatura científica brasileira relativas à História da Ciência ou ensino de ciências dedicadas especificamente a Cecilia Payne enquanto figura central. Há, certamente, contribuições, mesmo assim em um número não tão elevado, dado quase um século transcorrido desde a publicação de sua tese de doutorado, em revistas indexadas e em livros em inglês, entretanto, estes são recursos que não estão ao alcance da maioria da população brasileira.

Mesmo sendo uma pessoa branca, europeia com nacionalidade estadunidense, cisgênera, heterossexual, com acesso à educação formal e um ambiente familiar favorável a sua instrução, Cecilia Payne era mulher. Ainda que tais características possam garantir certa condição de privilégio frente à diversos grupos, pertencer ao gênero feminino foi fator decisivo para colocá-la sistematicamente à margem da História da Ciência e ter seu nome invisibilizado, ainda que seu legado seja uma presença permanente, conforme será discutido mais profundamente ao longo da presente investigação.

### ***1.3. MULHERES NA CIÊNCIA: HISTÓRIAS DE DESAFIOS E PRIVAÇÕES***

Nas décadas de transição entre os séculos XIX e XX universidades no hemisfério ocidental começaram a aceitar a matrícula de mulheres no ensino superior de forma mais expressiva, período que não por acaso coincide com o princípio de um aumento, mesmo que tímido, da presença de mulheres na ciência (CORDEIRO, 2017). O acesso à graduação não era garantia de que a trajetória acadêmica dessas mulheres teria tratamento equivalente a dos discentes homens, dada a existência de casos de discriminação por gênero, por parte de colegas e professores, e a supressão da suas conquistas, registrada na biografia de muitas mulheres cientistas, como o próprio caso do apagamento de Cecilia Payne e demais aqui brevemente discutidas.

A cientista que provavelmente possui maior reconhecimento tanto no círculo acadêmico quanto fora dele é Marie Skłodowska Curie (1867 – 1934), física polonesa radicada na França que ganhou evidência devido ao desenvolvimento da radioatividade e identificação dos elementos químicos polônio e rádio. Ao longo de sua trajetória Curie não se viu livre de episódios de machismo, seja na diferença de oportunidades ou de tratamentos. Ainda jovem, frequentava aulas em uma universidade clandestina na Polônia, uma vez que aquelas mais reconhecidas não aceitavam estudantes mulheres. Após mudar de país e concluir duas graduações na França, retornou para a Polônia para se candidatar a uma vaga de docente na Universidade de Cracóvia, a qual lhe foi negada por ser mulher, decidindo viver em Paris (FUNCHAL, 2015).

Laureada com dois prêmios Nobel em áreas distintas, Física (1903) e Química (1911), a primeira premiação quase não ocorreu em virtude da resistência do comitê do Nobel em aceitar sua indicação e, também, por parte da imprensa, que a via mais como um apoio de seu marido, o também físico Pierre Curie (1859 – 1906), do que como uma cientista capaz de seus feitos (NUNES DEROSI; FREITAS-REIS, 2019). Mesmo após conquistar notoriedade, Marie Curie nunca foi convidada a integrar a Academia de Ciências da França, cuja primeira mulher só foi admitida em 1979, e teve uma honraria negada pela Universidade de Harvard, em 1911, com a justificativa de que não teria produzido nada relevante após a morte de Pierre Curie em 1906 (FUNCHAL, 2015).

A austríaca Lise Meitner (1878 – 1968) igualmente enfrentou muitas dificuldades para conseguir ascender profissionalmente. Meitner tornou-se uma das primeiras mulheres a obter uma graduação e um doutorado em seu país, ambos em Física na Universidade de Viena, cujo acesso ao ensino superior foi permitido no início do século XX. Dada a escassez de ofertas de empregos para mulheres que fossem condizentes com sua formação, se mudou para Berlim, onde começou a trabalhar voluntariamente na Universidade Humboldt, após obter autorização de Max Planck (1858 – 1947) para assistir suas aulas. Meitner, além de não ser assalariada, precisou enfrentar um conjunto de provações, como comentários jocosos sobre o perigo que mulheres representariam no ambiente de laboratório e o fato de não ser autorizada a usar os banheiros da instituição, uma vez que não havia nenhum designado para uso feminino, sendo necessário deixar o campus e caminhar até um restaurante do outro lado da rua (BASSALO; CARUSO, 2015).

Assim como Marie Curie, Meitner também se dedicou à pesquisa sobre radioatividade e identificou um elemento químico inédito, o protactínio, período no qual havia obtido um emprego remunerado, dez anos após sua chegada em Berlim. Por ser judia, precisou fugir da Alemanha em 1938 devido à ascensão do nazismo, refugiando-se na Holanda e depois na Suécia, onde conseguiu estabelecer-se e conquistar um emprego no recém criado Instituto Nobel de Física. Foi em Estocolmo, enquanto conversava com um sobrinho também físico, que Meitner formulou a proposição da fissão nuclear, a qual seria uma solução para o problema originado a partir do bombardeamento de átomos de urânio com nêutrons, que gerava um esperado átomo de rádio, porém um então imprevisível e inexplicável átomo de bário. De seu exílio Meitner comunicou a nova teoria para dois colegas de trabalho que permaneceram na Alemanha, Otto Hahn (1879 – 1968) e Fritz Strassmann (1902 – 1980) (BASSALO; CARUSO, 2015).

Essa contribuição resultou no prêmio Nobel de Química de 1944, porém não para Meitner. Hahn e Strassmann publicaram no final de 1938 um artigo com resultados sobre a produção dos átomos de bário obtidos do urânio bombardeado, porém sem incluir o nome de Meitner, provavelmente por temer perseguições ao mencionar o nome de uma cientista judia (MARQUES, 2015.b), o que estaria por trás do seu não reconhecimento com a premiação, delegada somente a Hahn. Esse episódio exemplifica o que Margaret Rossiter (1993) denomina Efeito Matilda, no qual as contribuições de mulheres cientistas ou têm suas origens ignoradas ou são delegadas a homens, que desfrutam de méritos alheios.

O descaso do Nobel, desta vez de Física em 1957, esteve por trás de outro episódio de desvalorização cometido com uma mulher cientista. A fissão nuclear proposta por Meitner tristemente serviu como base para a produção das bombas atômicas lançadas pelos Estados Unidos sobre as cidades japonesas de Hiroshima e Nagasaki, fazendo-a declarar que foi uma infelicidade tal descoberta ter chegado em tempos de guerra, culminando em sua decisão de não publicar mais estudos sobre o tema após 1945 (BASSALO; CARUSO, 2015). Uma das pessoas que integrou o projeto Manhattan, iniciativa do governo estadunidense para a construção das bombas, foi a física chinesa Chien-Shiung Wu (1912 – 1997).

Ainda na China, Wu graduou-se em Matemática pela antiga Universidade Central Nacional e depois realizou uma formação adicional em Física, que havia se tornado seu maior interesse, em um período de incentivo à participação feminina na sociedade chinesa. Conseguiu diferentes oportunidades de emprego, porém depois de alguns anos decidiu

emigrar para os Estados Unidos para realização de um doutorado na Universidade de Michigan. Nesse período, em meados dos anos 1930, Wu confrontou-se com diferentes situações de preconceito. Ela desistiu da Universidade de Michigan ao saber que lá haveria um *hall* no qual mulheres não poderiam passar, optando por estudar na Universidade de Berkeley, onde concluiu o doutorado em 1940, especializando-se em fissão nuclear. Sua dificuldade com o idioma inglês, na fala e na escrita, havia se tornado motivo de deboche por se tratar de uma imigrante chinesa, sendo alvo, portanto, também de preconceito racial (MAIA FILHO; SILVA, 2019).

O talento e dedicação de Wu à Física Experimental se tornaram notórios, no entanto não foram suficientes para conseguir ser contratada, permanecendo em Berkeley apenas como assistente, demorando muitos anos para conquistar um cargo permanente em uma universidade, ainda assim com remuneração inferior aos docentes homens com cargo equivalente. Quando foi chamada para o projeto Manhattan, Wu não recebeu um convite direto como os homens cientistas, sendo submetida a uma prova de conhecimentos de Física. Ao ser aceita, auxiliou com técnicas para o enriquecimento de urânio (*ibid.*).

A contribuição que poderia ter lhe dado o Nobel de Física de 1957 veio ao corroborar experimentalmente que a conservação de simetria por paridade, princípio até então considerado inviolável pelos coletivos de pensamento especializados, poderia ser quebrada, em um experimento por ela concebido que mobilizou a ajuda de colaboradores em diferentes locais dos Estados Unidos (*ibid.*). No entanto, nesse caso o prêmio foi concedido somente aos físicos que propuseram tal possibilidade teórica, não a Wu, que realizou a corroboração experimental da teoria, em uma situação oposta ao que ocorreu uma década antes com Lise Meitner.

Jocelyn Bell Burnell também viu a oportunidade de ganhar o Nobel de Física lhe ser retirada. A astrofísica inglesa, nascida em 1943, teria sido a primeira pessoa a identificar os pulsares, estrelas de nêutrons que emitem pulsos de radiação eletromagnética na faixa do rádio com intervalos de tempo regulares, durante seu doutorado, concluído em 1969 na Universidade de Cambridge, mesma instituição onde Cecilia Payne havia ingressado cinquenta anos antes. A premiação foi entregue, em 1974, ao seu orientador, Antony Hewish, nascido em 1924, responsável pelo desenvolvimento do radiotelescópio que permitiu a observação, em conjunto com Martin Ryle (1918 – 1984) (PRAKASH, 2014).

Burnell (2020) relatou que, quando ainda estava em seus estudos básicos, certa vez obteve a maior nota em ciências. O professor não lhe teria feito nenhum elogio, porém xingou os meninos por deixarem uma menina ter um desempenho melhor que eles. Comenta que, para sua sorte, seus pais sempre incentivaram suas filhas a terem a mesma educação que seu único filho homem, insistindo para que ela tivesse acesso às aulas de ciências.

O incentivo familiar ao estudo seria um ponto em comum entre as mulheres cientistas que hoje em dia têm seu trabalho reconhecido (MAIA FILHO; SILVA, 2019). Outro exemplo histórico é o de Emmy Noether (1882 – 1935), matemática alemã responsável pelo teorema que leva seu nome, que estabelece relação entre elementos de simetria e princípios de conservação em sistemas físicos (RIBEIRO FILHO, 2015). Noether foi influenciada por seu pai, também professor de Matemática que, embora inicialmente entendesse que ser matemático fosse um trabalho para homens, não deixou de ensinar sua filha e incentivá-la a ter acesso na educação superior, algo raro à época (BELTRÁN *et al.*, 2021).

Famílias com pais instruídos e, por vezes, sem irmãos homens, representavam uma vantagem para o incentivo à educação feminina nas ciências (UNESCO, 2018). Cecilia Payne, Marie Curie, Lise Meitner e Chien-Shiung Wu igualmente contaram com lares acolhedores à aprendizagem, mostrando como o apoio familiar pode assumir peso para a superação de papéis de gênero na ciência.

Em nosso país, os primeiros cursos de graduação em Física tiveram origem na década de 1930 (DANTES; CHASSOT, 2015), no Rio de Janeiro e em São Paulo. O quantitativo de estudantes era pequeno em sua totalidade, no entanto contava com a presença, embora tímida, de mulheres em seus primeiros anos. Uma das primeiras mulheres a se graduar em Física no Brasil foi a carioca Elisa Frota-Pessôa (1921 – 2018), na então Faculdade Nacional de Filosofia (FNFil), hoje parte integrante da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) (LINHARES, 2018). Ainda na adolescência percebeu que gostava de Física e Matemática e por esse motivo havia decidido cursar engenharia, no entanto não teria sido do agrado da maioria das pessoas, pois entendiam ser uma carreira masculina. Foi incentivada por um professor a seguir para a Física. Nas próprias palavras de Frota-Pessôa:

[...] ele passou uns problemas para casa e, quando ao devolvê-los corrigidos, ele me fez a seguinte pergunta: “Quem gosta de Física, seu pai ou seu irmão

mais velho?” Perguntei porquê. Ele respondeu: “Os problemas estão muito bem resolvidos!”. Eu disse que gostaria mais que ele me arguisse, o que fez me chamando ao quadro. Quando se deu por satisfeito falou: “Foi você mesma quem resolveu os problemas!”. Daí por diante, ficamos amigos e ele disse que era assistente de Física na Universidade do Distrito Federal (UDF) e que eu poderia fazer um curso de Física lá. Achei ótimo. Física, como Engenharia, não foi bem recebida, ninguém conhecia uma mulher brasileira Física. Não podiam conhecer mesmo, pois creio que fui a primeira mulher no Brasil a fazer um curso de Física e continuar trabalhando no campo. Nada me moveu da idéia. (LIMA DA SILVA, 2004)

Frota-Pessôa foi uma das fundadoras do Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (CBPF), em 1949, e, em conjunto com a também física Neusa Margem (1926 – 2015), foi co-autora do primeiro artigo científico publicado pela instituição, sobre a desintegração do méson  $\pi$ . Sua carreira esteve marcada por contribuições à Física Experimental, em áreas como Física de Radiações, Partículas e Nuclear, e à docência em Física.

Outro exemplo de cientista do Brasil que precisou (e ainda precisa) atravessar barreiras não somente em relação ao machismo, mas especialmente do racismo, é a física Sonia Guimarães. Nascida em 1957, na cidade de Brotas, interior do estado de São Paulo, tornou-se a primeira brasileira negra a obter um doutorado em Física, pela Universidade de Manchester, Inglaterra, no ano de 1989. Dedicando-se à área de Física Aplicada, mais especificamente semicondutores, tornou-se professora do Instituto Tecnológico da Aeronáutica (ITA) em 1993, onde permanece atualmente, período em que ainda não era permitido que mulheres estudassem no local. Junto a seu trabalho como cientista, Guimarães também tem atuado pelo acesso de mais pessoas negras nos círculos científicos, manifestando-se sobre o racismo institucional existente na estrutura acadêmica do país (PINHEIRO, 2020).

Em entrevista<sup>2</sup>, Sonia Guimarães coloca, sobre preconceitos enfrentados em sua prática profissional, que:

---

<sup>2</sup> Entrevista realizada por Débora Britto para o veículo *Marco Zero*, publicada em 27/07/2020. Disponível em <<https://marcozero.org/pioneira-a-fisica-sonia-guimaraes-abriu-portas-e-quer-ver-mais-mulheres-negras-na-ciencia/>>.

A coisa é assim: se eu não participo do congresso, meu trabalho não é publicado. Se não é publicado, eu não tenho direito a promoção profissional. O objetivo é bem claro: me congelar num ponto até que eu morra congelada.

Isso não é só com os meninos. Em março desse ano [2020] houve uma reunião de cientistas do Brasil todo, aqui no ITA, só mulheres. Não me convidaram nem para a comissão organizadora, quem dirá para uma palestra. Eu abri o mesmo congresso em Recife, Fortaleza, na Bahia, na Escola Politécnica, na Unicamp, na Física de São Paulo. A pergunta, sempre que eu começo a falar dos meus desafios, é se eu sou discriminada por ser mulher ou por ser negra. A maioria acabou decidindo que é pelo dois, porque até as meninas me segregam, então realmente eu estou perdida. (BRITTO, 2020)

Casos como o de Guimarães, bem como o de Wu, reforçam mais fortemente a necessidade de uma pluralidade dos coletivos de pensamento da ciência, uma vez que se percebe uma sobreposição do preconceito étnico-racial somado às dificuldades existentes por questões de gênero, havendo, assim como ocorre com as mulheres, um processo de invisibilização das contribuições de cientistas negras e negros presente na História da Ciência (ALVES-BRITO *et al.*, 2019-2020).

Atravessamentos entre diferentes preconceitos se comunicam com um dos empecilhos encontrados pelas mulheres para acessar e se estabelecer em uma carreira científica, que seria a ausência da formação de um senso de pertencimento feminino a essa área. Levantamento realizado pela empresa *Microsoft* (MENEZES, 2017) destacou como fatores que podem encorajar meninas a seguir uma carreira científica seriam “*professores e pais que falam sobre ciência e tecnologia e as incentivam, exemplos de mulheres cientistas de sucesso, experiências práticas, aplicações na vida real e confiança na igualdade intelectual*”. Ressalta-se, portanto, a importância da discussão da História da Ciência nos diferentes níveis da educação científica (MARTINS, 1990).

Entende-se que o contato com o trabalho e as contribuições de pesquisadoras, de seus êxitos, desafios e trajetórias, não só fornece uma requisitada e justa perspectiva histórica como pode igualmente impulsionar uma maior participação e permanência das mulheres nesse campo de estudos, fomentando o pertencimento desejado. Nesse sentido, a presente investigação pretende auxiliar, ainda que seja uma iniciativa pontual, no esforço de reparação

histórica ao propor a realização de um resgate de contribuições de Cecilia Payne, mostrar a importância fundamental de seus estudos para a Astrofísica Estelar, conforme apresentado mais adiante (Capítulo 4), e, igualmente, discutir sua trajetória acadêmica e as dificuldades em conseguir reconhecimento profissional, uma vez que seu legado permanece pouquíssimo difundido mesmo dentre estudantes e docentes de Física. Espera-se, também, reforçar o pensamento e a luta de pesquisadoras e epistemólogas feministas contemporâneas para uma participação mais efetiva e com equidade das mulheres na ciência.

## **2. PESQUISA: CECILIA PAYNE, COMPOSIÇÃO ESTELAR E VIVÊNCIA DE UMA MULHER CIENTISTA**

### ***2.1. A HISTÓRIA DA CIÊNCIA PODE CONTRIBUIR PARA UMA MAIOR PARTICIPAÇÃO DAS MULHERES NA CIÊNCIA?***

As passagens históricas trazidas, de maneira muito resumida, na seção 1.3, têm em comum a atuação profissional de cientistas compreendida majoritariamente entre o final do século XIX e início do século XX, reflexo da maior abertura das universidades para matrícula de mulheres, conforme aludido. No entanto, a história da participação feminina na ciência é muito mais antiga.

De acordo com Schiebinger (1993), personalidades históricas como a matemática Hipátia de Alexandria (cerca de 460 – 415) ou a naturalista Hildegard von Bingen (1098 – 1179) exemplificam a antiguidade dessa presença, ainda que numericamente escassa. No final do século XVII, na região que hoje compreende a Alemanha, a participação feminina na Astronomia corresponderia a catorze por cento, quantitativo baixo, porém significativo no sentido de expressar um marco. Uma das pessoas que integrava esse grupo era a astrônoma Maria Winkelmann (1670 – 1920), responsável pela montagem de calendários a partir de dados de observações tomadas em conjunto com seu marido, também astrônomo, sob o nome do qual chegou a realizar publicações. Após tornar-se viúva, Winkelmann teve seu pedido de participação na Academia Alemã de Ciências negado pelo filósofo e matemático Gottfried Leibniz (1646 – 1716), conhecido como um dos pioneiros do Cálculo Diferencial e Integral. Tal negativa teria inaugurado uma tradição em dificultar o acesso das mulheres a esse tipo de instituição, que foi sustentada pelo coletivo por longo período de tempo, uma vez que a primeira mulher aceita na referida academia foi Lise Meitner, mais de dois séculos depois.

No século XVIII, a francesa Gabrielle-Émilie Le Tonnelier de Breteuil (1706 – 1749), referida como Madame du Châtelet (PIVA; TAMIZARI; 2012) ou Émilie du Châtelet (UNESCO, 2018), dedicou-se à Filosofia e às ciências em um período conhecido como iluminista, embora ela, enquanto mulher, não pudesse acessar à universidade. Em 1740, publicou o livro *Instituições da Física*, o qual continha contribuições em Física e Metafísica. Sua obra foi considerada plágio por seus pares, todos homens, que em sua maioria teriam

duvidado que uma mulher fosse capaz de tal feito, o qual foi posteriormente comprovado por Châtelet como original (PIVA; TAMIZARI; 2012). Émilie du Châtelet foi responsável por traduzir para o francês, durante cinco anos, os *Principia* de Isaac Newton, infelizmente falecendo poucos dias após a conclusão deste trabalho, devido complicações decorrentes de um parto, que também vitimou sua filha recém-nascida.

Os exemplos expostos expressam que, apesar da sua existência, o empreendimento feminino na ciência tem sido costumeiramente omitido ou visto com menor importância, a ponto de, hoje em dia, haver pouquíssimas referências de mulheres cientistas facilmente reconhecidas pelo grande público. Como mencionado na seção 1.3, o Efeito Matilda (ROSSITER, 1993) auxilia a compreender a supressão desse conhecimento, pois caracteriza-se pela “*sistemática desvalorização das contribuições das mulheres para as ciências, bem como para literatura (e história e medicina), o que é comum de várias formas na história e sociologia da ciência*” (p. 332, livremente traduzido pelo autor), marcado por um menor acúmulo de vantagem das mulheres, que partem de um lugar de menor privilégio e precisam cumprir um roteiro mais extenso para atingir o mesmo reconhecimento que um homem cientista. Dessa maneira, tal omissão estrutural conduz à ideia de que são poucas as mesmas nenhuma das mulheres que participaram ou participam do mundo da ciência.

Nesse sentido, a História da Ciência pode ser vinculada à perspectiva de trazer o devido reconhecimento a figuras femininas que foram eclipsadas ao longo do tempo, por meio do resgate e conhecimento de suas trajetórias, histórias de vida e da discussão e apresentação de suas produções intelectuais, na busca de reparar injustiças históricas e de proporcionar novos modelos capazes de inspirar meninas a seguirem carreiras científicas (TRINDADE; BELTRAN; TONETTO, 2016), objetivos que vão ao encontro do anseio de tornar a ciência uma área mais igualitária, uma vez que a ausência e a invisibilidade das mulheres na ciência vêm, sistematicamente, contribuindo como um dispositivo para sua manutenção como campo majoritariamente masculino (AZEVEDO; FERREIRA; CORTES, 2008; LINO; MAYORGA, 2016; CILENTO; GUERRA, 2021). Serve, igualmente, como crítica e forma de reparação do próprio campo da História da Ciência, que, apesar de ter legado destaque à influência das sociedades sobre as ciências, por décadas ignorou que essa mesma influência também parte das mulheres (SCHIEBINGER, 2001; SANTANA, 2021).

Trindade, Beltran e Tonetto (2016), em relação à escrita de biografias de mulheres cientistas, apontam que:

[...] atualmente, os trabalhos biográficos são elaborados de modo a contextualizar a vida e a obra do personagem focalizado.

É interessante notar que muitos dos estudiosos dedicados a elaborar biografias científicas consideram que esse gênero de literatura é o que mais atrai os leitores que se iniciam nos estudos sobre ciência [*o texto original cita Nye, "Scientific Biography", em nota de rodapé*].

Levando isso em conta, pode-se justificar o empenho em se organizar e difundir biografias de mulheres que tiveram atuação na construção, transformação e comunicação de conhecimentos sobre a natureza e as artes em diferente épocas e culturas com o fim de apontar e/ou analisar questões de gênero, contribuindo para que as jovens procurem carreiras em ciência e tecnologia.

Por esse princípio, a manutenção de um número restrito de pesquisadoras com lugar de destaque na História da Ciência, em comparação com o quantitativo de homens, fomentaria uma relação de retroalimentação com o reduzido número de mulheres atuantes na ciência em nosso tempo, uma vez que poucas seriam aquelas que poderiam se tornar referências para as próximas gerações, o que não ocorreria por questões de mérito, mas sim pelo pequeno quórum. Enquanto meninos têm maiores oportunidades, por tomar contato em seu dia a dia com feitos de cientistas considerados gênios, como Galileu Galilei, Isaac Newton, Albert Einstein ou Stephen Hawking, dentre tantos outros, meninas carecem de tal representatividade. Quando se pensa em grandes mulheres cientistas, geralmente se tem como referencial Marie Curie, brilhante em sua área como brevemente colocado na seção 1.3, porém, questiona-se, por que apenas uma cientista atingiu tal status?

Conhecer a história das grandes físicas e dos obstáculos que elas passaram é, ainda, uma das formas mais consistentes de se atrair não apenas mulheres à ciência, mas os alunos em geral. E não é preciso fugir da Física ou focar em uma linha de pesquisa unicamente direcionada à questão feminina para levar seus exemplos para a sala de aula. Apenas o foco em tópicos modernos e contemporâneos de Física – reivindicação bastante antiga da área de ensino, diga-se de passagem – já permitiria o reconhecimento do trabalho de grandes

mulheres, pois suas entradas na ciência coincidem justamente com o período dessa revolução conceitual da Física. (CORDEIRO, 2017)

Reforça-se, então, o papel da História da Ciência no ensino de Física enquanto elemento explicativo da existência de uma atuação feminina relevante na ciência. Esse enfoque cumpre não apenas o objetivo de apresentar uma ciência constituída pluralmente, por pessoas de diferentes gêneros, mas também enriquece o próprio ensino da disciplina e executa uma aproximação com a Física Moderna e Contemporânea, ao mesmo tempo antiga e atual reivindicação curricular para o ensino básico (TERRAZAN, 1992; CAVALCANTE, 2001; NÓBREGA; MACKEDANZ, 2013; ARAÚJO, 2020), inclusive nos documentos oficiais (BRASIL, 1999; 2018), cujo desenvolvimento inicial coincide com o período de ingresso feminino nas universidades de forma mais expressiva (final do século XIX e início do século XX). Uma eventual unidade didática sobre o trabalho de Cecilia Payne para a composição estelar, por exemplo, permitiria abordagens que contemplariam Óptica Física, Mecânica Quântica e Astrofísica, atendendo, inclusive, uma tendência didática interdisciplinar como vários pesquisadores têm defendido na área do Ensino de Ciências (FAZENDA, 1992; 2014).

O emprego do viés histórico nas práticas didáticas no Ensino de Física objetiva construir uma visão menos ingênua sobre a natureza da ciência, destacar as transformações de diferentes conceitos, suas relações na sociedade contemporânea e entre seus sujeitos, contribuindo para uma visão menos autoritária ou preconceituosa de ciência (SILVA; TEIXEIRA; PENIDO, 2018; CARVALHO; JUSTI, 2019). Permite também perceber a história evolutiva dos métodos e procedimentos científicos, se evitando passar uma imagem equivocada de ciência (CORDEIRO; PEDUZZI, 2012), por exemplo, construída por um método científico único, infalível, linear, isento de erros e imprevistos (FORATO; PIETROCOLA; MARTINS, 2012).

Colocada a necessidade de um maior conhecimento sobre as realizações de mulheres cientistas, se entende que é preciso agir objetivando a interrupção desse ciclo de exclusão das práticas femininas nas ciências, seja com narrativas de pesquisadoras, como visa a presente tese ao tratar da história da astrofísica Cecilia Payne, ou demais iniciativas que incentivem o ingresso de meninas na carreira científica, tendo clareza que o enfrentamento ao menor número de mulheres na ciência é uma problemática contemporânea e que a História da Ciência pode contribuir para tal.

## 2.2. JUSTIFICATIVA: A SUBREPRESENTAÇÃO DAS MULHERES NA CIÊNCIA

Um cenário com poucas cientistas em posição de destaque na História da Ciência abre margem para diferentes interpretações que fundamentam esse problema. Há quem entenda, por exemplo, que uma menor quantidade de mulheres atuantes na ciência justificaria a notoriedade ínfima destinada no contexto histórico-científico, o que constitui espaço de disputa entre correntes de pensamento, que encaram a sub-representatividade feminina ou como uma consequência natural dos fatos, havendo poucas narrativas para serem estudadas, ou como fruto de um contínuo processo de invisibilização (LINO; MAYORGA, 2016). O presente trabalho se alinha a essa última visão, pois, apesar de haver desproporcionalidade na participação dos gêneros na ciência, geralmente a favor do masculino, é necessário considerar que aspectos variados implicam na menor profissionalização das mulheres nas ciências, assunto que ganhou mais expressão principalmente a partir das últimas décadas do século XX (BANDEIRA, 2008).

Saitovitch, Lima e Barbosa (2013) descrevem que frente à menor presença de mulheres na Física, em 1999, a assembleia geral da União Internacional de Física Pura e Aplicada (*International Union of Pure and Applied Physics – IUPAP*) constituiu um grupo de trabalho com o intuito de obter dados sobre a participação das mulheres na Física nos diversos níveis da carreira no mundo, identificar barreiras e definir ações para tentar reverter o quadro. Este grupo de trabalho realizou em 2002, em Paris, a Primeira Conferência Internacional de Mulheres na Física da IUPAP (*First IUPAP International Conference on Women in Physics*), que contou com a participação de representantes de 75 países. Foram mostrados, conforme a Figura 2, o percentual de mulheres presentes na graduação, pós-graduação e na carreira acadêmica, agrupados por regiões ao redor do globo (em ordem, Europa Latina, Europa Oriental, Oriente Médio, América Latina, Oceania, Europa Anglo-Saxã, Ásia, América do Norte e África). O número de mulheres que atuavam profissionalmente como físicas, em 2002, em seus melhores indicadores, era pouco maior que 20%, estando ligeiramente acima de 10% na América Latina (coluna em vermelho). A Figura 2 também revela uma tendência de redução das mulheres à medida que se avança da graduação para a pós-graduação e atuação profissional, o que se percebe também em dados nacionais mais atualizados.

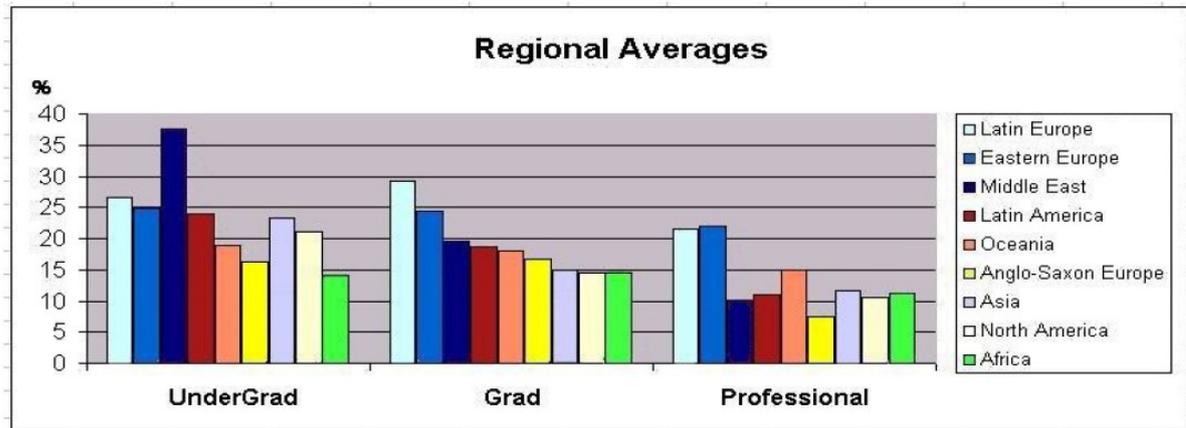


Fig. 2: Percentual de mulheres nos diversos níveis da carreira em diferentes regiões do mundo em 2002 (UnderGrad = Graduação, Grad = Pós-Graduação e Profissional = Atuação Profissional). Fonte: Saitovitch; Lima; Barbosa, 2013.

No Brasil, de acordo com o Censo da Educação Superior do Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (Inep) referente ao ano de 2019 (BRASIL, 2021), as mulheres representavam a maioria do total de estudantes no nível de graduação no país, com cerca de 55,74% das matrículas, no entanto em relação aos docentes de nível superior em exercício, em torno de 46,70% são mulheres, sendo os homens quem compõem o perfil do cargo (Figura 3), em sua maioria brancos e cis-heterossexuais, cujo pensamento se torna dominante na academia (ALVES-BRITO, 2020). Segundo o IBGE (BRASIL, 2020), dados da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua mostram que a população feminina corresponde a 51,8% do total nacional, portanto, não seria inadequado considerar que constituíssem parcela maior da docência nas instituições de ensino superior, o que sabidamente ocorre no ensino básico, historicamente mais feminino e desvalorizado, onde em 2014 apenas 19,94% dos professores eram homens, sendo que no Rio Grande do Sul essa quantidade era de 13,98% (JAEGER; JACQUES, 2017).

Atributos do Vínculo Docente	Categoria Administrativa	
	Pública	Privada
Sexo	Masculino	Masculino
Idade	38	39
Escolaridade	Doutorado	Mestrado
Regime de Trabalho	Tempo Integral	Tempo Parcial

Nota: Para construção do perfil do docente, é considerada a Moda de cada atributo selecionado separadamente

Fig. 3: Perfil do docente brasileiro no ensino superior em 2019. Fonte: BRASIL, 2021.

Mesmo as mulheres representando a maioria discente no ensino superior, percebe-se que a proporção oscila conforme a área do curso acadêmico. Para os vinte cursos com maior número de matrículas na graduação no país em 2019 (BRASIL, 2021), as mulheres configuram quantidade muito superior em Pedagogia, Serviço Social, Enfermagem, Nutrição e Pedagogia, profissões geralmente vinculadas ao zelo, cooperação e cuidado interpessoal, características relacionadas a um estereótipo de gênero feminino<sup>3</sup> e por vezes utilizadas para afastar as mulheres da ciência (SCHIEBINGER, 2008). Já nas Engenharias de Produção, Civil, Mecânica e em Sistemas de Informação, relacionadas às ciências exatas, a participação feminina cai abruptamente (BRASIL, 2021), como se pode ver na Figura 4.

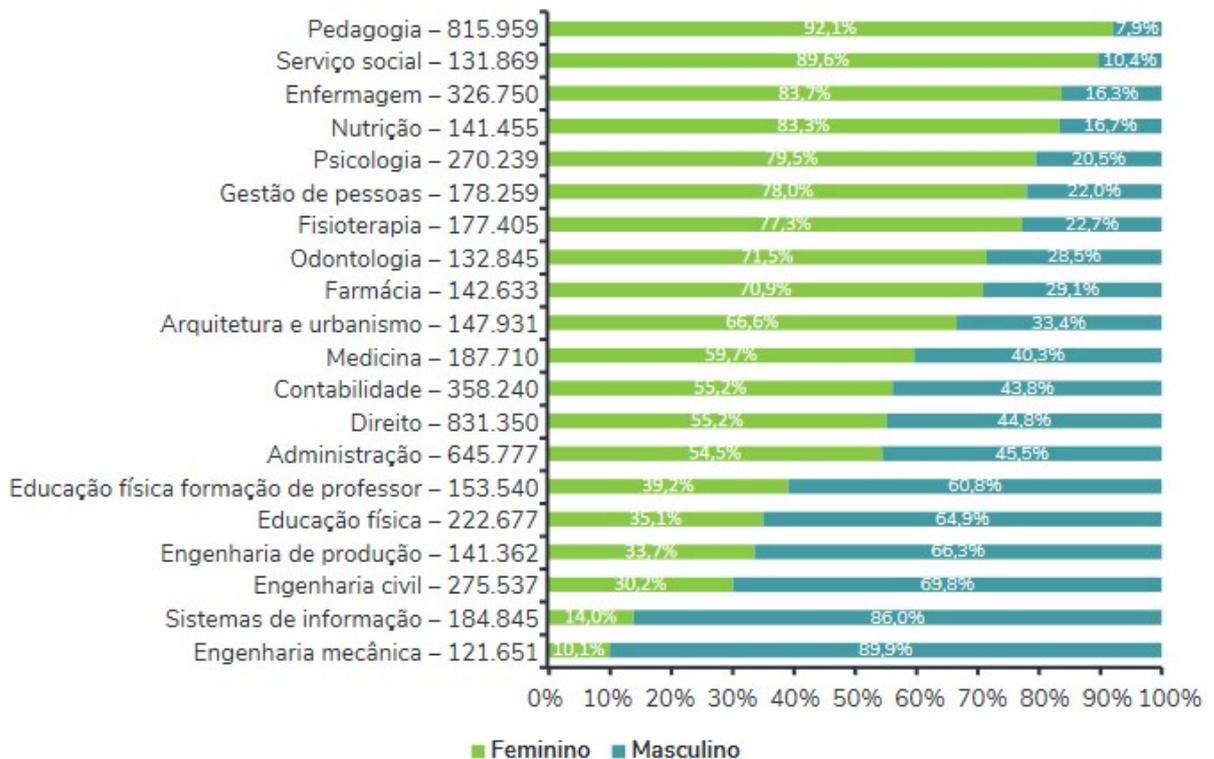


Fig. 4: Participação feminina e masculina nos vinte cursos superiores com maior número de matrículas no país em 2019. Fonte: BRASIL, 2021.

<sup>3</sup> Moshfeghyeganeh e Hazari (2021) pontuam que, na Física, a identidade predominante está alinhada às normas masculina e branca, assim, mulheres e pessoas não-brancas precisam abandonar aspectos de suas expressões para se sentirem parte do coletivo de pensamento. No entanto, esse pensamento não é, necessariamente, global. Por exemplo, em alguns países de maioria muçulmana, características relacionadas ao estudo da Física são interpretadas como femininas, razão pela qual países da região, como Egito e Irã, mulheres têm participação na área superior ao de homens. Portanto, no presente trabalho, ao fazer referências a estereótipos de gênero, se está dirigindo ao pensamento ocidental, de origem europeia, não como forma de subserviência, mas sim por estarmos inseridos em uma região (América Latina) historicamente dominada por tal visão colonialista.

O resumo técnico do Censo da Educação Superior referente a 2013<sup>4</sup> (BRASIL, 2015) mostra, discriminado para cada área geral do conhecimento, que para a área de Ciências, Matemática e Computação somente 31% do total de matrículas correspondem ao sexo feminino (F), quantitativo ligeiramente abaixo do mostrado para Engenharia, Produção e Construção, com 31,5%, figurando ambas como as áreas com menor participação de alunas na graduação, conforme a Figura 5.

Área Geral do Conhecimento	Total Geral			Categoria Administrativa					
				Pública			Privada		
	Total	% F	% M	Total	% F	% M	Total	% F	% M
Total Geral	7.305.977	57,2	42,8	1.932.527	53,8	46,2	5.373.450	58,5	41,5
Agricultura e Veterinária	178.413	45,5	54,5	106.664	47,0	53,0	71.749	43,4	56,6
Ciências Sociais, Negócios e Direito	2.958.690	57,0	43,0	425.908	53,0	47,0	2.532.782	57,7	42,3
Ciências, Matemática e Computação	441.406	31,0	69,0	178.695	34,8	65,2	262.711	28,5	71,5
Educação	1.371.767	72,7	27,3	596.719	64,4	35,6	775.048	79,1	20,9
Engenharia, Produção e Construção	1.017.328	31,5	68,5	293.775	33,6	66,4	723.553	30,6	69,4
Humanidades e Artes	163.090	55,8	44,2	62.068	56,5	43,5	101.022	55,4	44,6
Saúde e Bem-Estar Social	984.769	76,5	23,5	212.749	72,0	28,0	772.020	77,8	22,2
Serviços	166.767	60,7	39,3	32.798	59,7	40,3	133.969	61,0	39,0
Não aplicável <sup>1</sup>	23.747	45,9	54,1	23.151	45,5	54,5	596	61,4	38,6

Fonte: Censo da Educação Superior. Inep/Deed.

<sup>1</sup> Não aplicável: Corresponde à Área Básica de Ingresso- ABI

Nota: F = Feminino; M= Masculino.

Fig. 5: número total e percentual de matrículas de graduação, por categoria administrativa e sexo, segundo a área geral do conhecimento, no país em 2013. Fonte: Brasil, 2015.

Para Alves, Barbosa e Lindner (2019), enxergar a ciência como um domínio masculino se deve ao fato de que as mulheres foram excluídas dos debates científicos. Portanto, o fazer ciência entendido como um trabalho dos homens seria fruto dessa ação, não de uma alegada capacidade cognitiva superior. Não se pode ignorar que, ainda hoje, esse

<sup>4</sup> Os resumos técnicos do Censo da Educação Superior correspondentes aos anos posteriores a 2013, publicados até a data de elaboração da presente tese, não apresentavam o cruzamento de dados entre área geral do conhecimento e sexo.

aspecto social ressoa fortemente no campo da atuação científica, com raízes em praticamente todo o globo. Conforme Silva e Ribeiro (2011):

[...] o mundo da ciência (re)produz determinados discursos e as práticas sociais que constituem mulheres e homens, uma vez que as diferenças entre os “papéis” socio-historicamente construídos de mulheres e homens produzem efeitos nas escolhas profissionais, na formação de pesquisadores(as), no desequilíbrio entre mulheres e homens em determinadas áreas do conhecimento, no viés sexista que constitui a ciência. Tais aspectos têm raízes profundas, que envolvem a própria história da humanidade e a construção das identidades femininas e masculinas ao longo dos tempos.

A noção, atribuída ainda na infância, de que haveria profissões a serem seguidas por homens e outras designadas para mulheres, em especial no círculo científico, encontra espaço para proliferar-se, por exemplo, no vazio deixado pela História da Ciência. Enquanto meninas trilhariam caminhos que envolveriam mais atenção, zelo e delicadeza, meninos se especializariam em atividades que contemplariam força, agilidade, eloquência ou raciocínio lógico. Essa crença, difundida ao longo de séculos, não encontra qualquer respaldo na análise epistemológica ou no próprio fazer ciência, não havendo distinção entre as práticas ou produtos de uma mulher cientista ou um cientista homem (SCHIEBINGER, 2001), sendo este um dos empecilhos ao incentivo para a formação de futuras pesquisadoras.

Segundo António M. MARTINS e Amanda O. RABELO (2006), as representações sociais apontam que as profissões ligadas à emoção, ao afeto e à sensibilidade são entendidas como espaços das mulheres, enquanto que aquelas relacionadas à razão, à inteligência e à força são tomadas como apropriadas aos homens. Na esteira dessa representação, nas ciências exatas, predominam homens, e nas ciências humanas, as mulheres são maioria. Não podemos deixar de sublinhar que esses encaminhamentos sociais e culturais produzem e são produzidos em meio a discursos e representações que buscam afirmar e reafirmar estereótipos culturais, os quais fixam, em

determinados papéis e funções, os lugares de homens e de mulheres. (JAEGER; JACQUES, 2017)

Mesmo aquelas que conseguem acessar e concluir uma graduação na grande área de ciências naturais ou exatas permanecem enfrentando barreiras em suas trajetórias profissionais. Moss-Racusin *et al.* (2012), em um estudo duplo-cego, submeteram currículos idênticos de um candidato homem e uma candidata mulher a uma posição de gerência em laboratório, nas áreas de Biologia, Química e Física, em seis grandes universidades dos Estados Unidos. Foram 127 avaliadores, dos quais 63 professores e 64 professoras. O estudo concluiu que, independentemente da composição do corpo docente, o candidato homem era avaliado como mais competente e, por conseguinte, com maiores chances de contratação, obtendo salário inicial maior e mais ofertas de orientação de novos estudantes. Para os autores, o motivo estaria no preconceito de gênero enfrentado pelas mulheres, o que contribui para a escassez de sua atuação nas ciências, alertando que, mesmo em campos nos quais a participação tem aumentado, não se pode descartar a permanência desse tipo de prejulgamento.

Ao se verificar dados concretos da realidade das trabalhadoras da área científica, percebe-se uma consonância com o estudo de Moss-Racusin *et al.* (2012), uma vez que o desnível existente entre o número de pesquisadores costuma ser mais favorável para os homens. A Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura – UNESCO (2019), com base em dados tomados em 2017 ou anos anteriores, constatou que a maioria dos países possui quantidade inferior a 50% de representação feminina na pesquisa e desenvolvimento científico (Figura 6). Em 2016, a média mundial correspondia a um total de 29,3% de pesquisadoras<sup>5</sup>, sendo igual a 45,1% na América Latina e Caribe (Tabela 1).

Região	Proporção
Ásia Central	48,2%
América Latina e Caribe	45,1%
Estados Árabes	41,5%
Europa Central e Oriental	39,3%

<sup>5</sup> Segundo a ONU, a população mundial em 2015 era composta por aproximadamente 50,41% de homens e 49,58% de mulheres (dados disponíveis em <https://population.un.org/wpp/DataQuery/>), portanto, a quantidade de 29,3% de pesquisadoras é muito discrepante em relação à proporção por gênero no mundo.

América do Norte e Europa Ocidental	32,7%
África Subsaariana	31,8%
<b>Mundo</b>	<b>29,3%</b>
Leste da Ásia e Pacífico	23,9%
Sul e Oeste da Ásia	18,5%

Tab. 1: proporção de pesquisadoras em ciência, por região do mundo, em 2016. Fonte: UNESCO (2019).

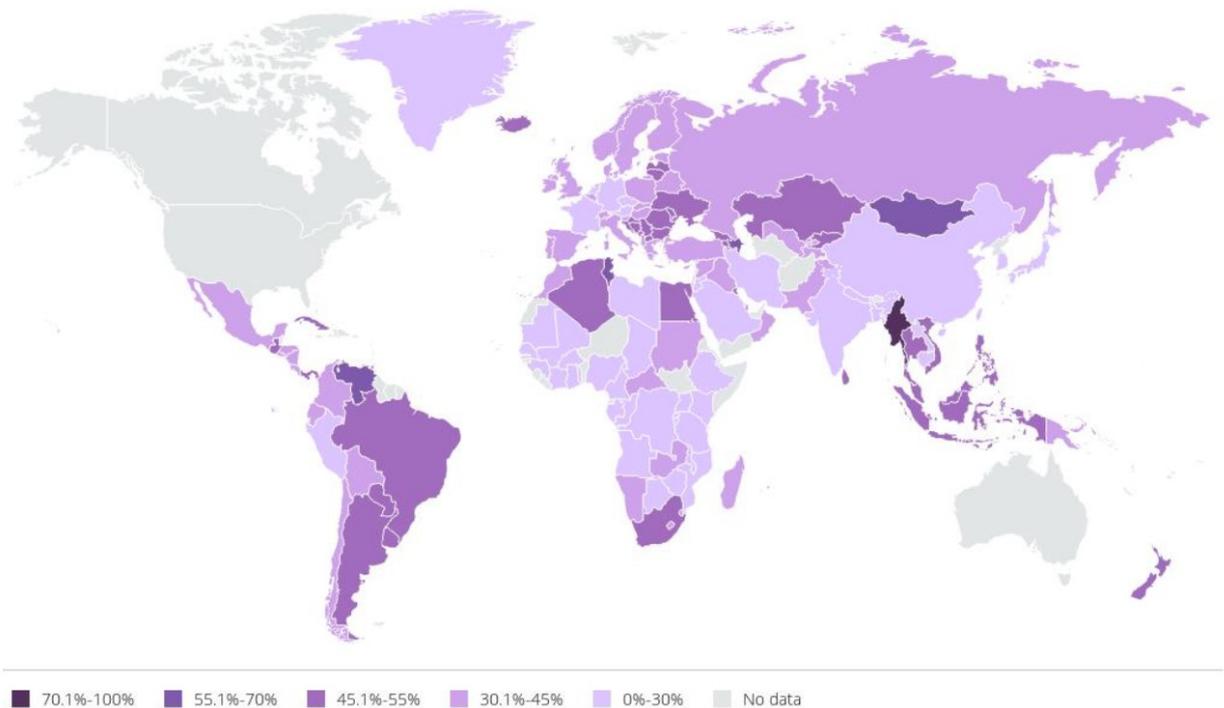


Fig. 6: proporção de pesquisadoras em ciência presentes ao redor do mundo, com base em dados de 2017 ou anos anteriores. Fonte: UNESCO (2019).

Especificamente para a Física em nosso país, a situação não é muito diferente. De acordo com Bezerra e Barbosa (2018), entre os anos de 2001 e 2011 o percentual total de bolsistas de produtividade em Física do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pouco oscilou, permanecendo pouco abaixo de 90% para homens e cerca de 10% para mulheres durante o período. Quando se analisa o percentual de bolsas por nível de produtividade, o número de bolsistas mulheres tende a diminuir à medida que se acompanha estágios mais avançados das bolsas.

Areas, Barbosa e Santana (2019) expõem, por meio de dados da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), que a porcentagem de discentes em Física e Astronomia no Brasil pouco variou em um intervalo de dez anos, estando em 80%

para homens e 20% para mulheres em 2005 e em 78% para homens e 22% para mulheres em 2015. Mesmo com a grande discrepância, tal diferença ainda aumenta ao se verificar o número de docentes no ensino superior na mesma área, que em 2005 estava em 86% para homens e 14% para mulheres e em 2015 foi ampliada para 87% para homens e 13% para mulheres em 2015. Estes autores entendem que há um androcentrismo na academia, cujas práticas habituais permeiam a misoginia e dificultam o reconhecimento das cientistas, situação que encontra respaldo na História da Ciência, como demonstram ao traçar um paralelo com a história de Emmy Noether<sup>6</sup>.

Uma das consequências conhecidas dessa estrutura acadêmica é a chamada “exclusão vertical” ou “efeito tesoura” (SAITOVITCH; LIMA; BARBOSA, 2013; BRITO; PAVANI; LIMA JR, 2015; UNESCO, 2017), que se refere a um corte sistemático e consequente diminuição de mulheres presentes nos postos mais elevados na carreira, isto é, as pesquisadoras são cortadas para fora das posições de prestígio sem que haja um impedimento legal para sua participação nos postos de poder. Diametralmente, o número de homens se eleva (Figura 7), mantendo um patamar hegemônico que contribui para que a ciência seja vista como androcêntrica.

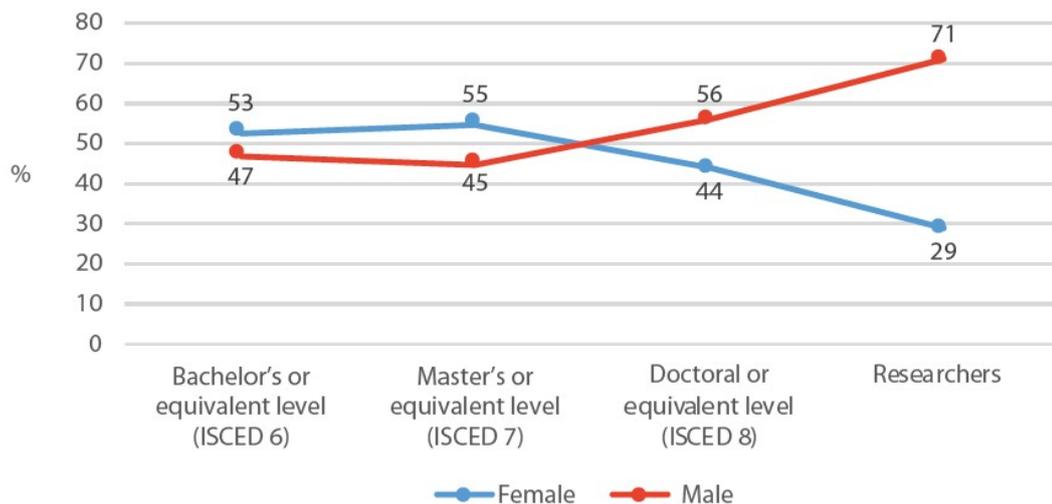


Fig. 7: distribuição mundial de mulheres (em azul) e homens (em vermelho) em diferentes níveis da carreira em pesquisa em ciência, tecnologia, engenharia e matemática, em 2014, representa o “efeito tesoura” (Bachelor's or equivalent level = Graduação; Master's = Mestrado; Doctoral = Doutorado; Researchers = Pesquisadoras e Pesquisadores). Fonte: UNESCO, 2018.

<sup>6</sup> Segundo Areas, Barbosa e Santana (2019), o Teorema de Noether, tratado em cursos de Física avançada, geralmente é abordado sem que seja feita menção ao seu primeiro nome, o que costumeiramente leva a crer que seja obra de um homem cientista. Esse seria um exemplo de prática misógina que leva a prejuízos como a invisibilização das mulheres na ciência.

Uma das causas desse efeito seria o menor incentivo e reconhecimento, inclusive institucional, para continuidade de uma trajetória acadêmica, realidade compartilhada também por pessoas pretas e pardas em nosso país (ANTENEODO *et al.*, 2020). Em consonância com o que foi previamente discutido, Valentova *et al.* (2017) demonstram que as mulheres recebem menos bolsas de pesquisa que os homens. Ao analisar a distribuição de mais de 13,6 mil bolsas de pesquisa das principais agências de fomento brasileiras, por um recorte envolvendo a divisão por área e gênero entre os anos de 2013 e 2014 em todos os níveis de pesquisa, perceberam que para as ciências exatas, das 4859 bolsas ofertadas, apenas 976, cerca de 20%, foram destinadas a mulheres. Especialmente na Física, foram registradas 907 bolsas, dentre as quais 806 (aproximadamente 88,9%) foram ofertadas para pesquisadores homens e somente 101 (em torno de 11,1%) para mulheres.

Ainda em relação ao “efeito tesoura”, Menezes (2017) expõe, a partir de dados das Olimpíadas Brasileiras de Física coletados entre 2006 e 2015, que há uma redução no número de meninas premiadas à medida que elas progredem em sua escolaridade. A competição, que envolve estudantes entre o último ano do Ensino Fundamental e o terceiro ano do Ensino Médio, distribuiu suas premiações para cerca de 30% de meninas e 70% de meninos entre estudantes do Ensino Fundamental, no entanto esse número cai para menos de 10% de meninas ao final do Ensino Médio. Há, portanto, um crescente corte no número absoluto de alunas laureadas nos níveis mais altos, o que evidencia um preocupante afastamento das meninas em relação à Física ainda em idade escolar.

O “efeito tesoura” pode ter raiz na infância, no que é definido como “estereótipo da princesa” (MENEZES; BRITO; ANTENEODO, 2017). Nele, meninas estariam acostumadas, desde muito pequenas, a contos de fadas e filmes que retratam uma princesa solitária que vive à espera de um príncipe encantado para salvá-la, sem qualquer desenvolvimento próprio, como uma profissão. As autoras também apontam jogos voltados para meninas que têm por objetivo limpeza ou embelezamento de pessoas ou ambientes, diferentemente dos meninos, que têm opções que incentivam a montagem de blocos, robótica e esportes, por exemplo. Como consequência, meninas passam a atribuir inteligência como características de personagens masculinos.

Tais crenças contribuiriam com a disparidade por gênero no número de profissionais nas áreas de ciência e tecnologia. De acordo com Cordero e Fruto (2015), as origens dessa desigualdade estariam presentes igualmente na formação escolar, quando se espera que

meninos tenham melhores resultados em disciplinas práticas, como na realização de experimentos, alinhando-se com a concepção social de que esse seria um dos saberes tradicionalmente masculinos, a qual se intensifica conforme ocorre o avanço dos estudos e se aproxima do momento de escolha de um caminho profissional.

Essa noção se relaciona com outra barreira apontada para o acesso das mulheres à carreira científica, e a cargos hierarquicamente mais elevados de modo geral, seria o que Velho (2006, *apud* SILVA; RIBEIRO, 2014) denomina “modelo masculino de carreira”, o qual é pautado pela dedicação integral ao trabalho, por relações de competitividade e elevada produtividade, salientando que às mulheres ainda caberiam as obrigações familiares. É comum que candidatas, para diferentes cargos profissionais, ainda precisem prestar informações em relação a aspectos pessoais (por exemplo, casamento e conciliação da carreira com a maternidade etc.) em entrevistas de emprego ou seleções de bolsas de estudo, por exemplo, para serem admitidas. Em contrapartida, não se questiona se a dedicação, racionalidade e profissionalismo de um trabalhador ou estudante homem são alteradas com a paternidade ou estado civil.

Schiebinger (2001) denota uma divisão entre o privado e o público, cabendo este último aos homens, assim sua vida profissional (pública) se vê desapegada de questões pessoais, estas pertencentes às mulheres, que há não muito tempo atrás tinham suas vidas ligadas quase exclusivamente ao privado, aos cuidados do lar, motivo pelo qual perguntas de cunho íntimo permanecem sendo feitas, mesmo que inapropriadas. As carreiras profissionais foram moldadas para pessoas que não serão mães, assim o fardo massivamente recai sobre as mulheres, pois ainda que conquistem mais acesso ao público, o privado continua sendo visto como sua responsabilidade.

Os arranjos domésticos *são* parte da cultura da ciência. Apesar da distinção histórica entre as esferas doméstica e pública, a vida privada não está separada da vida pública. E o conflito que muitas mulheres encontram entre família e carreira também não é apenas um assunto privado. A cultura profissional foi estruturada com o pressuposto de que um profissional tem uma esposa-do-lar, e se beneficia de seu trabalho não remunerado. (SCHIEBINGER, 2001).

Em suma, se compreende que há fatores sociais que influenciam na sub-representação das mulheres na ciência, os quais passam por questões como atribuições de papéis de gênero feminino e masculino, dificuldades de acesso e permanência na carreira científica e empecilhos à chegada a cargos elevados, dentre outros (aprofundados na seção 3.6). Em relação à crença de que naturalmente os homens tenham maior propensão a ingressar e progredir nas carreiras científicas, Handelsman *et al.* (2005) colocam que não há um conjunto de características ideais para se tornar cientista, ainda que algumas sejam desejáveis, como habilidades de raciocínio dedutivo, verbais e sociais, no entanto as mesmas podem estar presentes em qualquer pessoa, não havendo evidências convincentes de que a menor presença de mulheres na ciência passe por qualidades inatas. Além disso, entendem que quanto maior diversidade, mais estilos diferentes de abordagem dos problemas estariam presentes, que aumentariam as chances de sucessos.

Ainda que antiquadas, tais convenções permanecem vívidas e seus prejuízos são verificáveis, conforme abordou-se ao longo desta seção. Algumas autoras, como Donna Haraway (1995), apontam que os parâmetros para produzir ciência configuram-se segundo o androcentrismo, o qual é um discurso hegemônico que associa as mulheres à categoria “ser mulher”, que as submete, de diferentes formas, à socialização feminina que as torna agentes de outras formas de produção do conhecimento. Haveria uma dicotomia entre corpo e mente operada na cultura científica e também nas representações sociais: o corpo associado ao feminino e a mente ao masculino, marginalizando, assim, as marcas das mulheres nas ciências. Para Haraway, essa descorporificação apresenta-se através de uma prática científica que valoriza a neutralidade, universalidade e objetividade.

Esta visão de ciência vêm sendo amplamente discutida e desconstruída pela Filosofia da Ciência, sobretudo a partir do século XX (CHALMERS, 1999; MOREIRA; MASSONI, 2011; OSTERMANN; CAVALCANTI, 2011), período que engloba o referencial epistemológico aqui adotado (discutido na seção 3.5). Entende-se que valores convencionados pelos mais diversos círculos sociais têm o poder de influenciar as relações interpessoais entre cientistas e os meios de desenvolvimento científico, assim, subjetividade e parcialidade também participariam dos rumos da ciência. Nesse sentido, se pressupõe, com base no que foi trazido, que distinções sociais atribuídas aos diferentes gêneros igualmente encontrariam refúgio na atuação profissional e produção científica, dado o caráter humano de seus agentes.

A complexidade da temática “mulheres na ciência” e seu entrelaçamento com diferentes aspectos, que é bastante mais abrangente do que foi pontuado nesta seção, revelam uma gama de caminhos de pesquisa permitidos, como, a título de exemplo, a investigação do quantitativo feminino na formação e pesquisa em ciências, suas causas e consequências em diferentes etapas das vidas das mulheres, os estigmas de gênero no caminho profissional ou os impactos sociais e suas repercussões no desenvolvimento científico, dentre tantos outros que norteiam e justificam pesquisas que abordam questões de gênero na ciência.

Identificada tal amplitude, se entende que é necessário delimitar o que se pretende investigar a partir da presente tese, colocando seu foco na pesquisa em História da Ciência, especificamente na jornada de Cecilia Payne, sua contribuição chave na determinação da composição estelar e sua vivência como uma cientista, inserida em uma perspectiva que compreende a necessidade de que estudos que ponham em destaque as vivências, desafios, trajetórias e realizações de mulheres cientistas, e que sirvam como base para o ensino de Física, sejam intensificados, não apenas por um senso de reparação histórico, que por si só seria benéfico, mas igualmente como um meio de buscar transformar para melhor o atual contexto social. É, nesse sentido, enquanto contribuição pontual, que o presente trabalho pretende se somar.

### ***2.3. DEFINIÇÃO DO PROBLEMA DE PESQUISA***

Brevemente abordada na seção 1.2, a história de Cecilia Payne se encaixa em uma tradicional trajetória encontrada por diferentes mulheres que empreendem pelo caminho científico, que é o de encontrar barreiras unicamente colocadas por seu gênero. Apesar desse empecilho, ela conseguiu chegar, em sua tese de doutorado, em um achado inédito e transformador, ao passo que revelou que a composição das estrelas se daria prioritariamente pelos elementos mais simples da tabela periódica, não metais<sup>7</sup> mais complexos, como até

---

<sup>7</sup> Na Astrofísica, o coletivo de pensamento adota o termo “metal” para se referir a qualquer elemento químico que não seja hidrogênio ou hélio (OLIVEIRA FILHO; SARAIVA, 2017, p.470).

então se acreditava. Deixa-se então a provocação: qual patamar dentro dos círculos científicos Cecilia Payne poderia ter alcançado caso fosse homem?

Essa é uma pergunta sem resposta, do campo da especulação, uma vez que não temos como verificá-la. No entanto, sabemos que a História da Ciência é formada, em sua maioria, pela representação de personagens masculinos, em geral brancos e de boa origem econômica. Nesta tese, se quer mostrar, através do exemplo de Cecilia Payne, que mulheres participaram, sim, do desenvolvimento da ciência e que não seria nenhum exagero querer alçá-la ao mesmo grau de importância de cientistas de destaque que, integrados a seus coletivos, modificaram os estilos de pensamento em sua época.

Infelizmente são pouquíssimas as pessoas que ouviram falar sobre essa pesquisadora e a representatividade que a mesma poderia despertar, o que se justifica dado o pouco material dedicado a explicar sua obra em língua portuguesa, havendo um número relativamente maior, embora igualmente restrito, de fontes no idioma inglês (Capítulo 3), recurso que infelizmente não está ao alcance de boa parte da população brasileira.

O objetivo geral da presente tese está em tratar da jornada pessoal de Cecilia Payne, desde sua infância, quando decidiu se tornar uma cientista, até o período de produção e publicação de sua tese de doutorado e os desdobramentos que seu estudo principal, sobre composição estelar, suscitaram, bem como mostrar que sua trajetória dentro da ciência foi moldada por seu gênero.

Para se alcançar tal objetivo, em conjunto com o emprego de fundamentos teóricos ao ensino, metodológicos e epistemológicos (Capítulo 3) que servirão como base para a investigação, lança-se duas questões-foco que orientarão a presente pesquisa:

- 1. Como se deu, historicamente, a construção da tese de doutorado de Cecilia Payne e como seus desdobramentos contribuíram para o desenvolvimento de um fato científico na Física e na Astrofísica?*
- 2. Com base na crítica feminista à ciência, de que forma as relações de gênero repercutiram na trajetória acadêmica, na pesquisa científica e no reconhecimento profissional de Cecilia Payne e quais suas potencialidades para uma aprendizagem significativa e crítica da Física?*

Enquanto objetivos específicos que permeiam tal estudo, espera-se desenvolver uma pesquisa consistente em História da Ciência e que possa servir como base para o ensino de Física; expor que as mulheres fazem parte da História da Ciência; defender que elas igualmente são protagonistas do desenvolvimento científico; discutir como mulheres cientistas têm sua trajetória profissional diretamente afetada por seu gênero e apresentar a história de Cecilia Payne a um número maior de pessoas.

### 3. ESTRUTURAÇÃO DA PESQUISA: REFERENCIAIS TEÓRICOS, METODOLÓGICOS E EPISTEMOLÓGICOS

#### 3.1. SUBSÍDIOS PARA A PESQUISA EM HISTÓRIA DA CIÊNCIA

Dentre uma pluralidade de concepções hoje existente para descrever a História da Ciência e suas técnicas, propõe-se fornecer uma descrição de conceitos que embasam tanto teórica quanto metodologicamente o presente trabalho, no que tange à produção da historiografia da ciência, o produto inicial criado pelos pesquisadores em História da Ciência (MARTINS, 2004), que compreende “*a história das narrativas, do registro dessas narrativas e da interpretação dos processos de decisão tomados por grupos sociais*” (D’AMBROSIO, 2004), e sua relação com o ensino de ciências no Brasil (seção 3.2), a partir de uma revisão da literatura sobre o tema.

De acordo Beltran, Saito e Trindade (2014), a História da Ciência é uma área do conhecimento essencialmente interdisciplinar, uma vez que lida com aspectos da Epistemologia, da Sociologia e da História, pois, de forma abrangente, representa “*o estudo das formas de elaboração, transformação e transmissão de conhecimentos, sobre a natureza, as técnicas e as sociedades, em diferentes épocas e culturas*”. Alfonso-Goldfarb (1994) salienta que a História da Ciência ganhou maior valorização a partir da década de 1930, quando adquiriu o papel de crítica da ciência<sup>8</sup>, devido a suas transformações internas no início do século XX, mas, especialmente, pelos impactos sociais e ambientais decorrentes dos avanços científicos e tecnológicos, como o aumento da poluição e degradação ambiental e dos níveis de mortalidade nas guerras.

---

<sup>8</sup> Um movimento de crítica, grandemente sugerido como estratégia didática no Ensino de Ciências/Física, surgiu a partir das décadas de 1960-1970 e é conhecido como “movimento Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS)”; busca fazer frente a problemas ambientais gerados pelo cenário socioeconômico da ciência e tecnologia, e como fruto de uma mudança de visão sobre a natureza e o papel da ciência; questiona o princípio do desenvolvimento linear, associado à visão tradicional da natureza da ciência e da tecnologia, de que ambas trariam somente mudanças positivas, o que levaria a um desenvolvimento crescente de aspectos econômicos e do bem-estar social; aponta que os resultados do avanço científico e tecnológico levou à degradação ambiental e a sua vinculação à guerra, como, por exemplo, a produção de bombas atômicas e o uso de desfolhantes na guerra do Vietnã (AULER; BAZZO, 2001).

Criticar, aliás, quer dizer analisar os critérios (normas, regras, princípios) de alguma coisa. E se alguns desses critérios tiverem problemas, incluir sugestões para sua modificação. Criticar, portanto, não é simplesmente *pichar* algo de que não estamos gostando. Sendo assim, os instrumentos mais afiados para se fazer uma crítica da Ciência estavam com a História da Ciência. Tendo convivido intimamente com a Ciência e suas transformações durante séculos, a História da Ciência conhecia como quase nenhuma outra área de estudos os processos internos a ela. (ALFONSO-GOLDFARB, 1994)

Também foi nesse período que se iniciou uma crítica à própria historiografia tradicional da História da Ciência. Esta perspectiva, de forte orientação positivista, teve origem nos primeiros anos do século XX, com as publicações de George Sarton (1884 – 1956), e era caracterizada pela noção de desenvolvimento contínuo e cumulativo da ciência, em um processo tido como único para a descrição da realidade, uma vez que representava o caminho da verdade quanto aos conhecimentos da natureza e estabelecia uma ordem de importância entre a ciência (e interna a ela) e a “pseudociência”, essa última devendo ser ignorada (DEBUS, 2004; ALFONSO-GOLDFARB; FERRAZ; BELTRAN, 2004).

O resultado desse modelo historiográfico continuísta, que obrigava a ciência a olhar para o passado e selecionar apenas o que havia permanecido, é anacrônico e indica que todo o conhecimento do passado tinha como objetivo evoluir para chegar à ciência de hoje. Como consequência, tem-se uma história feita pelos grandes nomes da ciência, verdadeiros gênios solitários, que se tornariam os “pais” ou “precursores” de uma determinada área do conhecimento, desconsiderando toda a complexidade do fazer científico, os debates ocorridos, a convivência de diferentes ideais num mesmo período e mesmo as influências sócias e econômicas que norteiam a ciência. (BELTRAN; SAITO; TRINDADE, 2014)

Merece atenção a característica da historiografia tradicional em buscar os “pais” e “precursores” da ciência, porém não demonstrar o mesmo interesse nas “mães” ou

“precursoras”, sugerindo que, também, o processo historiográfico é fruto de seu tempo e guarda as marcas do estilo de pensamento de cada época. Contudo, foi a historiografia tradicional que estabeleceu a História da Ciência enquanto um campo acadêmico (DEBUS, 2004).

Outras correntes historiográficas, que consideravam influências sociais e políticas na ciência, começaram a tomar forma, permitindo analisar a História da Ciência por um viés descontínuista, no qual o desenvolvimento científico pode passar por saltos em seu progresso, não cumprindo um avanço sempre linear (ALFONSO-GOLDFARB; FERRAZ; BELTRAN, 2004). Assim, conforme Helge Kragh (2007), a História da Ciência lida com dois níveis de ciência: um no qual os conhecimentos são uma coleção de teorias, dados e resultados empíricos, de caráter finalizado; outro que constitui uma ciência historicamente pertinente, aquela na qual o comportamento, desafios e interesses dos cientistas atinentes a sua atividade profissional se tornam relevantes à investigação, descrevendo a ciência como um produto essencialmente humano.

Esses dois enfoques empregados na pesquisa em História da Ciência (MARTINS, 2005) frequentemente são referidos como a abordagem conceitual, também conhecida como *internalista*, a qual se refere aos fatores científicos envolvidos em dado problema, e a abordagem não conceitual, ou *externalista*, que dá conta dos aspectos sociais, econômicos, culturais ou outros que permeiam o contexto da vida profissional ou mesmo pessoal do(a) cientista. Ambos estariam estritamente relacionados, todavia podem ser separados para dar maior visibilidade à influência de cada um. No entanto, essa divisão atualmente não é vista com bons olhos, uma vez que a dicotomia internalista/externalista poderia deixar de fora fatores fundamentais para um resgate histórico. A obra pode tornar-se mais rica e objetiva quando tal dualidade é transposta e se contemplam os dois aspectos (FORATO, 2008).

A ênfase escolhida depende, portanto, dos objetivos da pesquisa. Contudo, cabe destacar que situações do cotidiano que remetem à ciência, por vezes, costumam se relacionar diretamente à perspectiva internalista. Por exemplo, em propagandas comerciais que se referem a diferentes produtos “cientificamente testados”, ou em expressões artísticas que reproduzem a figura do cientista “gênio, isolado e louco” (RIBEIRO; SILVA, 2018), detentor de um saber que poucos seriam capazes de compreender. Não raro, o mesmo ocorre nas salas de aula, pois quando o ensino se volta à reprodução de conhecimentos engessados,

cumulativos, que podem parecer incompreensíveis ou são aplicados de maneira mecânica, não promove uma aprendizagem significativa crítica (MOREIRA, 2010).

Pode-se endossar, assim, concepções de uma ciência eficiente, porém autoritária, ao passo que o sucesso de seus empreendimentos se torna inquestionável, cabendo ao público em geral aceitá-los da forma como são apresentados. Estas ideias, com certa frequência, são aceitas também por muitos professores (GIL PÉREZ *et al.* 2001). Elas também podem alimentar um viés negacionista (*e.g.*, crença na Terra plana e desconfiança em vacinas), no qual certos conjuntos de ideias são desacreditados, sem embasamentos sólidos, somente como mero exercício de desafio, mostrando que, quando cientistas não promovem diálogos com a comunidade e mantêm a ciência isolada em um pedestal, ou restrita ao âmbito acadêmico, sem explicitar os debates, as controvérsias, a formação de consensos e demais etapas que permearam seu desenvolvimento, outros grupos podem apropriar-se inadvertidamente, ou mesmo intencionalmente, de seus conceitos e deturpá-los. Nesse sentido, promover iniciativas que auxiliem na capacidade de argumentação no ensino de Física – e das ciências como um todo – e que consigam chamar a atenção dos estudantes são necessárias, expondo o conhecimento dos conceitos científicos, seus contextos histórico e cultural (GUIMARÃES; MASSONI, 2020), em um momento oportuno de crise do ensino contemporâneo e de crítica ao analfabetismo científico (QUINTAL; GUERRA, 2009).

Por outro lado, como já aludido, a abordagem internalista possui, sim, muita relevância. Apesar de representar a ciência como autônoma, neutra e independente da sociedade (BELTRAN; SAITO; TRINDADE, 2014), cabe a ela demonstrar a complexidade (*ibid.*) e a evolução dos conceitos e teorias da ciência (ALFONSO-GOLDFARB, 1994), ou seja, como a ciência pode se desenvolver (o que reivindica referenciais epistemológicos, discutido na seção 3.5).

De forma semelhante, uma pesquisa histórica da ciência escrita de forma exclusivamente externalista corre riscos de transformar-se em uma obra incompleta, uma vez que *“não privilegia o debate entre diferentes teorias que envolveram estudiosos de um determinado período e elimina toda a complexidade envolvida no processo do fazer ciência”* (BELTRAN; SAITO; TRINDADE, 2014). O próprio externalismo, por si só, não garante que grupos não-hegemônicos na História das Ciências tenham suas conquistas e contribuições devidamente retratadas e visibilizadas; um exemplo é a pouca preferência da escrita das narrativas de mulheres cientistas em seus anos iniciais, o que ganhou fôlego somente na

década de 1970, com a ascensão das críticas feministas à ciência (SCHIEBINGER, 2001; SANTANA, 2021)

A presente investigação, por tratar tanto do trabalho científico de Cecilia Payne, na identificação da abundância relativa dos elementos químicos nas estrelas, quanto de sua trajetória e vivência enquanto uma mulher astrofísica nas primeiras décadas do século XX, alinha-se com ambos os níveis expostos por Kragh (2007). A integração entre os campos de História da Ciência e Ensino de Física pode se mostrar especialmente contributiva ao almejar a promoção de um ensino mais reflexivo, inclusivo e questionador (o que exige referenciais teóricos de ensino e aprendizagem – seções 3.2 e 3.3), objetivando a problematização do saber científico, sua contextualização no mundo contemporâneo e a aprendizagem significativa crítica de seus conceitos (RICARDO, 2010; MOREIRA; MASSONI, 2007).

### ***3.2. RELAÇÕES ENTRE HISTÓRIA DA CIÊNCIA E ENSINO DE CIÊNCIAS***

A presente investigação almeja significância para o ensino da Física e da Astronomia ao produzir uma pesquisa que tenha capacidade de instigar a abordagem didática de sua temática nos diferentes níveis de ensino, o que envolve tanto os aspectos externos (vida de Cecilia Payne, trajetória enquanto uma mulher cientista) quanto internos ao conteúdo dessas ciências (teorias da Óptica, da Física Moderna e Contemporânea, da Astrofísica, bem como as metodologias empregadas para construí-las), uma vez que ambos estão imbricados em sua composição. Tendo em vista este objetivo, a atual seção trata de contribuições que a História da Ciência é capaz de atribuir ao ensino, com o vislumbre de que a pesquisa desenvolvida sobre Cecilia Payne possua tais qualidades e, desse modo, adquira a relevância pretendida.

A maior aproximação entre História da Ciência e ensino de ciências constitui uma antiga reivindicação em diferentes partes do mundo (CASTRO; CARVALHO, 1992; MATTHEWS, 1995). Este movimento, sobretudo em conjunto com a Epistemologia da Ciência<sup>9</sup>, representaria um estreitamento de laços entre a ciência e seu caráter humano, por

---

<sup>9</sup> Para Beltran, Saito e Trindade (2014), Epistemologia da Ciência “é o ramo da filosofia que analisa as condições e os limites da validade dos conceitos científicos”. Tais autores afirmam que há diferenças de

tratar de um conjunto de conhecimentos produzidos por especialistas de diferentes gêneros, raças ou regiões (RIBEIRO; SILVA, 2018). Tal anseio se vê, por vezes, distante, quando confrontado à visão de ciência majoritariamente reproduzida, enquanto uma área de neutralidade, ou seja, sem interesses alheios, caracterizada pelo objetivo único de produzir acúmulo de conhecimentos prontos, bem-acabados e inquestionáveis (OLIVEIRA; MARQUES, 2010; RODRÍGUEZ; ORTEGA, 2019; SOUZA; SILVA, 2021).

Esse enfoque permite uma valorização da História da Ciência no ensino que, conforme Beltran, Saito e Trindade (2014), tem residido na possibilidade de ofertar abordagens que favorecem a reflexão crítica concernente à origem e transformação dos conceitos científicos, as técnicas da ciência e sua conexão com a sociedade. Silva e Guerra (2015) entendem que a História da Ciência tem importância para promover o debate da ciência e seus conhecimentos, expor seus limites e possibilidades e em *“apresentar a ciência como uma produção de homens e mulheres inseridos em um contexto sociocultural específico”*.

Damasio e Peduzzi (2017), ao analisar teses de doutorado e dissertações de mestrado que se propunham a elaborar recursos didáticos para o ensino de ciências com o emprego da História da Ciência, produzidas no país entre 2005 e 2014, concluíram que as justificativas mais comuns apontadas pelas amostras seriam as possibilidades de *“discutir a natureza da ciência e mostrá-la como uma construção humana”*, *“tornar o aluno crítico e/ou reflexivo”*, *“ajudar na compreensão dos conceitos de ciência”* e de *“aumentar a predisposição em aprender”*. Os autores reiteraram que tais objetivos se tornam consistentes às suas intenções com a adoção de referenciais teóricos, metodológicos e filosóficos para a pesquisa em educação em ciência, pois o significado de conceitos como “natureza da ciência” ou “aluno crítico e/ou reflexivo” (aluna crítica e/ou reflexiva) são dependentes dos mesmos, bem como deve haver coerência entre eles. Entende-se, portanto, que a escolha e o uso de tais referenciais são imprescindíveis para uma pesquisa em História da Ciência que tenha pretensões ao ensino.

Outros pontos de convergência entre a pesquisa em História da Ciência e educação em ciência são apontados por Beltran, Saito e Trindade (2014), ao afirmarem que:

---

definição entre o que seria Epistemologia da Ciência e o que seria Filosofia da Ciência, até mesmo regionais, contudo, na presente investigação, para fins de simplificação, será tomada a liberdade de considerar ambos como sinônimos, da mesma forma que é assumido em Moreira e Massoni (2011).

[...] o objeto de estudo da pesquisa em educação em ciência é o processo de ensino-aprendizagem do conhecimento, o que abarca as formas de elaboração, transformação e transmissão desse conhecimento, formas estas que também são consideradas na pesquisa em História da Ciência. Assim, o que pode aproximar as áreas de ensino e História da ciência é que ambas lidam com a questão do conhecimento. De fato, é na concepção do conhecimento que se encontram as semelhanças e as diferenças entre as várias tendências pedagógicas no ensino de ciência e também entre as vertentes historiográficas na pesquisa em História da Ciência.

Torna-se plausível assumir que as pesquisas em História da Ciência possuiriam, intrinsecamente, potencial ao ensino. Seus construtos derivam da análise, através de tendências historiográficas, dos documentos que descrevem as etapas que permearam a construção do conhecimento científico, os quais posteriormente constituirão a base da matéria de ensino. Assim, os referenciais teóricos da educação poderiam ser empregados tanto na adaptação desses construtos para o ensino ou mesmo durante a realização da pesquisa, o que tornaria a ligação entre dado referencial e tendência historiográfica mais sólida.

Quando se fala em tendências historiográficas atuais, na qual a presente investigação se insere (seção 3.1), uma das possibilidades de integração estaria nos referenciais teóricos para o ensino de viés construtivistas, pois tais correntes teriam visões compatíveis acerca da origem do conhecimento (BELTRAN, SAITO, TRINDADE, 2014). O construtivismo, de acordo com Moreira (2011):

[...] é uma posição filosófica cognitivista interpretacionista. Cognitivista porque se ocupa da cognição, de como o indivíduo conhece, de como ele constrói sua estrutura cognitiva. Interpretacionista porque supõe que os eventos e objetos do universo são interpretados pelo sujeito cognoscente. O ser humano tem a capacidade criativa de interpretar e representar o mundo, não somente responder a ele.

Portanto, em ambos enfoques, de maneira resumida, há a centralização do papel do ser humano, seja na construção de seu próprio conhecimento ou na elaboração dos conceitos científicos, os quais não são necessariamente fixos, pois podem ser reconsiderados, por exemplo, pelas dinâmicas do pensamento próprio de uma pessoa ou pelas modificações dos estilos de pensamento de determinada época. Essa relação será melhor explorada na seção 3.3, na qual será considerada a teoria de aprendizagem significativa crítica de Moreira, assumida como referencial teórico para o ensino na presente investigação.

A respeito da articulação da História da Ciência com o ensino da Física, a literatura consultada costuma convergir em uma mesma direção, denotando a pertinência da história dos conceitos físicos, das trajetórias de seus agentes, dos aspectos contextuais de cada época e das controvérsias envolvidas no momento das grandes transformações científicas (e.g. CARUSO; OGURI, 2006; SILVA, FORATO; GOMES, 2013; DRUMMOND *et al.*, 2015), o que acaba tornando o debate indissociável da Filosofia da Ciência, uma vez que nem os conceitos, nem os métodos, nem as leis e teorias da Física são fixos e imutáveis (MASSONI, 2005). Tais princípios podem se mostrar presentes ao se considerar o papel de Cecilia Payne no estudo da composição das estrelas, quando sua pesquisa acarreta a apresentação de uma concepção diferente daquela largamente aceita à época, gerando, assim, desconforto naquele coletivo de pensamento (seção 3.5).

Entende-se que a temática oferece relevância ao ensino da Física diante de sua contribuição à formação de cidadãos mais críticos e reflexivos sobre a ciência e a sociedade, indicando a capacidade do emprego da História da Ciência de forma a contribuir para a abordagem da participação feminina em diferentes contextos de descobertas científicas, auxiliando a problematizar o conhecimento científico e a combater uma visão a-histórica de ciência (HIDALGO; SCHIVANI; SILVA, 2018), diferente do corriqueiro e superficial emprego cartunesco de promoção de grandes heróis da ciência e seus feitos. Descortina-se, como possibilidade, um caminho para sinalizar a opressão existente no meio científico, uma vez que as questões de gênero não se atém somente às mulheres, mas sim às relações entre homens e mulheres em diferentes espaços, as quais historicamente se mostram favoráveis ao masculino. Portanto, humanizar as ciências se refere, também, a propiciar que cada indivíduo possa reconhecer sua posição dentro de um contexto social, histórico e cultural maior e se coloque como ente ativo de uma educação antiopressiva, que consiga reduzir a repetição de estigmas sociais e criticar seus significados.

Esses benefícios, provenientes de uma abordagem mais reflexiva e historicamente contextualizada no ensino das ciências, são destacados tanto no Ensino Básico (SOLBES; TRAVER, 2001) como na graduação, seja na formação de novos professores de Física (CUDMANI; SANDOVAL, 2004; SOUZA; SILVA; TEIXEIRA, 2020), conforme já abordado, ou em cursos de bacharelado (CORDEIRO; PEDUZZI, 2012). Nesse sentido, a pesquisa em História da Ciência assume relevância tanto ao Ensino de Física como nos demais ramos das ciências naturais, uma vez que, além de contribuir diretamente para o embasamento crítico de estudantes e de novos profissionais da área, expõe a extensão social do saber científico e cumpre o caráter comum das instituições de ensino, em especial as públicas, de transformar o conhecimento gerado em ganhos concretos à população.

[...] a inserção da História da Ciência [*no ensino de ciências*] tem como objetivos: a) proporcionar uma visão mais adequada de Ciência enquanto processo de construção; b) servir como base de elementos de reflexão na definição de temas fundamentais; c) revelar os obstáculos epistemológicos por meio da semelhança entre concepções alternativas e concepções relativas a teorias científicas do passado, quando possível e d) superar os modelos de ensino cujo foco principal seja a mera transmissão dos “produtos” da Ciência. (GATTI; NARDI; SILVA, 2004)

No que tange o ensino de Física, há diferentes realidades para cada nível de ensino. Para o Ensino Básico, sabidamente há um viés didático que supervaloriza a aplicação de fórmulas, a transmissão de um contínuo de informações e o treinamento para provas (FERREIRA; FERREIRA, 2010), o que vai ao encontro da concepção de ciência amplamente aceita e a qual se pode enfrentar com o auxílio da História da Ciência, portanto, existe um distanciamento entre as práticas de ensino que empregam o viés histórico e filosófico e o ambiente escolar (MASSONI, 2010). No Ensino Superior, por sua vez, os cursos de graduação em Física costumam possuir, embora não unanimemente<sup>10</sup>, disciplinas específicas de História e Epistemologia da Ciência, geralmente ofertadas nos semestres finais, com a meta de proporcionar uma formação ampla para futuros(as) docentes da área e aprofundar

<sup>10</sup> Por exemplo, os cursos Bacharelado em Física e Bacharelado em Física: Astrofísica da UFRGS possuem as disciplinas de *História da Física e Epistemologia* e de *História da Astronomia* somente de forma complementar em suas grades curriculares.

seus saberes quanto à evolução dos conceitos físicos, revelando a construção da ciência enquanto empreendimento social, cultural e coletivo (MONTEIRO; QUINTA E COSTA; RIBEIRO, 2019).

*Essa capacidade [de avaliar e criticar conceitos históricos e filosóficos da ciência] depende de conhecimentos sólidos, que o professor deve adquirir durante sua formação e depois dela, no exercício diário de atualização de seus saberes. Para conseguir distinguir as transformações sofridas pelos conceitos físicos constantes no livro didático, assim como reconhecer aspectos da filosofia da ciência, é essencial que o professor em formação conheça, também, a história da física. E o espaço que ela tem nos cursos de física, em geral, é em disciplinas de evolução ou história dos conceitos e afins. (CORDEIRO; PEDUZZI, 2012)*

A formação docente e as abordagens didáticas que valorizam a História da Ciência somente se tornam possíveis após a realização da pesquisa básica em História da Ciência. Se o tema e/ou a personalidade de interesse para o ensino de Física não possui trabalhos a respeito de sua história ou tem uma produção limitada, inevitavelmente caberia ao professor ou à professora produzi-lo. Contudo, seria inadequado desconsiderar o contexto social em que vivemos, pois é sabido que, em nosso país, as condições de trabalho da classe docente costumam exigir mais horas do que aquelas para as quais são contratados, frequentemente realizando demandas laborais fora de seu horário de expediente e do seu local de trabalho, o que requereria do professor de Física, por exemplo, conhecimentos, habilidades e um perfil profissional e psicológico extremamente complexo (PINHEIRO; MASSONI, 2021). Em vista disso, é mandatário que mais pesquisas acadêmicas sejam feitas e que elas possam chegar às salas de aula, reiterando-se o cuidado com os referenciais e os já citados benefícios que podem trazer ao ensino.

Dado o exposto, se entende que abordagens didáticas que façam alusão, por meio da História da Ciência, a um enfoque reflexivo (inerente a um referencial epistemológico) e que valorize o cooperativo (qualidade do referencial teórico para o ensino), obviamente sem deixar de lado o conteúdo da Física em si, permanecem bem-vindas e são desejáveis na medida em que enriquecem o processo de ensino e podem torná-lo mais instigante. Alerta-se, porém, cautela para não transformar a inserção das discussões do processo de construção da

ciência em um exercício meramente intelectual, acadêmico, próprio da natureza humana (MATTOS; HAMBURGER, 2004), e sim colocá-las de forma orientada ao ensino, bem como seria errôneo considerar que o emprego da História da Ciência seja a panaceia para o ensino (DAMASIO; PEDUZZI, 2017; GURGEL, 2020), mas sim um recurso dentre tantos outros existentes, cujo emprego pode garantir vantagens ou desvantagens conforme o modo ou contexto em que ocorre.

Ressalta-se que abordagens didáticas da História da Ciência, ou História da Física, não são substitutas de um ensino da Física pautado por seu caráter de descrição da natureza e do uso da linguagem matemática enquanto base fundamental (PIETROCOLA, 2010), contudo são estratégias aliadas, que podem ampliar as metodologias de ensino em sala de aula e enriquecer os entendimentos sobre ciência, tecnologia e sociedade (MARTINS, 2004). Dessa maneira, não há uma dicotomia entre o “ensinar Física” e o “ensinar História da Física”, uma vez que o emprego de abordagens didáticas que se valem de elementos da História da Ciência igualmente cumprem o papel de ensino da Física em si, porém valorizando mais diretamente sua potencialidade para um ensino contextualizado<sup>11</sup>.

A história da ciência pode [em relação ao ensino de ciências],

- propiciar o aprendizado significativo de equações (que estabelecem relações entre conceitos, ou que traduzam leis e princípios) que o utilitarismo do ensino tradicional acaba transformando em meras expressões matemáticas que servem à resolução de problemas;
- ser bastante útil para lidar com a problemática das concepções alternativas;
- incrementar a cultura geral do aluno, admitindo-se, neste caso, que há um valor intrínseco em se compreender certos episódios fundamentais que ocorreram na história do pensamento científico (como a revolução científica dos séculos XVI e XVII, por exemplo);

---

<sup>11</sup> Um exemplo da literatura sobre o ensino contextual de Física teve origem nos anos 1960 nos EUA, através do *Projeto Harvard*, no qual História e Filosofia da Ciência foram valorizadas como recursos pertinentes para um ensino de Física mais humanizado e que dialogasse com o meio social, “*procurando mostrar a ciência como uma capacidade humana e o conhecimento científico acumulado como herança cultural a que todo indivíduo tem direito*” (PENA, 2012).

- desmistificar o método científico, dando ao aluno os subsídios necessários para que ele tenha um melhor entendimento do trabalho do cientista;
- mostrar como o pensamento científico se modifica com o tempo, evidenciando que as teorias científicas não são “definitivas e irrevogáveis”, mas objeto de constante revisão;
- chamar a atenção para o papel de ideias metafísicas (e teológicas) no desenvolvimento de teorias científicas mais antigas;
- contribuir para um melhor entendimento das relações das ciências com a tecnologia, a cultura e a sociedade;
- tornar as aulas de ciência (e de física) mais desafiadoras e reflexivas, permitindo, deste modo, o desenvolvimento do pensamento crítico;
- propiciar o aparecimento de novas maneiras de ensinar certos conteúdos;
- melhorar o relacionamento professor-aluno;
- levar o aluno a se interessar mais pelo ensino da física; (PEDUZZI, 1998)

Infelizmente, o incremento de pesquisas na área não necessariamente implica maior número de docentes adeptos e preparados à introdução de tópicos de História da Ciência no ensino, sendo esse um velho problema, pois se percebe uma defasagem entre tais etapas (PRESTES; CALDEIRA, 2009). Há diferentes complicadores mais elementares encontrados, como o tempo de aplicação das atividades (SILVA, TEIXEIRA; PENIDO, 2018), o qual pode interferir no avanço dos componentes curriculares, a recepção inicial discente, acostumada com outro modelo de ensino, mais tradicional (VIEIRA, 2014), a ausência de conhecimento de referenciais e informações por docentes e, por vezes, a própria falta de formação específica, que, conseqüentemente, faz com que professores e professoras não se sintam com segurança ou capacidade para propostas do gênero (SILVA, 2012; RIBEIRO; SILVA, 2017; BOARO; MASSONI, 2018). Apesar do cenário, se entende que a realização de pesquisas em História da Ciência que atendam uma prerrogativa didática seriam bem vindas, sobretudo quando as práticas tradicionais não se mostram bem sucedidas e a superação desse problema requer resiliência e insistência.

A investigação sobre Cecilia Payne, apresentada na presente tese (Capítulo 4), se soma à demanda da diversificação de recursos para o ensino de Física à medida que favorece a discussão do papel da pluralidade de especialistas e da coletividade no meio científico nos

processos da ciência, como fornece motivação para o ensino de diferentes conceitos físicos. A título de exemplo, o ensino da espectroscopia, relevante na Óptica Física, na Astrofísica e na Física Quântica, poderia ser contextualizado a partir do seu papel na identificação dos elementos e compostos químicos presentes nas estrelas. Cabe salientar que a Óptica Física se apresenta como uma porta de entrada para outras abordagens que façam uso da Física Moderna e Contemporânea (VIEIRA, 2014), em cujo período inicial de desenvolvimento houve, de forma mais proeminente, a contribuição de diversas mulheres cientistas que começaram a ter acesso ao ensino universitário (seção 1.3), cujas proezas necessitam cada vez mais reconhecimento.

Assim como uma melhor compreensão do conhecimento científico é almejada, a descrição historiográfica aponta que não só os construtos da ciência implicam em transformações sociais, mas que essa é uma via de mão dupla, exercendo a cultura local influência sobre os processos de investigação dos cientistas, estando suas expectativas pessoais, dilemas profissionais e perspectivas econômicas intrinsecamente relacionados à atividade profissional, o que impregna sua produção (FORATO, PIETROCOLA; MARTINS, 2011). Esta descrição é, sobretudo, evidente na obra de parte das mulheres cientistas que se tornaram precursoras (seção 1.3), mesmo que não intencionalmente, pois tiveram que sobrepujar interesses alheios que as afastariam do meio acadêmico para conseguir acessar a educação formal e os espaços de trabalho.

Neste contexto, a produção historiográfica mostra à sociedade os construtos científicos e possibilita uma análise da repercussão social de tais saberes. Por consequência, até certo grau, o direcionamento do tema a ser apresentado em determinado estudo dependeria da iniciativa de especialistas e instituições, logo a escassez de trabalhos voltados para a apresentação dos conhecimentos criados por mulheres cientistas é, também, o resultado de uma série de escolhas que privilegia a manutenção de um padrão de ciência como produção largamente masculina, pois não expõe a diversidade de mulheres que contribuíram para o progresso do conhecimento e, prejudicialmente, implica o apagamento sistemático de suas contribuições.

### **3.3. APORTES DA TEORIA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA CRÍTICA DE MARCO ANTONIO MOREIRA**

A teoria da aprendizagem significativa crítica de Marco Antonio Moreira se ancora em duas outras visões a respeito dos processos de ensino e aprendizagem, o ensino como atividade subversiva de Neil Postman (1931 – 2003) e Charles Weingartner (1922 – 2007) e a teoria da aprendizagem significativa de David Ausubel (1918 – 2008) (MOREIRA, 2011). Como o foco da presente seção está nas contribuições que a teoria de Moreira aporta para a atual investigação sobre Cecilia Payne, serão feitas breves considerações a respeito das duas visões citadas para que se possa conhecer melhor seus conceitos e a relação com a pesquisa aqui apresentada.

De acordo com Moreira (2011), Postman e Weingartner começaram a questionar as bases da escola tradicional em 1969, período no qual o mundo se deparava com situações de mudanças, como a chegada da humanidade à Lua e a proliferação de armas nucleares. Para eles, a escola não estava preparando os estudantes para lidar com uma sociedade com o florescimento cada vez mais rápido de novos conceitos, pois seus padrões de ensino, de valorização da aprendizagem mecânica, formariam sujeitos passivos, complacentes e autoritários

As preocupações de Postman e Weingartner estavam mais focadas justamente no ensino, enquanto conjuntos de atitudes que professores desejavelmente poderiam evitar (por exemplo, propunham abolir o que chamavam de “conceitos fora de foco”: a ideia de verdade absoluta, da unicidade da resposta certa, identidade isolada, estado e “coisas” fixas, causalidade simples ou mecânica, de que o conhecimento é meramente transmitido do mestre, enquanto autoridade, para o aprendiz), como meio de promoção da subversão, interpretada enquanto uma postura crítica frente ao ensino.

O outro importante subsídio para a teoria de Moreira viria, conforme citado, da teoria da aprendizagem significativa de Ausubel. Segundo Moreira (2010):

[...] a aprendizagem significativa caracteriza-se pela interação entre o novo conhecimento e o conhecimento prévio. Nesse processo, que é não literal e

não arbitrário, o novo conhecimento adquire significados para o aprendiz e o conhecimento prévio fica mais rico, mais diferenciado, mais elaborado em termos de significados, e adquire mais estabilidade. (p. 89)

Nesse sentido, os conhecimentos prévios que compõem a estrutura cognitiva dos aprendentes, também chamados de subsunçores, funcionam como uma base na qual o novo conhecimento pode se apoiar, e com ela interagir. A interação entre ambos, os antigos e novos conhecimentos, se dá pela diferenciação progressiva, quando o conhecimento prévio se modifica pela aquisição do novo, se diferenciando de sua constituição anterior, isto é, ficando mais rico em significados, e também pela reconciliação integrativa, quando subsunçores que anteriormente não se comunicavam se juntam para a compreensão do novo conhecimento. Esses estágios objetivam a consolidação do conhecimento, momento no qual ele adquire significado. Nessa interação, os educandos não se encontram em uma posição de passividade, pois devem buscar os conhecimentos prévios presentes em sua estrutura cognitiva que podem promover a obtenção de novos significados; e se considera que deve haver uma predisposição para a aprendizagem, sem a qual nenhum processo se consolida de forma significativa (MOREIRA, 2011).

Em sua teoria, Moreira (2011) considera os aspectos da aprendizagem significativa de Ausubel, contudo, adicionando o elemento subversivo (crítico) de Postman e Weingartner com foco na aprendizagem. Portanto, há não só a noção de que o conhecimento é construído, uma vez que a teoria de Ausubel se encontra inserida em uma perspectiva construtivista, como a de que esse conhecimento está localizado temporal, cultural e socialmente, uma vez que Postman e Weingartner possuíam como preocupação justamente que as metodologias de ensino acompanhassem as mudanças sociais de sua época e atendessem os interesses dos educandos. Por consequência, se entende aqui que a Teoria da Aprendizagem Significativa Crítica de Moreira sustenta tais características em seu cerne, dada sua herança cultural.

Em tal teoria, o conhecimento prévio e a predisposição continuam tendo papel relevante, porém cabe aos estudantes decidir qual a validade dos novos conhecimentos (significados) adquiridos, sem a obrigação de se manterem presos unicamente aos significados inerentes aos processos de ensino pelo quais passaram, podendo atribuir outros que enriqueçam suas vivências, exercendo sua criticidade:

*Aprendizagem significativa crítica é aquela perspectiva que permite ao sujeito fazer parte de sua cultura e, ao mesmo tempo, estar fora dela.* Trata-se de uma perspectiva antropológica em relação às atividades de seu grupo social que permite ao indivíduo participar de tais atividades, mas, ao mesmo tempo, reconhecer quando a realidade está se afastando tanto que não está mais sendo captada pelo grupo. [...] É pela aprendizagem significativa crítica que o aluno poderá fazer parte de sua cultura e, ao mesmo tempo, não ser subjugado por ela, por seus ritos, mitos e ideologias. (MOREIRA, 2011, p. 226)

Dessa maneira, se percebe aprendizes enquanto sujeitos dotados de vontades próprias e não limitados pelos significados inerentes ao novo conhecimento, portanto, com liberdade para ir além dos conhecimentos existentes e, por conseguinte, produzir novos saberes. Em nossa sociedade atual, com inquietações naturalmente diferentes daquelas pensadas por Postman e Weingartner, Moreira (2010) expressa preocupação frente ao rápido avanço tecnológico. Aqui se compreende que tais advenços podem (e devem) ser analisados de um ponto de vista interno às ciências da natureza, por exemplo, em conhecer seus métodos de funcionamento e conceitos científicos pertinentes, contudo 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. No presente trabalho, 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 (seção 3.6).

Contudo, para que tal objetivo seja viável, é necessário que ele faça sentido aos estudantes e que ele seja acolhido em suas críticas individuais. Nesse sentido, Moreira (2011), ao considerar que a aprendizagem, além de significativa, deve ser crítica, define uma série de princípios facilitadores para uma aprendizagem significativa crítica. Os onze princípios sugeridos pelo autor são aqui resumidos:

1. *Princípio do conhecimento prévio:* só é possível aprender algo partindo de um conhecimento anterior, assim como a aprendizagem só pode ser crítica se, anteriormente, ela foi significativa;

2. *Princípio da interação social e do questionamento*: as interações devem ocorrer por meio de intercâmbios de perguntas, pois são elas que motivam novos conhecimentos. São as perguntas que deveriam ser o foco do ensinar/aprender, não as respostas (muitas vezes respostas a perguntas que o aprendiz nunca fez);

3. *Princípio da não centralidade do livro texto*: o livro didático não deve representar a autoridade do conhecimento. Para isso, se deve valorizar a diversidade de materiais instrucionais (documentos, artigos, poesias, relatos, obras de arte, dentre outros);

4. *Princípio do aprendiz como perceptor/representador*: estudantes não devem ser encarados apenas como recebedores do saber didático, o que pode levar à aprendizagem mecânica. São seres que percebem o mundo ao seu redor e o representam, percepção esta que assume papel em seus processos cognitivos, como a aprendizagem;

5. *Princípio do conhecimento como linguagem*: a linguagem representa a maneira de percepção da realidade, revelando os conhecimentos assimilados e as diferentes visões de mundo, pois a linguagem não é neutra;

6. *Princípio da consciência semântica*: percepção de que “o significado está nas pessoas, não nas palavras” (MOREIRA, 2010), isto porque são as pessoas que desenvolvem os conceitos e atribuem seus significados, sempre se ancorando em seus conhecimentos prévios;

7. *Princípio da aprendizagem pelo erro*: as pessoas aprendem corrigindo seus erros, diferenciando seus conhecimentos prévios à medida que se apropriam dos novos. Errar é próprio da natureza humana e, portanto, pertence à aprendizagem. Contudo, não se deve confundir com a estratégia de ensaio-e-erro, pois essa pressupõe que há uma resposta única, uma verdade absoluta, ao contrário do que objetiva a aprendizagem significativa crítica;

8. *Princípio da desaprendizagem*: quando determinado conhecimento prévio não permite que um novo conhecimento seja construído, se deve “desaprendê-lo”, ou seja, perceber que é irrelevante para a nova aprendizagem e empenhar-se para se libertar dele.

9. *Princípio da incerteza do conhecimento*: conhecimentos representam visões de mundo pessoais, portanto, por natureza, são incertos, ou certos dentro de seus limites. Assumem importâncias as perguntas (que representam instrumentos de percepção), as definições (que são instrumentos de pensamento, não autoridades do conhecimento) e as

metáforas (também instrumentos de pensamento, que representam a linguagem específica de determinada área do conhecimento). Conforme Moreira (2010, p. 95), a “*aprendizagem significativa destes três elementos só será da maneira que estou chamando de crítica quando o aprendiz perceber que as definições são invenções, ou criações, humanas, que tudo que sabemos tem origem em perguntas e que todo nosso conhecimento é metafórico*”;

10. *Princípio da não utilização do quadro de giz*: o quadro representa, aqui, a centralização da aprendizagem dependente da figura docente. Não utilizar o quadro significa diversificar as estratégias para o ensino, promovendo uma participação mais ativa dos educandos;

11. *Princípio do abandono da narrativa*: promover mais diálogos dos conteúdos de ensino ao invés dos professores apenas narrarem, de forma solitária, os conhecimentos. Implica a busca de formas que façam com que os estudantes falem mais, agindo de forma mais crítica à sua aprendizagem.

Os princípios facilitadores sinalizam que, na aprendizagem significativa crítica de Moreira, aprendentes são encorajados a um papel ativo e, certamente, crítico, em seu aprendizado. Assim, não somente constroem seus conhecimentos, como também analisam sua validade perante o mundo e, se necessário, o modificam. As tendências historiográficas atuais igualmente consideram a importância dos seres humanos enquanto criadores dos conceitos científicos, ou seja, o conhecimento também é interpretado como um construto (BELTRAN; SAITO; TRINDADE, 2014), da mesma maneira que cabe à História da Ciência uma forma de oferecer a crítica à ciência (ALFONSO-GOLDFARB, 1994), a qual pode, e pensando em um ensino que promova o conhecimento sobre as contribuições de mulheres cientistas, provavelmente deva, ser uma crítica feminista (SCHIEBINGER, 2001).

Assim como a aprendizagem significativa crítica não é neutra, pois contempla os interesses de quem aprende ao permiti-los subverter o que foi assimilado, as tendências historiográficas atuais compreendem que a escrita da História da Ciência também não é, uma vez que depende da concepção de ciência da pessoa que a compõe (BELTRAN; SAITO; TRINDADE, 2014), a qual tem diferentes formações acadêmicas, orientações políticas, gêneros, origens étnico-culturais ou visões de mundo que refletem em sua produção, na

percepção e representação dos conceitos e na transformação dos conhecimentos anteriores, tal qual no aprendizado significativo e crítico.

Mesmo não representando uma novidade, o uso da História da Ciência não se encontra expressivamente presente nas aulas de Física (SILVA; TEIXEIRA; PENIDO, 2018). Favorecer seu emprego instigaria a diversificação das abordagens e dos recursos didáticos e, seguramente, configuraria um avanço para a promoção de atividades que estimulam a criticidade, pois reduzem a distância entre o conhecimento científico e o público em geral e apresentam um lado pouco explorado e, por consequência, aparentemente alheio à ciência, o do questionamento, da dúvida, dos debates, das incertezas. Questões que se referem à pouca quantidade de mulheres representadas na História da Ciência muito provavelmente viriam à tona em uma aula que motive tal dinâmica, o que dificilmente encontraria espaço no ensino tradicional, caracterizado pela transmissão fria e mecânica dos conteúdos necessários (TEIXEIRA, 2018).

Moreira (2011) pondera que uma implementação dos princípios facilitadores deve ser favorecida por fatores como currículo, avaliação e contexto, o que inclui o meio social e o sistema educativo. Quando se propõe o resgate histórico de Cecília Payne, cujos feitos são fortemente lembrados ainda hoje, porém não sua pessoa, se tem em vista que se trata de um episódio com potencial à aprendizagem significativa crítica, uma vez que conversa com o meio social, ao abordar a representação das mulheres na ciência, e contextualiza o ensino de conceitos físicos, como já aludido (seção 3.2), aspirando, assim, valor para o ensino de Física.

### ***3.4. ORGANIZAÇÃO DOS DADOS E EMPREGO DA TEORIA FUNDAMENTADA EM DADOS DE ANSELM STRAUSS E JULIET CORBIN***

#### ***3.4.1. Fontes de dados***

A coleta e análise dos dados compõem uma das principais etapas na pesquisa em História da Ciência, o que inclui um trabalho intenso de leitura, seleção de fontes e levantamento do material (MARTINS, 2007), sejam estes físicos ou digitalizados. Sua

importância reside em permitir conhecer os conceitos internos à ciência pertinentes à investigação e o contexto histórico sob o qual foram construídos os fatos científicos a serem narrados, auxiliando na formulação de hipóteses mais consistentes acerca dos acontecimentos.

A História da Ciência não é feita simplesmente de opiniões, repetições e boatos, ela é desenvolvida a partir do estudo de documentos. Uma biblioteca cheia de documentos antigos representa, para o historiador, aquilo que um laboratório representa para um físico atual: é o modo de testar ideias, de verificar até que ponto uma hipótese ou teoria está de acordo com os fatos. (MARTINS, 2001).

A natureza das fontes é extremamente diversa, pois são integradas por textos, obras de arte, vídeos, áudios, imagens, entrevistas, dentre outras, as quais são classificados como originais, ou fontes primárias, que se atém à formulação descritiva original, e literatura secundária, ou fontes secundárias, narrativas posteriores que levam em conta as perspectivas sociais e culturais relativas ao assunto em questão (FORATO; MARTINS; PIETROCOLA, 2012).

Os originais podem ser textos, imagens ou documentos da cultura material (objetos físicos) que chegaram a nossos dias trazendo registros de conhecimentos elaborados, transmitidos, adaptados em outros tempos e culturas. Algumas vezes, por influência da tradição de estudos históricos, esses materiais são chamados de fontes primárias.

Já a literatura secundária abrange trabalhos sobre o tema focalizado, escritos por estudiosos contemporâneos. Pela mesma influência já mencionada da tradição de estudos históricos, esses materiais são também chamados de fontes secundárias. (BELTRAN; SAITO; TRINDADE, 2014)

Em relação à investigação sobre Cecília Payne, fontes de ambas as naturezas compõe os dados coletados. Foram obtidos, em especial através do repositório *Astrophysics Data*

*System*, da Universidade de Harvard, artigos da época (décadas de 1910 e 1920, em sua maioria) de autoria de Cecilia Payne e de seus pares a respeito da investigação sobre a teoria da ionização térmica de Saha (Capítulo 4) e a composição estelar. Em conjunto com sua tese de doutorado (PAYNE, 1925a), sua autobiografia, lançada no ano de seu falecimento (PAYNE-GAPOSCHKIN, 1996), e alguns de seus cadernos pessoais, os quais contém geralmente tabelas e gráficos, recentemente digitalizados e disponibilizados no referido repositório, compõem as fontes primárias acessadas para a presente pesquisa. Uma busca pelo arquivo *Hollis*, também da Universidade de Harvard, revela que há uma caixa com escritos de Payne, incluindo uma versão original de sua autobiografia, e cartas pessoais, no entanto elas devem permanecer em sigilo por oitenta anos, assim somente serão abertas ao público no ano de 2059.

Dada a localização dos eventos (Inglaterra e Estados Unidos), as fontes primárias estão integralmente na língua inglesa. O mesmo ocorre em relação à ampla maioria das fontes secundárias, constituídas grande parte por artigos, mas também livros, capítulos de livros e entrevistas. Em língua portuguesa, foram tomadas buscas em repositórios<sup>12</sup> e diretamente em *sites* de revistas indexadas sobre Ensino de Física e/ou História na Ciência, não tendo sido encontradas obras dedicadas exclusivamente a Cecilia Payne ou que a desenvolvam enquanto personalidade importante na História da Ciência. Em língua espanhola, da mesma forma, não foram encontrados resultados considerados pertinentes a esta investigação nas consultas nos referidos repositórios<sup>13</sup>.

Excetuando-se reportagens de veículos da grande imprensa, textos de *blogs* e vídeos disponíveis em plataformas específicas, os quais não foram considerados para a presente pesquisa, apenas três menções a Payne que trazem alguma descrição com mais detalhes foram encontradas em obras publicadas no Brasil. Duas estão presentes em artigos científicos, sendo

---

<sup>12</sup> Os repositórios e *sites* especializados consultados são *Periódicos Capes*; *Scielo*; *ResearchGate*; *Google Acadêmico*; *Astrophysics Data System*; *Science Direct*; *J STOR*; *Latindex* e *Scopus*. Os *sites* de revistas indexadas consultados diretamente são *Revista Brasileira de Ensino de Física*; *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*; *Revista da Sociedade Brasileira de História da Ciência, História da Ciência e Ensino: Construindo Interfaces*; *História, Ciências, Saúde – Manguinhos*; *ALEXANDRIA: Revista de Educação em Ciência e Tecnologia*; *Investigação em Ensino de Ciências*; *A Física na Escola*; *Enseñanza de las Ciencias e Ciencia & Educación*.

<sup>13</sup> As publicações encontradas em espanhol, como ocorre com outras em inglês ou português, fazem somente alusão à Cecilia Payne, informando brevemente sua contribuição na determinação da composição estelar, citando frases de sua autoria, premiações recebidas ou a listam enquanto uma mulher cientista relevante, porém não apresentam um desenvolvimento maior de partes de sua obra ou vida pessoal.

um traduzido para o português (STASIŃSKA, 2010), que trata da importância das estrelas para os seres humanos, citando-a como autora do “*primeiro trabalho quantitativo e abrangente*” sobre a composição das estrelas, e o segundo (CAMPOS; RIBEIRO, 2019) aborda a representação de gênero na ciência através de uma análise da série *Cosmos*, na versão apresentada pelo astrofísico Neil deGrasse Tyson, que relata sua chegada à Universidade de Harvard e seu trabalho na instituição durante os anos de seu doutorado, juntamente com outras astrônomas. A terceira menção encontrada se trata de um trabalho de conclusão de curso de graduação (NASCIMENTO; SCHIMANDEIRO, 2019), que investiga a representação (ou sua ausência) de quatro mulheres cientistas em livros didáticos do Ensino Fundamental (Marie Curie, Maria Sibylla Merian, Rosalind Franklin e Cecilia Payne-Gaposchkin), considerando suas biografias e contribuições à ciência em seus respectivos domínios.

### ***3.4.2 Análise dos dados e cuidados historiográficos***

Em relação à análise das fontes, um procedimento que merece atenção é o de evitar anacronismos, que consistiria em analisar algum conhecimento do passado a partir dos conceitos do presente, já que os mesmos não existiam à época remota (BASTOS FILHO, 2012), seja com o intuito de explicar o conceito antigo, seja para fomentar a ideia de que cientistas estavam antecipando conhecimentos atuais (MARTINS, 2004), o que pode ser evitado conhecendo-se o contexto histórico da época (MARTINS, 2005), incluindo os fatores científicos e socioculturais (OLIVEIRA; SILVA, 2012).

O historiador da ciência perderia muito se caísse na tentação de utilizar o conhecimento moderno para avaliar as descobertas e teorias do passado. [...] a tentação de considerar as descobertas do passado como meras antecipações da ciência atual e de apagar os erros supondo que não conduziram a parte alguma é quase irresistível. É precisamente esta tentação, que pertence à essência da ciência, aquela que pode algumas vezes tornar mais difícil para nós compreender como se realizaram de fato as descobertas e como as teorias foram pensadas por seus autores em sua própria época. (CROMBIE, 1983 *apud* MARTINS, 2001)

Exemplificando, em sua tese de doutorado, Payne (1925.a) relata o achado da alta abundância relativa dos elementos químicos hidrogênio e hélio, bem como salienta que o problema da fonte de energia das estrelas era uma incógnita à época, que permaneceria um problema a ser investigado no futuro. Hoje em dia, se sabe que a fusão nuclear de hidrogênio em hélio é a principal fonte de energia para grande parcela das estrelas, contudo, seria errôneo afirmar que Payne foi visionária e anteviu tal resultado, uma vez que a fusão nuclear sequer existia conceitualmente em 1925, sendo proposta somente em 1939, em um artigo de Hans Bethe (1906 – 2005) (OLIVEIRA FILHO; SARAIVA; 2017). Desse modo, apesar da importância do trabalho de Payne, ele está contido no estilo de pensamento de seu tempo, portanto, seria um anacronismo inserir a fusão nuclear como uma de suas contribuições.

Outro aspecto que merece atenção é o whiggismo, ou presentismo, que consiste na descontextualização do passado de modo que ele justifique ou se adeque ao presente (MARTINS, 2004; NETO; BORTOLAI, 2016). Em relação a esse aspecto, conforme coloca Martins (2004):

Tanto na ciência quanto na historiografia, as concepções gerais (às vezes tácitas) que o pesquisador possui influenciam sua forma de ver seu objeto de estudo como se fossem lentes coloridas, distorcendo o seu campo visual e impedindo a visão de certos aspectos do mundo pesquisado.

Por esse ponto de vista, evitar completamente o whiggismo se torna, até certo nível, incoerente com as perspectivas historiográficas atuais, uma vez que, ao tratar a historiografia como uma construção humana, a mesma estará dotada das impressões do investigador. Por outro lado, a historiografia atual parece não permitir qualquer simples traço de whiggismo, embora não tenha resposta precisa sobre como driblá-lo (NETO; BORTOLAI, 2016). Ao se acreditar que Cecilia Payne possui potencial para ser um exemplo motivador a meninas que planejam seguir uma carreira na área científica, está sendo colocado um caminho norteador em uma concepção atual, relacionada ao problema contemporâneo da baixa representatividade de mulheres na História da Ciência e de sua menor quantidade nos postos de trabalho nas Ciências, especialmente as exatas. No entanto, não é possível, tendo esse pensamento claro, deformar a história colocando Payne como uma heroína da ciência em seu tempo ou como a

“mãe” isolada da descoberta da composição estelar, uma vez que ela estava inserida em uma problemática secular, e por consequência coletiva, da investigação do que eram feitas as estrelas.

Enquanto um possível alento para tal questão, Martins (2010) elucida que, apesar de não haver a possibilidade de que uma narrativa histórica seja totalmente neutra, “*pode-se deixar explícito, para o leitor, que se trata de um resumo de uma história mais complexa, e que a seleção e as conexões apresentadas são fruto da mente do historiador*”. Portanto, ao se tentar mostrar, na presente investigação, como se deu a construção da tese de doutorado de Cecilia Payne enquanto uma mulher cientista, seus achados e repercussões, é necessário voltar ainda mais ao passado e perceber o que estava colocado a respeito do tema até então, deixando claro que, como em qualquer produção historiográfica, os fatos relacionados são muito mais intrincados, sendo permitido narrar os acontecimentos de acordo com os registros que sobreviveram aos tempos atuais, porém admitindo-se que muito mais informação ficou pelo caminho, tanto pela ausência de ou falta de acesso a dados, quanto pelo caminho adotado pelo investigador.

“O componente político-ideológico se manifesta fundamentalmente na seleção de fontes. Mas tem servido, sobretudo, como afirmação de identidade. (D’AMBROSIO, 2004)

Para auxiliar na análise das fontes selecionadas, se optou pela Teoria Fundamentada em Dados, de Anselm Strauss e Juliet Corbin (2008), segundo a qual uma teoria é “*derivada de dados, sistematicamente reunidos e analisados por meio de processo de pesquisa*”. Essa base metodológica para dados de natureza qualitativa está em consonância com o anseio desta investigação, que é o de descrever documentos históricos e eventuais achados relativos às hipóteses lançadas nas questões de pesquisa, uma vez que sua sistemática permite alcançar significação, compatibilidade entre teoria e dados, rigor e verificação (ALVES *et al.*, 2017).

O conjunto de métodos a ser apresentado demonstra proximidade entre coleta de dados, sua análise e prováveis teorias (aqui tomadas como uma categoria de conceitos decorrentes da análise), pois tais etapas ocorrem de forma entrelaçada e recursiva, ou seja,

uma teoria pode requerer que mais dados sejam coletados, analisados e por ventura gerar outra teoria e/ou enriquecer a anterior. Tal processo é tomado quantas vezes forem necessárias, até que os investigadores estejam satisfeitos e entendam que conseguiram produzir um material sólido e, por consequência, coerente com os dados do qual foi extraído (STRAUSS; CORBIN, 2008).

A metodologia desenvolvida (*ibid.*) é muito mais ampla do que será relatado aqui, cuja descrição está simplificada e restrita aos conceitos interpretados como sendo mais pertinentes ao atual trabalho. Um dos primeiros métodos que integram a Teoria Fundamentada em Dados é a *amostragem teórica*, que consiste na coleta dos primeiros dados (VIEIRA, 2014), cabendo aos pesquisadores decidir quais serão coletados e onde procurá-los (PINTO; SANTOS, 2012). De acordo com Beltran, Saito e Trindade (2014), a pesquisa em História da Ciência costuma iniciar com o contato com as fontes secundárias, para se conhecer o tema, o que foi realizado sobre ele e as perspectivas historiográficas adotadas. Os procedimentos de realização da amostragem teórica para esta investigação foram descritos anteriormente na presente seção.

O passo seguinte é caracterizado pela *microanálise*, que tem princípio na leitura minuciosa, linha por linha, dos dados presentes na amostragem teórica (STRAUSS; CORBIN, 2008).

A microanálise envolve muito **exame e interpretação de dados**, cuidadosos e geralmente precisos. Quando dizemos “dados” queremos dizer entrevistas, notas de observações de campo, vídeos, jornais, memorandos, manuais, catálogos e outras formas de materiais escritos ou ilustrados (Silverman, 1993). Isolamos os dados e trabalhamos com fotos, palavras, frases, sentenças, parágrafos e outros segmentos de materiais. (*ibid.*)

Por conseguinte, a Teoria Fundamentada em Dados possui um caráter interpretativo, conforme destacado por seus autores na citação anterior, amparado na presente pesquisa nas perspectivas históricas atuais e pelos referenciais teóricos ao ensino e epistemológicos (Capítulo 3).

É durante a microanálise que são registradas as reflexões que germinam através de uma primeira leitura em formato de *memorandos*, pequenas anotações que auxiliam o pesquisador ou pesquisadora a comparar um pensamento inicial com *insights* que podem

surgir nas releituras (microanálises) subsequentes (VIEIRA, 2014), portanto, a teoria principal da pesquisa vai tomando forma a partir da *comparação teórica* entre conceitos anteriores e novos (STRAUSS; CORBIN, 2008).

O caráter recursivo, conforme aludido, é um forte atributo da Teoria Fundamentada em Dados, sendo necessárias novas revisões e releituras meticulosas do material coletado para que a construção dos conceitos e/ou categorias se inicie, pela comparação teórica entre ideias similares ou concorrentes, processo denominado *conceitualização*. Amostragem, microanálise, construção de memorandos e conceitualizações podem ocorrer continuamente, tantas vezes quanto necessário até que se atinja uma saturação teórica (CASSIANI; ALMEIDA, 1999), momento em que os conceitos elaborados, em princípio, se tornam maturados.

Toda a microanálise é guiada através de *questionamentos*, que consistem em “*um mecanismo analítico usado para abrir a linha de investigação e dirigir a amostra teórica*” (STRAUSS; CORBIN, 2008). No presente caso, os questionamentos são representados pelas questões-foco de pesquisa apresentadas na seção 2.3. Tais perguntas são fundamentais para o aprofundamento de uma teoria que resulta da análise, ou seja, uma tentativa de explicação das hipóteses levantadas a partir dos conceitos construídos através dos dados obtidos.

Uma vez atingida algumas conceitualizações, é possível estabelecer a *codificação* dos dados, que permite reconhecer quais conceitos advindos da(s) microanálise(s) estão relacionados com os questionamentos lançados e entre si próprios (PRIGOL; BEHRENS, 2019; CASSIANI; CALIRI; PELÁ, 1996). Um dos processos possíveis nessa etapa é a *codificação aberta*, na qual há a identificação e classificação dos conceitos elaborados, o que permite a criação de categorias de conceitos. Em um segundo momento, se dá a *codificação axial*, quando as categorias produzidas na codificação aberta são analisadas em torno de um eixo temático, geralmente relacionado ao problema da pesquisa, o que inicia sua tentativa de resolução (VIEIRA, 2014).

Neste estudo, os questionamentos levam em conta, por exemplo, o contexto histórico-sócio-cultural no qual houve a construção das fontes historiográficas, dessa forma, a microanálise pode possibilitar a percepção de uma amplitude de significados diferentes daquelas que as hipóteses iniciais podem suscitar, algo especialmente bem vindo na pesquisa em História da Ciência, dada a necessidade de evitar a redação de relatos simplificados e

distorcidos (MARTINS, 2006). Assim, a codificação tende a garantir a coerência das hipóteses em relação aos problemas de pesquisa, uma vez que lapida os conceitos emergentes dos dados e restringe a teoria ao foco inicial da investigação.

A microanálise inicial permitiu estabelecer, a partir da codificação aberta, duas principais categorias: uma que deu ênfase à trajetória de Cecilia Payne, focada nos obstáculos enquanto mulher cientista para poder fazer ciência; outra que se concentrou naquela que é interpretada como sua principal contribuição, oriunda de sua tese de doutorado, que foi mensurar a abundância relativa dos elementos químicos nas atmosferas estelares. Tais categorias serão analisadas em torno de seus eixos principais por meio da codificação axial (Capítulo 5) com a finalidade de responder os questionamentos lançados. Cabe salientar que, apesar da aparente cisão, não há uma divisão analítica entre tais categorias, pois tanto os personagens envolvidos, suas relações interpessoais e os conceitos físicos em si se fazem presentes em ambas, o que reforça o papel do caráter humano e do gênero de seus agentes como inseparável da construção da/na ciência (seções 3.5 e 3.6).

### **3.5. CONTRIBUIÇÕES DA EPISTEMOLOGIA DE LUDWIK FLECK**

A postura epistemológica formulada pelo médico polonês Ludwik Fleck<sup>14</sup> (1896 – 1961) na década de 1930, apresentada no seu livro *Gênese e Desenvolvimento de um Fato Científico* (FLECK, 2010), é contemporânea às ideias de Gaston Bachelard (1884 – 1962) e Karl Popper (1902 – 1994) e, como ponto em comum, igualmente realiza uma crítica ao método empirista-indutivista<sup>15</sup> enquanto único caminho possível para o progresso das ciências

---

<sup>14</sup> A cidade na qual Fleck nasceu, chamada Lviv, atualmente está em território ucraniano, contudo, já pertenceu a diferentes países, como Áustria, Polônia, a qual lhe confere sua nacionalidade, e a União Soviética. No início dos anos 1940, foi ocupada pelo regime nazista. Fleck foi afastado de seu trabalho na Universidade de Lviv e deslocado, com sua família, para o gueto judeu local. Posteriormente, foram aprisionados, passando por diferentes campos de concentração, nos quais ele era obrigado a trabalhar na produção de vacinas contra tifo. Fleck, sua esposa e filho sobreviveram aos horrores do holocausto. Ele veio a falecer em 1961, em decorrência de um infarto, na cidade de Ness-Ziona, em Israel (SCHÄFER; SCHNELLE, 2010; MIZRAHY, 2012).

<sup>15</sup> Resumidamente, o empirismo consiste na crença de que os conceitos científicos sempre têm sua origem na observação física dos fenômenos, na experiência imediata. Já o indutivismo reside no entendimento de que, após um grande número dessas observações, é possível conceber (generalizar) que o fenômeno terá sempre o mesmo resultado, ou seja, a partir de uma coleção de eventos particulares seria possível criar um enunciado geral. Tais posicionamentos, que propõem a existência de uma ciência neutra, desapegada de interesses, foram fortemente

e delimitação do que é ou não científico (DELIZOICOV; DELIZOICOV, 2012; MASSONI; MOREIRA, 2015).

Fleck desenvolveu um posicionamento precursor que considera e valoriza a dimensão social e histórica do conhecimento como fator intrínseco do fazer ciência, o analisando como produto do pensamento e das interações humanas (DELIZOICOV *et al.*, 2002; CONDÉ, 2018), motivos pelos quais vem, há alguns anos, conquistando sólida presença na pesquisa em ensino de ciências no país, em vertentes como formação de professores e emergência de um fato científico (SOUZA; MATOS, 2016; LORENZETTI; MUENCHEN; SLONGO, 2018; CHICÓRA; ALVES; CAMARGO, 2018). Na presente investigação, serão apresentadas, de forma sucinta, algumas das categorias centrais desta postura, que auxiliarão na interpretação dos documentos históricos coletados a respeito de Cecília Payne, em especial a construção de suas contribuições científicas em meio ao e na relação com seu coletivo durante seu doutorado (Capítulo 5).

Para Fleck (2010, p. 85), o “*processo de conhecimento representa a atividade humana que mais depende das condições sociais, e o conhecimento é o produto social por excelência*”. Por consequência, negar a coletividade do empreendimento científico seria um equívoco, uma vez que, para o pensador, é dessa maneira que os saberes germinam e se transformam. Por esse princípio, dois conceitos fundamentais tomam forma, o *coletivo de pensamento* e o *estilo de pensamento*.

Por coletivo de pensamento, se entende o agrupamento de pesquisadores e pesquisadoras que possuem linhas de investigação, interesses, linguagens, práticas, objetivos, crenças, dentre outros aspectos, em comum, no caso, compartilham estilos de pensamento (*Ibid.*). Por exemplo, docentes de Física podem compor um coletivo de pensamento, bem como poderiam se dividir em unidades menores, como o coletivo de pensamento do Ensino de Física, ou o coletivo de pensamento da Astrofísica, da Física Teórica e assim por diante. De forma menos vaga, os estilos de pensamento são entendidos como “*pressupostos de pensamento sobre o qual o coletivo constrói seu edifício de saber*” (SCHÄFER; SCHNELLE, 2010), sendo eles que condicionam a criação dos coletivos de pensamento (MASSONI; MOREIRA, 2015), ou seja, orientam sua formação e direcionam seus sentimentos e ações

---

criticados pelas chamadas *epistemologias do século XX*, sendo consideradas, por esse ponto de vista, como superados, pois tais epistemologias admitem um caráter amplo para a origem do conhecimento científico (OSTERMANN, CAVALCANTI, 2011).

(FLECK, 2010). No entanto, os coletivos de pensamento também constroem e modificam estilos de pensamento, tendo em vista que esses são produtos sociais e históricos de suas interações (CONDÉ, 2018). Logo, há uma influência mútua entre ambos.

É assim que, para Fleck, ocorre a evolução da ciência, pois os estilos de pensamento estão atrelados ao “*desenvolvimento histórico das ideias e conceitos*” (MASSONI; MOREIRA, 2015), se transformando e abarcando novos conhecimentos ou originando novos estilos de pensamento (SAITO, 2020), o que está imbricado às movimentações do coletivo de pensamento. Da mesma forma, os coletivos podem ser momentâneos ou estáveis, dado o dinamismo dos estilos de pensamento.

Quando as mudanças do conhecimento e, por consequência, do estilo de pensamento provém de elementos claramente perceptíveis da história cultural, diz-se que há um *acoplamento ativo*, ou seja, que resulta da ação direta dos entes pertinentes ao coletivo de pensamento. No entanto, há momentos que desencadeiam resultados inevitáveis, decorrentes dos caminhos tomados anteriormente, o que acarreta um *acoplamento passivo*, que transmite uma noção de realidade, contudo é uma implicação do acoplamento ativo, não possuindo natureza histórica (MARTINS, 2020).

Fleck (2010) entende que para investigar a base de qualquer conhecimento é preciso identificar as pressuposições ativamente adotadas e as decorrentes relações passivamente derivadas, cujas mudanças ganham propósito na análise do estilo de pensamento, que conduz às disposições do coletivo de pensamento.

Dada a essência do conceito de coletivo de pensamento na visão fleckiana, fica posto como fundamental, portanto, que o progresso científico não ocorre prioritariamente pelo esforço de mentes privilegiadas e pesquisas tomadas de modo isolado do mundo, pelo contrário, seus construtos decorrem desses coletivos, do intercâmbio de conhecimentos, suas confrontações e seu arcabouço histórico.

Sem dúvida, a história da ciência registra também façanhas independentes e pessoais, por assim dizer. Mas sua independência se deve apenas à falta de colaboradores e ajudantes, eventualmente de modelos, ou seja, à concentração original e autônoma de influências coletivas históricas e contemporâneas. Em analogia precisa com as façanhas pessoais em outras

áreas sociais, também as das ciências só tem durabilidade quando exercem um efeito sugestivo, isto é, quando surgem num momento social favorável. (FLECK, 2010, p. 88)

Inerentemente ao coletivo de pensamento, haveria dois grupos distintos. Em um lado, formando o *círculo esotérico* (interno), encontram-se as pessoas que estão iniciadas na área, que passaram por seus ritos, logo estão apropriadas dos estilos de pensamento e dos conhecimentos necessários – são os especialistas de uma dada área do conhecimento, por exemplo. Esse grupo é validado por seus saberes pelo *círculo exotérico* (externo), composto por sujeitos leigos que têm interesse na área, contudo sem terem se tornado especialistas (PFUETZENREITER, 2002). A confiança que o círculo exotérico dedica ao esotérico estabelece um fortalecimento do coletivo de pensamento através das gerações, implicando uma coerção do estilo de pensamento (FLECK, 2010).

O conhecimento transmitido do círculo esotérico ao exotérico tem caráter simplificado, com omissão de detalhes, linguagens técnicas e generalizações, com a intenção de se tornar apto ao seu entendimento. Esses grupos não são fixos, podendo os integrantes do círculo esotérico de determinado coletivo de pensamento pertencer ao círculo exotérico de outro. Tal característica é benéfica por favorecer a circulação do conhecimento, seja de forma *intercoletiva* (entre coletivos de pensamento distintos) ou *intra-coletiva* (interna a um mesmo coletivo) (SCHÄFER; SCHNELLE, 2010; PFUETZENREITER, 2002).

As interações dos indivíduos com esses conhecimentos de um coletivo de pensamento se dão em dois níveis. Primeiramente, há uma visão imprecisa, ingênua, fruto do desconhecido, que é seguida por uma *visão da forma*, mais complexa e direcionada. A visão da forma ocorre devido à iniciação a um coletivo de pensamento, que a princípio pode se dar de maneira mais dogmática do que crítica, na qual o novato passa a conhecer seus estilos de pensamento e sofrer sua influência, diferenciando o seu ver anterior (SCHÄFER; SCHNELLE, 2010). Fleck (2010) demonstra tal pensamento a partir da iniciação à Física, cuja rigidez aos conceitos se tornou natural a ponto de passar a ser imperceptível para quem se submeteu a ela.

Esse campo [*aqui se referindo à Medicina*], que é um mundo em si mesmo, não pode ser, portanto, completamente descrito em palavras, como tampouco o pode ser qualquer outro campo do saber científico. As palavras em si não possuem um significado fixo e recebem seu significado somente no contexto, numa área de pensamento. Essa matização do significado das palavras somente pode ser sentida por meio de uma “introdução”, seja ela histórica, seja didática. (*ibid.*, p. 98)

A introdução histórica, dada a capilarização e emaranhamento de inúmeros conceitos, e a introdução didática, pautada dogmaticamente, são ações não explicadas de forma puramente racional, pois direcionam o desenvolvimento do conhecimento a uma complexidade, cujas origens, por vezes, se tornaram desconhecidas, ou seja, não podem ser atribuídas a um desencadeamento lógico de premissas do passado. Assim, a história do conhecimento permite passar “*conceitos pouco claros e indefiníveis*” (*ibid.*, p. 98), os quais se ramificam no *fato científico*.

O fato científico é notado, primeiramente, como “*um sinal de resistência no pensamento inicial caótico, depois uma certa coerção de pensamento e, finalmente, uma forma [...] a ser percebida de maneira imediata*” (*ibid.*, p. 144). Portanto, o fato científico emerge desde o contato primordial com as ideias pertinentes ao estilo de pensamento, a princípio de modo pueril e resistente, o qual é posteriormente direcionado pelo coletivo de pensamento, vislumbrando a percepção ou visão da forma, por sua vez dependente de um contexto histórico. Por conseguinte, o fato científico representa tanto um “*acontecimento da história do pensamento*” (FLECK, 2010, p. 133), como assume um valor de regra internamente ao coletivo de pensamento (CURI; SANTOS, 2011).

Pode-se notar, então, que a epistemologia de Fleck não considera a História da Ciência como algo relevante somente para uma ilustração de conceitos ou como mera curiosidade, uma vez que ela integra sua postura ao se considerar a existência de um caráter histórico do saber como integrante ao fato: considera que “*qualquer teoria do conhecimento sem estudos históricos ou comparados permaneceria um jogo de palavras vazio, uma epistemologia imaginária*” (FLECK, 2010, p. 62).

Esse princípio se torna mais evidente a partir do conceito de *protoideia*, ou *pré-ideia*, que considera que fatos atuais guardam consigo aspectos de conhecimentos anteriores (MARTINS, 2020). Fleck (2010) cita, como exemplo, o atomismo de Demócrito como uma protoideia do conceito de átomo contemporâneo. No entanto, cuidado se faz necessário nesse entendimento, pois não há uma implicação de que conhecimentos do passado sejam uma etapa anterior dos atuais. Eles são, também, fatos científicos, compreendidos por seu coletivo de pensamento e os estilos que o regiam à época, ainda que em nosso tempo possam ser classificadas como equivocadas ou insuficientes.

As protoideias devem ser consideradas como pré-disposições histórico-evolutivas [...] de teorias modernas e sua gênese deve ser fundamentada na sociologia do pensamento [...].

A objeção de que, na história, ocorreria um grande número de ideias mais ou menos confusas, das quais a ciência simplesmente adotaria as “corretas” e descartaria as “incorretas”, é insustentável. (*ibid.*, p. 66)

Nesse sentido, expor o caráter evolutivo das ideias se sustenta na concepção de que o conhecimento que compõe o fato científico floresce do desenvolvimento da história do pensamento humano, de conceitos ancestrais e das interações sociais que alimentam “*uma tendência à persistência dos sistemas de opinião*” (*ibid.*, p. 72), o que vai ao encontro de estudos que se embasam nas perspectivas historiográficas atuais e objetivam valor ao ensino significativo e crítico, como se pleiteia a partir da presente investigação.

Essa tendência à persistência estaria presente no processo do conhecimento, que “*se desenvolve somente nesta e em nenhuma outra sequência: somente uma teoria clássica com suas conexões plausíveis (a saber: enraizadas na época), fechadas (a saber: restritas) e propagáveis (a saber: conforme ao estilo) possui um poder promovedor*” (*ibid.* p.72), ou seja, uma sequência que considera o papel da própria tendência à persistência, do coletivo de pensamento e do estilo de pensamento. Em específico, ao se analisar as contribuições de Cecilia Payne para a composição estelar, o referencial fleckiano aponta que é necessário não apenas situá-las histórica e contextualmente, como também conhecer a história pregressa dos conceitos pertinentes, como aspectos básicos da espectroscopia, da incipiente estrutura

atômica e da identificação dos elementos químicos nas atmosferas estelares, e conectá-las ao seu coletivo de pensamento (como será tratado nos Capítulos 4 e 5).

A título de exemplo, Fleck (2010) expõe que os atlas de anatomia têm raízes na antiguidade, contudo as representações pictóricas eram realizadas conforme o estilo de pensamento da época, o que não necessariamente estaria em conformidade com a natureza. Dessa maneira, ilustra a tendência à persistência do estudo do corpo humano e sua estrutura, porém como atinentes ao seu período, incluindo suas doutrinas. *“Nas ciências exatas, assim como na arte e na vida, não existe outra fidelidade à natureza senão à fidelidade à cultura”* (*ibid.*, p. 76).

O processo de persistência de um conhecimento é ativo (MASSONI; MOREIRA, 2015), relacionado à ação dos membros do coletivo. Inicialmente, os conhecimentos não possuem contradições, sendo enraizados no estilo de pensamento, ignorando-se relações externas. Essa fase ou época é chamada de *época clássica*, na qual os estilos de pensamento são bem acolhidos e se demonstram funcionais ao coletivo.

Por outro lado, quando se percebem contradições ou limitações dos conhecimentos, busca-se silenciá-las, até o ponto em que o problema detectado se torna relevante, não mais podendo ser ignorado pelo coletivo de pensamento, período conhecido como *época das complicações* (TESSER, 2008). Essa exceção, em certo ponto, acaba por ser acolhida e explicada pelo coletivo, o que abre caminho para a mutação ou elaboração de estilos de pensamentos novos, conforme já mencionado. Assim, os estilos de pensamento possuem um caráter evolutivo, havendo ligações entre estilos antigos e atuais (CONDÉ, 2018), guardando traços da história evolutiva do conhecimento e, por isso, mantendo uma coesão histórica do estilo de pensamento (FLECK, 2010).

Esse traço característico, da relevância dada à história e ao meio social no desenvolvimento da ciência, tem garantido certo destaque à epistemologia de Fleck no ensino das ciências de modo geral. Massoni e Moreira (2015) entendem que as categorias presentes em tal epistemologia expressam *“uma concepção construtivista do saber”*, uma vez que o conhecimento é interpretado enquanto um produto social, e subsidiam reflexões críticas sobre a natureza da ciência, em consonância com Chicóira, Alves e Camargo (2018), que apontam sua importância na oposição à concepção empirista, ainda muito atual no ensino. Souza e Matos (2016), em revisão de trabalhos referentes à formação de professores em programas de

pós-graduação *stricto sensu*, apontam que seu papel na identificação e enfrentamento de lacunas presentes na formação inicial e continuada de professores de ciências referentes à História e Filosofia da Ciência.

Lorenzetti, Muenchen e Slongo (2017), que monitoraram a aplicação da postura epistemológica de Fleck em pesquisas em educação em ciências em um período de 21 anos, perceberam dentre as principais justificativas, por exemplo, “*identificar o caráter sócio-histórico-cultural da produção do conhecimento*”, “*compreender a interação dos coletivos de cientistas e, neste processo, o papel da circulação de conhecimentos e práticas na produção do conhecimento*” e, sendo unânime entre as pesquisas avaliadas, “*identificar e caracterizar modos de conceber e atuar na pesquisa e no ensino, de acordo com uma perspectiva histórica que inclui o tempo presente*”.

Nessa perspectiva, tal artigo também apresentou as possibilidades que a Epistemologia de Ludwik Fleck traz para o enfrentamento das possíveis lacunas presentes na formação inicial de professores de ciências e em seus aspectos curriculares; na prática de ensino dos professores em formação inicial e continuada; também na análise, produção e desenvolvimento dos materiais didáticos utilizados pelos docentes, bem como na capacitação dos professores formadores de novos docentes e nas configurações curriculares dos diferentes cursos de formação de professores nas especificidades de cada Instituição de Ensino Superior e nos Estilos de Pensamento presentes em cada Instituição<sup>16</sup>.

Conforme colocado na seção 2.3, e dadas as relações apontadas há pouco, um dos objetivos desta investigação está em produzir uma pesquisa em História da Ciência que suscite seu uso no ensino. A postura defendida por Fleck sobre o processo histórico, social e evolutivo dos conceitos e teorias científicas, considerando essa visão, mostra coerência com o referencial de ensino adotado, bem como com as tendências historiográficas atuais. Assim, se soma às bases escolhidas também com a perspectiva de tornar a presente tese adequada aos seus anseios.

---

<sup>16</sup> Um exemplo de reestruturação da configuração curricular de um curso de formação de professores de Física em uma Instituição de Ensino Superior brasileira, que revela o estilo de pensamento do respectivo coletivo de pensamento, bem como de certas tensões internas inerentes ao processo em um momento de mudanças, pode ser encontrado em Massoni, Bruckmann e Alves-Brito (2020).

### **3.6. CONSIDERAÇÕES DA CRÍTICA FEMINISTA DA CIÊNCIA DE LONDA SCHIEBINGER**

Londa Schiebinger, historiadora da ciência nascida em 1952 na cidade de Lincoln, nos Estados Unidos, lançou em 1999 o livro *O feminismo mudou a ciência?* (SCHIEBINGER, 2001), no qual realizou uma análise de abordagens acadêmicas de seu país, o mesmo onde Cecilia Payne viveu e trabalhou a maior parte de sua vida, que relacionam aspectos do feminismo e da organização das ciências para responder à pergunta lançada em seu título. Schiebinger (2001), ao sintetizar que “*filósofos e historiadores da ciência analisam a influência do gênero sobre o conteúdo e os métodos das ciências*” (p. 20), fornece um princípio norteador para o emprego da crítica feminista na presente investigação, dado que, conforme defendido até este ponto, a trajetória e o reconhecimento do papel de Cecilia Payne como astrônoma estão impactados por seu gênero.

Uma das motivações de Schiebinger consistia em entender que a literatura direcionada à relação entre gênero e ciência se encontra espalhada por diferentes searas, não chegando em quem tem a necessidade de refletir sobre suas práticas e crenças, no caso, os próprios cientistas. Assim, tal saber seria:

[...] ainda pouco conhecido entre os cientistas, às vezes, mesmo entre aqueles com intenso interesse no tópico. Falta de tempo e os rigores do laboratório são razões claras. Mas, mais do que isso, essa literatura é por vezes difícil – escrita na linguagem especializadas e, às vezes esotérica, frequentemente exigida dos humanistas acadêmicos para progresso dentro de sua opinião. (*ibid.*, 2001, p. 20)

Neste ponto, a crítica de Schiebinger remete à epistemologia de Fleck, pois demonstra que um obstáculo para a circulação do conhecimento inter e/ou intracoletivo entre o círculo esotérico (aqui, filósofos e historiadores da ciência) e exotérico (nesta situação específica, cientistas), no caso uma linguagem especificamente dominada pelo primeiro grupo, atuaria como elemento que dificulta a percepção do impacto do pensamento feminista na ciência.

Mesmo entre críticos do feminismo, há um acordo de que as mulheres devem receber oportunidades similares às dos homens em suas carreiras, que as pensadoras devem ser restauradas em lugares de destaque na história, objetivo particularmente comungado pela presente investigação, e que exclusões da ciência com base em gênero ocorreram em seu curso, contudo, apontariam que o feminismo não agregou nada de concreto no que chamou de *substância da ciência*, colocação que se torna outro motor para sua análise (*ibid.*, p.21).

Schiebinger (2001, p.22) inicia uma distinção entre o *feminismo liberal*, também chamado de *feminismo científico*, e o *feminismo de diferença*. O feminismo liberal entende que as mulheres devem estar em pé de igualdade para competir com os homens, pois ambos os gêneros seriam iguais. Para tal, deveriam se dotar das mesmas habilidades masculinas para serem inseridas na ciência. Por sua vez, o feminismo de diferença entende que há, sim, diferenças entre mulheres e homens do ponto de vista cultural, portanto, a ciência igualmente deve ser repensada para receber as mulheres, pois foram seus métodos que as excluíram.

O feminismo de diferença também tendia a reavaliar qualidades que nossa sociedade desvaloriza como “femininas”, tais como subjetividade, cooperação, sentimento e empatia. E a nova corrente do feminismo argumentava que, para as mulheres se tornarem iguais na ciência, eram necessárias mudanças, não apenas nas mulheres, mas também nas aulas de ciências, nos currículos, laboratórios, teorias, propriedades e programas de pesquisa. (*ibid.*, p. 24)

O feminismo de diferença e as chamadas Epistemologias do Século XX, de modo geral, guardariam certa semelhança, pois algumas de suas qualidades gerais, como subjetividade e sentimento, ditas “femininas”, são as mesmas vistas como abjetas pelo método científico empirista-indutivista, que, alinhado à historiografia tradicional e à promoção dos grandes heróis das ciências, prezam justamente pela objetividade e racionalidade, valores vistos como masculinos na sociedade ocidental. A proposta de reavaliar as aulas de ciência e currículos também vai ao encontro da valorização da História da Ciência no ensino, cujo poder de contextualização auxiliaria em sua readequação para inclusão destas reflexões. Nesse sentido, Schiebinger (2001) coloca que o feminismo de diferença foi útil ao demonstrar

que a ciência não é neutra em gênero, uma vez que, com o passar do tempo, legalmente ou não, excluiu qualidades ponderadas como femininas, estando essas características impregnadas na constituição da ciência em si (p. 26).

Algumas críticas recaem sobre o feminismo de diferença, pois por vezes é criada uma categoria de “mulher universal”, que não considera pontos como “*diferentes classes, raças, orientações sexuais, gerações e países; [pois] as mulheres têm diferentes histórias, necessidades e aspirações*” (*ibid.*, p.26), bem como há o risco de uma romantização das qualidades “femininas”, de forma a se alinhar a estereótipos comuns do que seria de mulher ou homem, o que pode ser combatido através da construção histórica das diferenças de gênero.

Outra armadilha estaria em tentar remodelar a ciência através dessas características “femininas” e considerar que haveria uma outra ciência, caso ela fosse prioritariamente constituída por mulheres ao longo de sua história. Schiebinger (2001, p. 31) pondera que este não deveria ser o foco, uma vez que estaria no campo das hipóteses, e sim investigar como a ciência é realizada e como o feminismo auxilia neste processo no momento presente.

É tempo de voltar-se, ao invés disso [*referindo-se a diferenças historicamente elaboradas entre mulheres e homens*], para instrumentos de análise pelos quais a pesquisa científica possa ser desenvolvida, bem como criticada em linhas feministas. Eu não proponho esses instrumentos para criar alguma ciência “feminista” especial, esotérica, mas sim para incorporar uma consciência crítica de gênero na formação básica de jovens cientistas e no mundo rotineiro da ciência. (*ibid.*, p.31)

Um dos pontos para fomentar a participação feminina na ciência, considerando suas centenas de anos de exclusão, estaria, principalmente, em reconsiderar estruturas da própria ciência (*ibid.*, p.37). A discussão entre diferenças ou estereótipos entre mulheres e homens, nesse caso específico, não seria muito fortuita, pois, poderia contribuir para colocar as mulheres como culpadas de seu local atual na ciência. Por exemplo, considerar que não ganham destaque porque não se esforçam o suficiente, ou não publicam tanto quanto os homens, porque são detalhistas em excesso e isso diminui sua produtividade, entre outros. O

que poderia inverter essa balança, no entanto, seria considerar as décadas de estudos feministas sobre a carreira de mulheres cientistas, para enxergar como o funcionamento da própria ciência guarda características que privilegiam os homens e, por consequência, relegam às mulheres o papel de coadjuvantes nesse campo, por exemplo, como Rossiter (1993) faz ao apontar o acúmulo de vantagens dos homens em detrimento do apagamento sistemático das contribuições femininas, cujo espaço para aquisição de fomentos para pesquisa e sua divulgação é mais restrito.

Para compreender a origem e realizar a crítica dessa estrutura, Schiebinger (2001) se volta para a história da participação das mulheres na ciência, para demonstrar que elas não só podem como participaram da ciência, pois muitos ainda tendem a crer que as mulheres cientistas surgiram somente no século XX. Uma das obras que contrapõe essa crença data de 1405, na qual a escritora Christine de Pisan (1364 – 1430) se preocupou em fornecer relatos que atribuíam às mulheres a invenção da fabricação do pão, do tingimento de lã, tapeçaria, jardinagem e o cultivo de grãos, mostrando a antiguidade da presença feminina e a relevância dessas contribuições. Do século XIV ao XIX, outras obras, de caráter enciclopédico, se dedicaram a registrar os feitos de diversas cientistas (p. 55).

Em relação às universidades europeias, pouquíssimas mulheres conseguiram acessá-las desde sua criação, no século XII, até o século XIX. Algumas dessas exceções ocorreram na região da atual Itália, onde algumas mulheres ganharam reconhecimento em Física e Matemática, como a física Laura Bassi (1711 – 1778), que tornou-se professora na Universidade de Bolonha (*ibid.*, p. 61). Depois dela, a segunda mulher a ser contratada como professora na Europa foi a matemática Sofia Kovalevskaya (1850 – 1891), em 1889, na Universidade de Estocolmo, na Suécia (*ibid.*, p. 63).

Fora da academia, mulheres abastadas tinham contato com a ciência na França no século XVIII, quando era tratada como moda em encontros literários. Muitas delas eram esposas ou filhas de homens cientistas, assim poderiam trabalhar junto a seus parceiros ou familiares, como é o caso da química Marie-Anne Pierrette Paulze (1758 – 1836), também conhecida como Madame Lavoisier, contudo eram proibidas de frequentar as sociedades científicas (*ibid.*, p. 66). Na Alemanha, no mesmo período, a Astronomia era vista como atividade de artesãos, o que fazia com que pessoas de classe menos abastadas garantissem sua manutenção. Era comum que mulheres realizassem observações, geralmente com seus cônjuges, e trabalhassem em tarefas e problemas em mesmo nível de igualdade. Contudo,

quando a Astronomia ganhou apreço das classes aristocráticas, passando a integrar as sociedades científicas formais, as mulheres perderam esse local (*ibid.*, p. 68).

Esse período, que marca a profissionalização da ciência moderna, está caracterizado pela cisão entre a *esfera privada* e a *esfera pública* das atividades laborais. A ciência se concentrou na esfera pública das universidades e indústrias, onde os cargos principais foram ocupados por homens, enquanto as mulheres foram relegadas para a esfera privada do trabalho doméstico (*ibid.*, p.69). O período do Iluminismo, especialmente com a publicação da *Declaração dos Direitos do Homem e do Cidadão*, que afirmava que “*todos os homens são iguais por natureza*”, fortaleceu a exclusão feminina das academias e universidades. A base científica, empregada em estudos biológicos que buscavam comprovar quais características anatômicas faziam com que as mulheres tivessem menos aptidão para tarefas intelectuais, teve papel significativo nesse empreendimento (*ibid.*, p. 41). Assim, as universidades e outras instituições foram moldadas pelos/para homens que, ao retornarem para casa de seu serviço, não precisariam lidar com cuidados do lar e da família, trabalho oculto, visto como menos importante, inclusive não-remunerado, porém imprescindível para o progresso das carreiras dos homens cientistas (*ibid.*, p. 70).

Com a crescente profissionalização da ciência, as mulheres que queriam seguir carreiras científicas tinham duas opções. Elas podiam tentar seguir o curso de instrução e certificação pública através das universidades, como seus equivalentes masculinos. Essas tentativas, como sabemos, não tiveram êxito, até a virada do século XX. Ou elas podiam continuar a participar no interior da (agora provada) esfera familiar como assistentes cada vez mais invisíveis dos maridos ou irmãos cientistas. Essas mulheres talentosas, entre elas Margaret Huggins (esposa do astrônomo britânico William Huggins), Edith Clements (esposa do ecologista Frederic Clements), e talvez, também, Mileva Maric (esposa de Albert Einstein), contribuíram silenciosamente para as carreiras de seus maridos, um fenômeno que persiste ainda hoje. (*ibid.*, p.70)

Esse cenário teria feito com que os casamentos heterossexuais servissem, de certa forma, como uma porta que mulheres tiveram para acessar o conhecimento científico, não

tendo encontrado Schiebinger (2001) relatos que apontassem vantagens ou desvantagens na carreira profissional em relacionamentos entre lésbicas. O acesso à universidade iniciou com um pouco mais de ênfase, após o movimento de mulheres, nas décadas de 1870 e 1880, chegando mais fortemente aos programas de doutorado no século XX (p. 71).

Um crescimento significativo da participação feminina nas ciências e engenharias ocorreria somente nos anos 1970, fruto dos avanços dos movimentos feministas e das tensões da guerra fria, que obrigou alguns governos ocidentais a investir no estímulo à formação de mulheres cientistas e de minorias étnicas para suprir sua demanda profissional (*ibid.*, p. 73).

Ao mesmo tempo, o número de trabalhos que se dedicaram à história das mulheres na ciência também aumentou, fruto das profissionais que conseguiam atingir posições de estabilidade e destaque em suas carreiras e através da publicação de autobiografias de mulheres cientistas, “*fornecendo relatos de primeira mão de sua luta para deixar uma marca na ciência*” (*ibid.*, p. 58). Schiebinger (2001) cita em nota de rodapé a autobiografia de Cecilia Payne, publicada de forma privada em 1979, como uma dessas obras. Ela também salienta que a emergência da História da Ciência enquanto disciplina independente, nas décadas de 1920 e 1930, mesmo se preocupando em relacionar ciência e sociedade, ignorou o papel das mulheres, não contribuindo para tornar tais discussões mais relevantes nos coletivos da época (p. 58)

Ainda que o número de mulheres na ciência tenha aumentado, há fatores que não são puramente apresentados pela estatística. Certa crítica recai sobre programas de incentivo à participação das mulheres nas ciências que visam apenas seu ingresso nas universidades, pois não se trata de dar às mulheres as mesmas oportunidades que os homens, mas garantir a equidade de direitos. Certamente, incentivar o ingresso de mulheres nas ciências não é negativo, contudo, nos EUA nos anos 1980, eram necessários 400 meninos concluintes do equivalente ao Ensino Fundamental brasileiro para que um doutor em ciências fosse formado. Esse número subia para 2000 meninas para uma doutora (*ibid.*, p. 116).

Dessa forma, o problema não estaria somente em alimentar uma chamada “linha de abastecimento”, mas em “*remover quaisquer impedimentos culturais prolongados ao sucesso das mulheres nas ciências*” (*ibid.*, p. 131). Entre esses impedimentos, estão os denominados por Rossiter (1982) como a *segregação hierárquica*, equivalente ao já discutido “efeito tesoura”, a *segregação territorial* e a *segregação institucional*. Essa autora descreve dois

contextos gerais que fixaram os limites das conquistas das mulheres para ascender na ciência na primeira onda feminista (final do séc. XIX ao início do séc. XX): primeiro, o lugar de subordinação que as mulheres ocupam historicamente e que resulta na invisibilidade de suas contribuições, não como consequência da sua falta de capacidade, mas sim como fruto do mascaramento intelectual de sua presença na ciência; segundo, diz respeito à profissionalização da ciência e tecnologia estadunidenses, processo que fez com que, embora as mulheres tenham conquistado certo direito à educação e um incremento (na década de 1940) da possibilidade de empregos, isso se deu ao preço de aceitarem trabalhos segregados e de reconhecimento insuficiente, de forma que a relação entre a instrução das mulheres e suas oportunidades de emprego e prestígio não fosse igual a dos homens (ROSSITER, 1982).

Em relação à segregação territorial, se entende que há determinados locais que foram naturalizados para certos indivíduos, porém não para outros. Por exemplo, enquanto nos EUA a maioria das mulheres brancas se tornam enfermeiras, diaristas ou professoras primárias, as mulheres negras compõem o grupo de arrumadeiras, faxineiras e auxiliares em geral (SCHIEBINGER, 2001, p. 77). Na academia, a segregação territorial informa os espaços ocupados pelos homens e pelas mulheres, sendo que elas ficam concentradas nas ciências relatadas por Schiebinger (2001) como “leves”, como ciências da vida, do comportamento e sociais, respectivamente menos remuneradas. A primatologia, vista como uma ciência nova e marginal, é uma das áreas que autoriza que a maioria das participantes sejam mulheres, lhes permitindo atingir postos de destaque, como é o caso de Jane Goodall, nascida em 1934 (*ibid.*, p. 179). À medida que uma área se torna mais prestigiosa, e conseqüentemente mais valorizada financeiramente, ela se torna prioritariamente ocupada por homens, garantindo salários maiores (p. 78).

A segregação institucional, por sua vez, é aquela na qual as mulheres até podem conquistar espaços como professoras e estudantes de doutorado nas universidades, contudo nas que possuem menor *status*. Como exemplo, a primeira professora de Química foi admitida na Universidade de Harvard somente em 1989 e a primeira de Física em 1992 (*ibid.*, p. 80). Cecilia Payne enfrentou realidade parecida, pois se tornou a primeira professora da história dessa mesma instituição em 1956, após mais de trinta anos de trabalho no local (PAYNE, 1996).

Fatores relacionados à menor produtividade acadêmica também são utilizados para justificar que as mulheres têm menor reconhecimento, inclusive financeiro, por terem índices

de publicação e de citação mais baixos (SCHIEBINGER, 2001, p. 98), acusando programas de fomento ao acesso feminino às universidades como uma forma de “discriminação inversa”, pois não recompensariam quem verdadeiramente teria mérito (*ibid.*, p. 99). Cabe ressaltar que, além da menor representação, que por si só já embasaria números mais baixos relacionados à produtividade, há fatores sociais que permeiam o reconhecimento feminino. O fato de ser casada ou ter filhos influencia nas oportunidades de colaboração com homens cientistas, sendo mais fácil eles colaborarem com mulheres casadas, o que afastaria rumores de casos extraconjugais ou assédios, e sem filhos, pois assim elas supostamente teriam mais tempo para a pesquisa (*ibid.*, p.102). Mesmo as mulheres que conseguem ser mais produtivas têm mais dificuldades de reconhecimento, sendo necessário produzir o triplo que seus pares homens para, eventualmente, atingir o mesmo nível de aprovação (*ibid.*, p. 103).

Os homens, enquanto grupo, produzem mais do que as mulheres estatisticamente numa proporção tão alta porque alguns poucos homens bem situados produzem maior número de *papers*. Esses homens se beneficiam do que os sociólogos chamam “vantagem cumulativa” – aqueles que se saem bem profissionalmente acumulam os recursos para se saírem ainda melhor no futuro. Os homens tendem mais a estar entre a elite acadêmica, aqueles que detêm cadeiras, financiamentos generosos, laboratórios espaçosos e modernos, colaboradores através do mundo, são membros de academias nacionais e estrangeiras e ganham prêmios prestigiosos. As mulheres, em contraste, tendem a ter mais dificuldades para se vincular a esse mundo; elas sofrem de “desvantagem cumulativa”, ou discriminação sutil, inquantificável. (*ibid.*, p. 103)

Não raramente, mulheres que conseguiram formar uma carreira acadêmica a abandonam, em um número duas vezes maior que homens. Dentre os motivos, estão não receber convites para reuniões profissionais, precisar fazer um esforço maior para serem vistas com a mesma competência que colegas homens, equilibrar família e trabalho, pois mesmo tendo uma jornada profissional a esfera privada permanece sob suas responsabilidades, ocultar uma gravidez até o ponto que fosse possível, enfrentar dificuldades de progredir no trabalho e discrepâncias salariais (*ibid.*, p. 130).

A tradição do pensamento ocidental, de certa forma, não apenas excluiu as mulheres dos espaços da ciência como, ao não ter alternativas a não ser permitir sua entrada, colocou empecilhos para sua participação, avanço na carreira e permanência institucional. Nações vistas como “avançadas” possuem indicadores de participação das mulheres nas ciências piores, por vezes, que outros vistos como em desenvolvimento (conforme também abordado na seção 1.3) (*ibid.*, p. 86). Contudo, tradições indígenas mostram que mulheres participam de atividades que possuem importância em suas culturas, como o caso da população andina Quechua, na qual são as mulheres as responsáveis pela seleção das sementes de tipos de milho e batata, que com o tempo conseguiram tornar tais espécies maiores, modificando o conhecimento biológico e agrícola sobre tais plantas (*ibid.*, p. 94). Entretanto, quando essas mesmas sementes são estudadas em laboratórios operacionalizados dentro do estilo ocidental, tal trabalho é entregue aos homens (*ibid.*, p. 96).

Ainda que se tenha reivindicado neutralidade para a ciência, sendo alçada ao posto de conhecimento que designa a busca da verdade, tal posição foi criticada pela Epistemologia da Ciência do século XX, no que tange a natureza da ciência, porém nunca em relação aos gêneros. Francis Bacon (1561 – 1626), idealizador do método científico empirista-indutivista, conclamou o desenvolvimento de uma filosofia masculina (*ibid.*, p. 138), portanto, o germe da ciência moderna estaria envolto em valores vistos como superiores e relacionados aos homens, como racionalidade, objetividade e neutralidade. Nesse sentido, se ergueu uma cultura científica que, nos costumes ocidentais, estruturalmente não caberia às mulheres.

Uma cultura é mais que instituições, regulamentações legais governando uma profissão, e uma série de graus ou certificados. Ela consiste nas assunções e valores não formulados de seus membros. Apesar de reivindicações de neutralidade de valor, as ciências têm culturas identificáveis cujos costumes e modos de pensar se desenvolveram no decorrer do tempo. Muitos desses costumes tomaram forma na ausência das mulheres e, como veremos, também em oposição à sua participação. (*ibid.*, p. 139)

Os criadores desses costumes, códigos, linguagens, práticas e estilos de pensamento relacionados à ciência são, em sua ampla maioria, os homens. Isso levou ao que Schiebinger

(2001) denomina *generização* da ciência (p. 141), voltada ao gênero masculino, desde a profissionalização da ciência entre os séculos XVIII e XIX, que, em contraparte, promoveu a privatização dos serviços domésticos às mulheres. Mesmo nos dias de hoje, em que a exclusão deixou de ser legal, permanece de forma entrelaçada aos modos do fazer ciência. As mulheres ocidentais que conseguem estabelecer uma carreira científica vivem, nessa perspectiva, dividida entre dois mundos, o da ciência e o da condição de mulher, cujas expectativas e resultados são concorrentes (*ibid.*, p. 140).

O estabelecimento das esferas pública e privada integram esse processo de generização, ancorando-se na teoria da *complementaridade sexual*, na qual a diferença entre homens e mulheres é reconhecida, contudo na condição de opostos complementares. Se ao homem cabe a dureza do trabalho científico, a mulher o complementa com a delicadeza do cuidado do lar. Esta teoria fornece um verniz de que as mulheres não são vistas como inferiores aos homens, mas fundamentalmente diferentes para a manutenção dessa ordem social (*ibid.*, p. 142).

Devo definir, novamente, que não há nada natural ou necessário a respeito dessas características definidas pela cultura ocidental como femininas ou como científicas. Ideais de masculinidade, feminilidade e ciência desenvolveram-se historicamente, informados e respondendo à necessidade econômica de ter as mulheres servindo como administradoras dos afazeres domésticos e os homens trabalhando fora de casa, e pelo desejo político de ter apenas homens proprietários votando em democracias participativas. As características generizadas – comportamentos, interesses ou valores tipicamente masculinos ou femininos – não são inatas, nem tampouco arbitrárias. Elas são formadas por circunstâncias históricas. Elas também podem mudar com as circunstâncias históricas. (*ibid.*, p. 145)

As questões da generização da ciência repercutem em nossos dias. O estereótipo de cientista permanece sendo o masculino para grande parte da população, mesmo para as crianças (*ibid.*, p. 150); mulheres cientistas se desfazem de traços considerados femininos, como roupas da moda ou maquiagem, para serem vistas como mais respeitáveis em suas instituições (*ibid.*, p. 152), encontros de socialização, como eventos esportivos fora dos

espaços de trabalho, costumam privilegiar esportes de preferência masculina (*ibid.*, p. 169), a competitividade excessiva impregna a academia, elemento considerado alienador para as mulheres (*ibid.*, p. 172).

Outro ponto importante que embasa a generização da ciência é o de não considerar que cientistas podem engravidar. A maternidade ocupa o espaço da esfera privada, contudo, apesar da divisão, não há uma separação formal entre esfera pública e a vida doméstica (*ibid.*, p. 183). Mesmo com certos avanços, a responsabilidade pelos cuidados com as crianças recaem sobre as mães, o que se torna fonte de cobranças, pois ser “*cientista, esposa e mãe é uma carga em uma sociedade que espera que as mulheres, mais que os homens, ponham a família à frente da carreira*” (*ibid.*, p. 182). Como um reflexo, muitas cientistas acabam se casando com parceiros também cientistas, o que tende a lhes garantir melhores condições para manutenção da vida profissional. Nos EUA, no início dos anos 1990, 44% das físicas integrantes da Sociedade Americana de Física eram casadas com outros físicos, e 25% com cientistas de outras áreas (*ibid.*, p. 189)

Apesar da dificuldade existente na maior parte das ciências, Física e Matemática, vistas como mais tradicionais, também são aquelas que ainda hoje apresentam maior resistência em relação à participação feminina. Schiebinger (2001) aponta prováveis motivos, todavia assevera que essa é uma questão que necessita mais investigação. Por exemplo, se percebe que o feminismo consegue promover impactos mais notáveis em áreas que não tenham uma longa tradição de estarem ancoradas em epistemologias positivistas, bem como a visão que a Física transmite, de ser uma ciência dura, difícil, com alto uso da Matemática e de pensamentos abstratos, o que afastaria as mulheres (p. 295). Outro aspecto relevante é que a pouca presença de mulheres na Física a afastaria da crítica feminista, perpetuando seu baixo quórum (*ibid.*, p. 294).

Não é a propagada dificuldade da Física que, por si só, dificultaria o acesso e permanência das mulheres, e sim o *status* social adquirido, pois juntamente ao seu caráter rígido, que culturalmente transmite seriedade, se construiu seu prestígio, o que, como colocado anteriormente, tende a torná-la um campo de estudo mais masculino e concentrar maiores subsídios (*ibid.*, p. 298), dificultando igualmente o acesso das mulheres à Física de ponta (*ibid.*, p. 311). A Física teria sido muito favorecida por altos financiamentos durante os períodos da Segunda Guerra Mundial e da Guerra Fria na Europa e nos Estados Unidos, o

que, junto à proximidade com a área militar, também a tornou menos convidativa para o público feminino (*ibid.*, p. 302).

A dita pureza da Física, vista publicamente como ciência elevada, a alça a uma posição de neutralidade em relação à influência de gênero. A maior defesa, nesse sentido, estaria em argumentar que não há traços de feminino, ou masculino, nos conceitos físicos, como se percebe mais diretamente na Biologia. Schiebinger (2001) sugere que membros da Física deveriam se preocupar em fornecer tal tratamento, contudo, isso não exige a crítica feminista de participar da área:

O estudo empírico pode revelar que o gênero não permeia o nível mais abstrato do empenho humano [*referindo-se à Física e à Matemática*]. Não se segue necessariamente, contudo (como o colocariam alguns), que o empreendimento feminista resiste ou cai ao descobrir tais exemplos. O que tem sido demonstrado é que o gênero abunda nas culturas da matemática e da física, determinando, até certo ponto, quem é preparado, financiado, desfruta de prestígio e pode edificar sobre oportunidades. O conteúdo da física não é distinto de suas culturas; culturas – crenças e expectativas compartilhadas, bem como pressupostos tidos como garantidos e bem-estar material – moldam muitos aspectos das várias ciências. [...] Decisivamente, a cultura da física estabelece condições para quem tem a formação e a oportunidade de fazer perguntas. O feminismo fez contribuições significativas fazendo novas perguntas, perguntas que geralmente estão em desacordo com as assunções fundamentais de uma disciplina. Permanece para ser visto que perguntas podem ser essas nos campos da física e da matemática. Conseguir as respostas certas – virar a manivela – pode ser independente de gênero. Mas é geralmente ao estabelecer prioridades sobre o que será e o que não será conhecido que o gênero tem um impacto sobre a ciência. É também talvez aqui, que as maiores contribuições feministas serão feitas. (p. 328)

Cabe, nesse momento, recordar as perguntas que norteiam a presente investigação, considerando o peso que a crítica feminista e os demais referenciais tratados ao longo desse terceiro capítulo assumem em suas contituições:

1. *Como se deu, historicamente, a construção da tese de doutorado de Cecilia Payne e como seus desdobramentos contribuíram para o desenvolvimento de um fato científico na Física e na Astrofísica?*
2. *Com base na crítica feminista à ciência, de que forma as relações de gênero repercutiram na trajetória acadêmica, na pesquisa científica e no reconhecimento profissional de Cecilia Payne e quais suas potencialidades para uma aprendizagem significativa e crítica da Física?*

Esse extenso estudo feito por Schiebinger, aqui brevemente resumido, fornece bases para a investigação das relações de gênero na academia, envolvendo diferentes ciências, e como elas impactam na produção realizada por mulheres cientistas. Espera-se, em conjunto com as diferentes bases conceituais trazidas ao longo do Capítulo 3, conseguir responder satisfatoriamente tais perguntas, por meio da análise historiográfica de parte da vida e obra de Cecilia Payne. Nas palavras de Schiebinger (2001, p.334), *“o que é preciso nesta altura é história, filosofia e teoria da ciência que analisem exemplos específicos de gênero na ciência”*.

## 4. CECILIA PAYNE E A COMPOSIÇÃO DAS ATMOSFERAS ESTELARES <sup>17</sup>

### 4.1. A COMPLEXIDADE POR TRÁS DO ELEMENTO MAIS SIMPLES

“*Henry Norris Russell conhecia uma coisa boa quando a via*”<sup>18</sup>. Com essa frase, pontual, teve início um curto relato, com somente quatro páginas, redigido em 1977 pela experiente astrofísica Cecilia Helena Payne-Gaposchkin (1900 – 1979). Intitulada “Russell e a composição das atmosferas estelares” (PAYNE-GAPOSCHKIN, 1977), a publicação traz uma pequena retrospectiva sobre contribuições feitas pelo cientista à respeito dessa temática em suas cinco décadas de carreira.

Visto como decano da astronomia estadunidense (DeVORKIN, 2000), Russell (1877 – 1957) foi, sem dúvida, um grande astrônomo. Largamente reconhecido em seu tempo, era tido como autoridade na interpretação de espectros estelares, habilidade que embasou, além dos referidos estudos sobre composição estelar, o onipresente diagrama Hertzsprung-Russell, ou simplesmente diagrama HR, que estabelece uma relação entre luminosidade e temperatura na superfície de estrelas (OLIVEIRA FILHO; SARAIVA, 2017). Sabiamente, Russell acompanhou as mudanças que vieram da junção da Física com a Astronomia no início do século XX, as quais o levaram, em 1929, a publicar um extenso artigo de 72 páginas que coloca o hidrogênio, elemento mais simples da tabela periódica, como amplamente mais abundante na atmosfera do Sol (RUSSELL, 1929).

Na Universidade de Princeton, EUA, onde trabalhou no período 1905 – 1947, Russell obteve a posição de professor em 1911 e se tornou diretor do observatório local de 1912 a 1947. Nesse período, teve a oportunidade de orientar diversos estudantes, sendo Harlow Shapley (1885 – 1972) aquele que se tornaria mais notório. Shapley ganhou destaque no coletivo astronômico com publicações sobre a medida do universo, que o levaram a participar do “Grande Debate da Astronomia”, tendo Heber Curtis (1872 – 1942) como seu antagonista,

---

<sup>17</sup> Uma versão reduzida do discutido neste Capítulo está publicado em artigo intitulado “O papel de Cecilia Payne na determinação da composição estelar” na Revista Brasileira de Ensino de Física, vol. 43, e20210028, 2021. DOI: <http://doi.org/10.1590/1806-9126-rbef-2021-0028>.

<sup>18</sup> No original, “*Henry Norris Russell knew a good thing when he saw it*” (PAYNE-GAPOSCHKIN, 1977).

no qual discutiam se as estruturas nebulosas espirais pertenciam ou não à Via Láctea<sup>19</sup> (HENRIQUE; ANDRADE; L’ASTORINA, 2010; SOUZA, 2019). Assim como seu orientador, Shapley teve notoriedade e uma boa carreira profissional, sendo diretor do Observatório Astronômico de Harvard de 1921 a 1952 (MOORE, 2020).

Payne-Gaposchkin (1977) afirmou que Russell era “*habilmente estimulado*” por Shapley em seu trabalho, portanto, tinha seu colega e ex-orientando como um de seus grandes admiradores. Foi Shapley quem conseguiu, em 1946, ao convencer o então embaixador do México nos Estados Unidos a patrocinar sua empreitada, criar o *Henry Norris Russell Lectureship*, principal premiação da *American Astronomical Society* (Sociedade Astronômica Estadunidense), sendo Russell, justamente, o primeiro agraciado (DeVORKIN, 2000).

Shapley também foi o responsável por conseguir uma bolsa de pesquisa a uma jovem de 23 anos, que recém havia concluído sua graduação em Ciências Naturais na Inglaterra, dando-lhe a oportunidade de trabalhar consigo no Observatório de Harvard, no outro lado do oceano Atlântico. Essa mesma jovem, cujo sobrenome à época era somente Payne, foi apresentada a Shapley por um de seus professores, Leslie Comrie (1893 – 1950), quando o astrofísico estadunidense estava em visita à Universidade de Cambridge. Em 1925, menos de dois anos após sua chegada aos Estados Unidos, ela concluiu uma tese de doutorado na qual demonstrou quantitativamente que o hidrogênio é o elemento mais abundante na atmosfera das estrelas. Sob orientação de Shapley e consultoria externa de Russell, Payne publicou seus resultados, mas com um pequeno porém: deixou explícito que a elevada quantidade de hidrogênio, bem como do hélio estariam incorretas, seriam apenas hipotéticas (PAYNE; 1925.a; PAYNE-GAPOSCHKIN, 1996).

Apesar das conclusões serem equivalentes, as metodologias empregadas por Payne e por Russell, mesmo com pontos em comum, seriam diferentes (RUSSELL, 1929). Contudo, provavelmente, as divergências mais gritantes estivessem, além dos quatro anos de separação de suas publicações, nas formas de recepção de ambos os resultados e nas consequências que

---

<sup>19</sup> No Grande Debate, Shapley defendia que as estruturas nebulosas espirais estavam integradas à Via Láctea, pois a dimensão da nossa galáxia, por ele calculada, seria enorme, assim, ela seria o universo como um todo. Curtis alegava tamanho menor à Via Láctea, o que tornaria as nebulosas espirais externas a ela, suscitada por suas posições deslocadas do plano principal da galáxia. Edwin Hubble (1889 – 1953) mediu, em 1929, a distância até essas nebulosas espirais, constatando que elas estavam muito distantes para fazer parte da nossa galáxia, tratando-se, como hoje se sabe, de outras galáxias independentes. (HENRIQUE; ANDRADE; L’ASTORINA, 2010; SOUZA, 2019)

tiveram, ou supostamente deveriam ter, em suas carreiras, caso se tratassem de pesquisadores em iguais condições de notoriedade.

Enquanto Russell, um homem, adulto, desfrutava do prestígio adquirido entre seus pares em anos de sólida pesquisa, sem dúvida de forma merecida, Payne era uma mulher, jovem, imigrante, cuja única renda provinha de uma bolsa de estudos. Tais discrepâncias, sociais e de gênero, não podem ser ignoradas, pois se tornam centrais para a interpretação não só do que levou Payne a publicar e renegar seus achados, mas do impacto que isso gerou em sua carreira profissional, marcada por segregações por ela experimentadas, como igualmente no desenvolvimento da Astrofísica. Por isso, conhecer sua história de vida e sua trajetória enquanto mulher cientista, assim como desbravar seu conhecimento técnico-científico, são traços inseparáveis para compreender por que Cecilia Payne (Figura 8) foi transformada em uma estrela eclipsada na História da Ciência. Contudo, assim como começa, todo eclipse tem seu fim.



*Fig. 8: Cecilia Payne em seu local de trabalho no Observatório de Harvard, data desconhecida. Fonte: Smithsonian Institution Archives; Autoria desconhecida; Imagem sem restrições conhecidas em relação à direitos autorais.*

## **4.2. UMA MENINA QUE QUERIA SER CIENTISTA**

Nascida em 10 de maio de 1900, na interiorana localidade de Wendover, distante cerca de 66 km de Londres, Cecília Helena Payne cresceu em uma época e em um lugar no qual o acesso das mulheres à escolarização e à construção de uma carreira profissional sofria diversas restrições. Embora estivesse longe de saber àquela altura, esse fator se entrelaçou múltiplas vezes com sua história de vida até conseguir se tornar uma cientista pioneira na Astrofísica e seguir uma trajetória profissional (PAYNE-GAPOSCHKIN, 1996), em uma área do conhecimento tão jovem quanto ela.

Payne passou a infância junto de seu irmão e sua irmã, ambos mais novos, em uma família com boa estabilidade econômica, formada por antecessores pequenos burgueses tanto do lado paterno, que contava com muitos acadêmicos, principalmente historiadores, quanto materno. Após o falecimento de seu pai, um advogado e historiador, quando a menina tinha somente quatro anos de idade, sua família nuclear passou a ser chefiada pela mãe, imigrante da Prússia e talentosa pintora copista. Sua curiosidade pela Astronomia surgiu ainda pequena, quando aos cinco anos presenciou a ocorrência de um meteoro sobre uma floresta, evento que sua mãe a explicou por meio de uma pequena rima (MOORE, 2020). A partir de então, passou a identificar algumas formações e constelações no céu noturno. Foi nesse período, também, que começou a se perguntar sobre a diferença de tratamentos sociais dados aos meninos e às meninas. Não entendia, por exemplo, por que seu irmão mais novo podia sair para cavalgar com seu padrinho enquanto ela deveria ficar em casa (PAYNE-GAPOSCHKIN, 1996; WEST, 2015).

Desde criança, Payne tinha vontade de se tornar uma cientista, mas isso não a impediu de desenvolver interesses bastante diversos, passando por Linguagens, História e Música, os quais eram atendidos pela coleção de livros acumulada por seus familiares ao longo de gerações, sobretudo sobre História, Filosofia e clássicos da Literatura, porém com alguns poucos sobre Ciências Naturais, incluindo uma edição dos *Principia* de Newton (MOORE, 2020). Sua vida escolar teve início aos seis anos de idade em uma pequena instituição local, recém aberta do outro lado da rua onde morava, onde entrou ávida para aprender a ler. Quando perguntou à professora se ela conseguiria ler a Enciclopédia Britânica, ficou empolgada ao saber que aprenderia a ler qualquer coisa (PAYNE-GAPOSCHKIN, 1996).

Certa vez, questionou sua professora por que Jesus era um homem, não uma mulher. Ela respondeu que, em seu tempo, uma mulher não poderia ter feito o que ele fez. Ela não se mostrou convencida com a resposta, porém, mais tarde, entendeu que esse foi um dos fatos que a fez construir um senso de que vivia em um mundo de homens. Payne permaneceu nessa escola por seis anos, período em que adquiriu habilidades em diferentes idiomas, como grego clássico e latim, e também em Matemática, além de técnicas de observação e memorização (*ibid.*).

Quando tinha doze anos de idade, uma mudança de sua família para Londres foi motivada pela necessidade de seu irmão mais novo obter uma melhor preparação para dar continuidade aos estudos, fato que teria deixado a pré-adolescente incomodada e com ciúmes, pois gostava da escola que frequentava e da vida em uma localidade calma, com acesso ao céu estrelado e à diversas plantas, sendo Botânica, desde mais nova, uma de suas grandes paixões. Sua situação financeira era confortável, porém sem muitos luxos. A família, cujo incentivo à cultura sempre se fez presente, frequentava concertos e peças em teatros populares, porém as roupas de Payne eram de segunda mão, doadas pela filha de uma amiga de sua mãe (MOORE, 2020).

Na nova cidade, Payne começou a frequentar uma escola cristã, exclusivamente para meninas, que no primeiro ano não oferecia aulas de ciências em seu currículo, por entender que existiam conflitos com a doutrina religiosa, intensamente incentivada. Quando estava no segundo ano, passou a ter aulas com a professora de ciências Dorothy Dalglish que, rapidamente, tornou-se uma grande referência para ela. Dalglish, que lecionava Química e Botânica, percebendo o intenso interesse da aluna pelas ciências da natureza lhe presenteou com livros sobre Física e Astronomia, estimulando ainda mais seu interesse, o que certamente influenciou a decisão da menina de se tornar botânica (PAYNE-GAPOSCHKIN, 1996).

A grande timidez fazia com que os livros fossem seus companheiros. Payne não tinha habilidades para fazer novas amizades e tinha poucas oportunidades de conversas com outro menino que não fosse seu irmão. Quando algum amigo dele visitava sua casa, ela e sua irmã eram frequentemente obrigadas a deixar a sala de estar, como mandava a etiqueta. Sua timidez era contornada quando a exposição envolvia seus assuntos de interesse. Certa vez, encenou trechos de obras de Shakespeare junto com seus irmãos na igreja local. Na mesma época, se voluntariou para dar aulas na escola dominical da igreja, mas, ao invés de abordar os assuntos do catecismo, costumava preferir tópicos científicos (MOORE, 2020).

O envolvimento direto da Inglaterra na Primeira Guerra Mundial trouxe conflitos na vida da então adolescente, incluindo a participação de um tio materno na linha de frente do exército alemão, no lado oposto ao dos britânicos, fazendo com que, desde então, a garota passasse a se identificar como pacifista. O prosseguimento e avanço de sua vida escolar também foi dificultado, pelo fato da professora Dalglish adoecer e precisar parar de trabalhar definitivamente, não havendo outra pessoa que pudesse substituí-la de imediato, uma vez que a guerra havia absorvido profissionais de Física e Química<sup>20</sup> (*ibid.*).

Aos 16 anos, Payne já havia cursado as disciplinas sobre ciências que a escola poderia oferecer, voltando sua atenção ao aprendizado de idiomas clássicos e, em maior ênfase, de alemão e Matemática, que ela entendia terem maior importância para seguir uma carreira científica. Ela solicitou aulas extras para a instituição, que a atendeu, devido suas notas serem sempre elevadas, assim um professor de inglês a ajudaria em alemão e uma professora a ensinaria Matemática avançada (MOORE, 2020). Contudo, tais aulas tiveram um custo elevado para a adolescente, pois teve uma relação conturbada com sua professora de Matemática, que teria confundido seu grande interesse na disciplina com um interesse por ela própria. Durante o ocorrido, a professora teria dito que ela jamais seria uma estudiosa, causando-lhe um bloqueio de aprendizagem momentâneo. Devido ao episódio, a escola convidou Payne a retirar-se, afirmando que não poderia fazer mais nada por ela, não sem antes ouvir da diretora que estaria “*prostituído seus dons*” (PAYNE-GAPOSCHKIN, 1996, p. 98) ao querer se tornar uma cientista.

Parecia o fim do mundo. Eu tinha quase 17 anos. Meu único desejo era ir para Cambridge e, para isso, precisava ganhar uma bolsa integral, pois não havia dinheiro para me mandar [*para a universidade*]; e agora a escola lavou as mãos para mim. Eu queria ser cientista, e os únicos assuntos que realmente conhecia eram latim e grego. A Matemática era minha esperança, e isso falhou. No entanto, eu não sabia, que os poderes que decidiram meu destino me prestaram o melhor serviço possível. (*ibid.*, p. 103, livremente traduzido pelo autor)

---

<sup>20</sup> Marie Curie e Lise Meitner são exemplos de mulheres cientistas que atuaram como enfermeiras voluntárias nessa guerra, em lados contrários da disputa. Curie, inclusive, teria desenvolvido unidades de radiografia móvel para o uso próximo às frentes de batalha (BASSALO; CARUSO, 2015; FUNCHAL, 2015).

Apesar do transtorno, a transferência para uma nova escola mostrou-se benéfica, pois lá a adolescente encontrou um ambiente totalmente diferente. Igualmente religiosa e somente para meninas, a nova escola tinha um cenário de encorajamento para estudar ciências, tanto pelos trabalhadores educacionais quanto estruturalmente, pois havia acesso a mais livros e a laboratórios. Nessa instituição, havia aulas de Física e noções de Astronomia com a professora Ivy Pendlebury, uma mulher cientista que lhe proporcionou um novo mundo, promovendo debates e aulas experimentais, a auxiliando a seguir seu sonho (MOORE, 2020).

Com essa oportunidade, o último ano de Payne no ensino secundário se mostrou extremamente valioso. A jovem conseguiu, em 1919, por meio de um exame admissional que envolveu a tradução de um evangelho do grego para o inglês e a montagem experimental de um termômetro, a única bolsa oferecida para estudar Ciências Naturais no Newnham College (Figura 9), instituição da Universidade de Cambridge, dedicada ao ensino somente de mulheres, finalmente chegando ao ponto de se tornar, formalmente, uma cientista (PAYNE-GAPOSCHKIN, 1996; MOORE, 2020).



*Fig. 9: Newnham College, em 2014. Fonte: Wikimedia Commons; Autor: Cmglee; Imagem sob licença creative common.*

### **4.3. COMPLETA TRANSFORMAÇÃO DA IMAGEM DO MUNDO: OS ANOS EM CAMBRIDGE**

As primeiras décadas da vida de Payne ocorreram paralelamente ao período hoje conhecido como “primeira onda feminista”, entre o século XIX e o começo do século XX, marcado pela reivindicação de direitos básicos pelas mulheres, sobretudo brancas e de classe média, como a equiparação da jornada de trabalho e da remuneração em relação aos homens e o direito ao voto (movimento das sufragistas), e o questionamento dos papéis sociais desempenhados por homens e mulheres, em especial à pouca liberdade de escolha concedida a elas (HOOKS, 2015; MONTEIRO; GRUBBA, 2017, VIEIRA; SOUZA; BURATTO, 2018).

A primeira guerra mundial também impactou as relações femininas na sociedade, pois uma vez que os soldados homens eram enviados para os campos de batalha, mulheres foram admitidas em empregos considerados tipicamente masculinos, como aqueles ligados ao trabalho nas indústrias, principalmente para as mulheres mais pobres, porém acarretando em alterações que chegaram às classe mais abastadas, como cortes de cabelo mais curtos e roupas mais confortáveis ao dia a dia, aspectos práticos para o trabalho (MOORE, 2020).

Foi em meio a esse contexto que a jovem Payne ingressou no ensino universitário. Seria a primeira vez que ela ficaria longe de sua mãe e irmãos, apesar da relativa proximidade entre Cambridge e Londres, porém foi um marco para sua independência, sem imaginar que, futuramente, essa distância envolveria a travessia de um oceano. Mesmo ciente de que seria uma época de privações, inclusive financeiras, Payne estava ansiosa para iniciar os estudos e ampliar seus conhecimentos. Também foi nessa época de experimentações que ela conheceu, apresentada por seu irmão em uma viagem a Londres, o cigarro, que se tornou um hábito até o (e um dos responsáveis pelo) fim da sua vida (*ibid.*).

Apesar das conquistas femininas recentes, muitas diferenças ainda perduravam em relação ao tratamento dispensado aos diferentes gêneros, desde a educação separada, uma vez que a instituição em que Payne entrara era dedicada somente ao ensino de mulheres, como o direito ao título acadêmico, pois a elas não existia o direito a receber o grau universitário correspondente à sua formação; somente acessavam à instrução por si só, ou seja, não recebiam um diploma, o que passou a ocorrer, na Universidade de Cambridge, somente em

1947. O mesmo acontecia em relação aos caminhos profissionais: o estudo de Matemática era essencialmente masculino, enquanto mulheres se voltavam mais para a Biologia (*ibid.*).

Um exemplo disso é que, como parte do currículo básico do curso de Ciências Naturais, Payne precisou escolher três áreas principais de estudos, optando pela Botânica, Química e Física. Foi necessária insistência para ter acesso à última, pois, usualmente, Botânica seria combinada com Zoologia. Dessa forma, pôde contemplar seus interesses, uma vez que, inicialmente, não tinha certeza em qual dessas áreas gostaria de especializar-se (PAYNE-GAPOSCHKIN, 1996).

O ambiente em Cambridge era conservador em relação às regras e costumes, contudo vanguardista no que se referia à ciência de ponta, uma vez que abrigava nomes importantes, como J. J. Thomson (1856 – 1940) e Ernest Rutherford (1871 – 1937), e contava com visitas e palestras de pesquisadores renomados, como Niels Bohr (1885 – 1962) e Irving Langmuir (1881 – 1957). No final de 1919, uma dessas palestras assumiu importância crucial na vida de Payne (*ibid.*).

Arthur Eddington (1882 – 1944), também professor na Universidade de Cambridge, fez uma apresentação a respeito da Teoria da Relatividade, inicialmente mostrando conceitos centrais e suas consequências físicas para, então, introduzir alguns resultados experimentais, que foram obtidos a partir de observações de um eclipse solar tomadas na Ilha de Príncipe, na costa oeste africana<sup>21</sup>, a qual teria constatado que os desvios das posições esperadas de determinadas estrelas relativas à posição do Sol estariam de acordo com predições de tal teoria (*ibid.*).

A fala, que ocorreu em um auditório com capacidade para 500 convidados, teve reservados somente quatro convites para as estudantes do Newnham College, dentre as quais Payne, inicialmente, não estava. Porém, para sua sorte, uma de suas colegas adoeceu e deu seu convite a ela, que obteve a oportunidade de acompanhar a palestra que mudaria sua vida (MOORE, 2020). Em suas próprias palavras:

---

<sup>21</sup> Payne, em sua descrição da referida palestra, não fez alusão quanto ao uso dos dados obtidos no Brasil a partir da observação do mesmo eclipse solar na cidade de Sobral, no Ceará (PAYNE-GAPOSCHKIN, 1996).

O resultado foi uma completa transformação da minha imagem do mundo. Eu soube novamente o estalo que veio da compreensão de que todo movimento é relativo. Quando retornei para o meu quarto, achava que poderia escrever a palestra palavra por palavra (como faria em outra palestra alguns anos depois). Por três noites, eu acho, não dormi. Fiquei tão abalada que experimentei algo muito parecido com um colapso nervoso. (PAYNE-GAPOSCHKIN, 1996, p. 117, livremente traduzido pelo autor)

Apreciar tais resultados foi o fator decisivo para que Payne enveredasse definitivamente para os estudos de Física e Astronomia. Ela concluiu a primeira parte do seu curso em dois anos, em 1921, sendo três o período normalmente previsto, optando, então, em concentrar-se em Física na segunda parte. Infelizmente, ela não pôde acessar as aulas de Astronomia que desejava, pois o currículo acadêmico colocava tal área como um ramo da Matemática, curso no qual não estava matriculada (*ibid.*).



Fig. 10: Entrada do Laboratório Cavendish, Cambridge, em 1911. Fonte: Wikimedia Commons; autoria desconhecida; imagem em domínio público.

Assim, começou a ter aulas de Física Avançada, ministradas por Rutherford, precisando pedalar até o Laboratório Cavendish (Figura 10), localizado em outra área de Cambridge, fora dos domínios do Newnham College. Nesse momento, ela não mais estaria em classes somente femininas. Ao contrário, passou a ser a única mulher da sala de aula, situação que exigia brio de uma moça tímida, com 1,78 m de altura, que precisava atravessar todo o lance de arquibancadas até chegar na primeira fileira, local reservado e entendido como apropriado para as mulheres que, eventualmente, acessavam o curso. Em seus primeiros dias, Payne precisou estar ao lado de uma acompanhante, pois não seria adequado permanecer só em um ambiente com outros homens. Em meio a esse cenário, teve ainda de lidar com piadas e desconfianças, tanto de seus colegas quanto do próprio professor, que iniciava suas aulas com um desconfortável “*ladies and gentlemen*” para a única moça na sala (*ibid.*, p. 118).

O impedimento regimental de participar das disciplinas sobre Astronomia regularmente oferecidas pela instituição teve que ser superado pelo interesse próprio de Payne em correr atrás de seus objetivos, o que incluía horas em bibliotecas em busca de livros sobre o tema, uma vez que ela não tinha dinheiro para comprar seus próprios. Em uma dessas incursões, encontrou um pequeno manual datilografado, sem autoria, que mostrava como operar o telescópio do observatório do próprio Newnham College, cuja existência ela desconhecia (Figura 11). Com a ajuda do professor Leslie J. Comrie, ela reativou o local, uma minúscula construção, promovendo noites de observação para suas colegas (MOORE, 2020).



Fig. 11: Observatório do Newnham College, em 2008. Fonte: Wikimedia Commons; Autor: Sebastian Ballard; Imagem sob licença creative common.

Payne viu uma oportunidade surgir, como já comentado, quando Comrie a apresentou a Harlow Shapley (1885 – 1972), astrofísico que havia se tornado, recentemente, diretor do Observatório da Universidade de Harvard, nos Estados Unidos, e estava em visita à Universidade de Cambridge, em maio de 1922 (GINGERICH, 2001). Comrie a incentivava a seguir a carreira de pesquisadora e a se mudar para os Estados Unidos, onde teria mais possibilidades, uma vez que o Observatório de Harvard já abrigava outras mulheres cientistas (SOBEL, 2016; MOORE, 2020). Shapley era conhecido por realizar pesquisas com estrelas binárias eclipsantes e, como já citado, por sua medida do tamanho da Via Láctea (WEST, 2015). Foi nessa ocasião que Payne assistiu à segunda palestra que a marcou profundamente e que conseguiria escrevê-la de cabeça. Ao conhecer Shapley, ela se ofereceu para trabalhar com ele, que se comprometeu a ajudá-la (MOORE, 2020).

Ao participar de uma noite de observação astronômica promovida pelo Observatório de Cambridge (Figura 12), com telescópios muito mais potentes que o de seu *campus*, Payne amedrontou um jovem instrutor com tantas questões que, assustado, procurou seu superior para atender às dúvidas de uma mulher que não parava de fazer perguntas. Foi assim que ela conseguiu conhecer diretamente Arthur Eddington. Nessa ocasião, informou a ele que gostaria de se tornar uma astrônoma, que de pronto a respondeu “*não consigo ver nenhuma objeção insuperável*” (PAYNE-GAPOSCHKIN, 1996, p. 120).



Fig. 12: Observatório de Cambridge, em 2002. Fonte: Wikimedia Commons; Autor: xioxox; Imagem sob licença creative common.

Payne passou a ter contato frequente com Eddington, que aceitou orientá-la em sua empreitada. Ao perguntar quais livros ela deveria ler, ele lhe recomendou diversas leituras, muitas das quais ela já havia lido. Posteriormente, Eddington tornou-se seu professor em algumas disciplinas. Mesmo diante de seus esforços pessoais, ela ouviu do diretor do Observatório, na oportunidade em que o conheceu, que jamais seria uma astrônoma, que não passaria de uma amadora (*ibid.*).

Certa vez, Eddington lhe passou um problema, pedindo para obter a temperatura e densidade de determinada estrela, partindo de seu centro para fora, camada por camada. Seus esforços, infelizmente, não geraram resultado, mas para sua surpresa, ao questionar ao professor qual seria o procedimento, ele revelou que também não conhecia uma solução, sendo um problema sobre o qual se debruçava há algum tempo. Em compensação, ela recebeu um segundo problema: calcular o movimento apropriado de estrelas contidas em um aglomerado. Esse trabalho rendeu seu primeiro artigo publicado, no ano de 1923 (MOORE, 2020).

Por ser mulher, Payne eventualmente poderia acessar algum curso de doutorado em Cambridge, porém permaneceria sem receber o título, somente a formação, mesmo caso de sua graduação (WEST, 2015), em um caso claro – e institucionalizado – de segregação hierárquica, dado o impedimento legal de prosseguir em seus estudos. No entanto, e talvez por ser um pensamento atrelado a seu tempo, essa não seria uma preocupação para a então jovem, pois seu objetivo era seguir uma carreira como pesquisadora, independentemente de titulação ou posição em uma universidade. Apesar desse aparente desapego aos títulos acadêmicos, seu futuro, caso permanecesse na Inglaterra ao término da segunda parte de sua graduação, provavelmente seria tornar-se professora em uma escola para meninas, profissão comum para mulheres que não contraíam matrimônio, concepção que estava de acordo com os papéis de gênero desempenhados à época, mas que não a agradava.

Ciente de que seu objetivo de ser pesquisadora não ocorreria se permanecesse em seu país de origem, Payne percebeu que tinha como única opção cruzar o Oceano Atlântico para tentar uma oportunidade no Novo Mundo. Em carta enviada para Shapley em fevereiro de 1923, ela diz:

Caro Professor Shapley,

Tive o prazer de vê-lo na reunião da Royal Astronomical Society em maio passado, quando acredito ter dito a você que esperava vir a trabalhar em Harvard. Eu havia decidido há algum tempo que, se fosse possível, gostaria de fazer um trabalho de pesquisa sob sua supervisão. Quando, alguns meses depois, consultei o professor Eddington, com quem eu vinha trabalhando, sobre o que ele me aconselharia a fazer se eu pudesse continuar meus estudos em outra universidade, ele me aconselhou fortemente a ir para Harvard se eu pudesse. Esse conselho coincidia completamente com meus próprios desejos e ambições.

Estou extremamente ansiosa para ir, se for possível, e estou preparada para emprender qualquer coisa que me permita trabalhar em Harvard.  
(GINGERICH, 2001, p. 5, livremente traduzido pelo autor)

Shapley cumpriu sua antiga promessa e passou a ajudar Payne em sua ida para Harvard. Seu maior problema passou a ser a aquisição de uma bolsa de pesquisa, uma vez que não teria outra forma de arcar com suas despesas. Dentre suas cartas de recomendação, Eddington escreveu que *“Ela alcançou um amplo conhecimento de ciências físicas, incluindo astronomia, e, além disso, possui as valiosas qualidades de entusiasmo e energia em seu trabalho”* (MOORE, 2020, p. 125, livremente traduzido pelo autor). Comrie, por sua vez, redigiu em sua carta que *“De suas qualificações puramente acadêmicas, outros são mais competentes para julgar do que eu, mas posso falar muito bem sobre suas qualidades pessoais de energia, perseverança e entusiasmo [...]. Se ela for eleita, tenho certeza de que ocupará seu lugar dignamente na linha de mulheres astrônomas que Harvard tem alimentado”* (GINGERICH, 2001, p. 6, livremente traduzido pelo autor), também acrescentando que *“Há algo a ser dito sobre ela (entre nós) — Acredito que ela é o tipo de pessoa que, dada a oportunidade, dedicaria toda a sua vida à astronomia e que não iria querer fugir após alguns anos de instrução para se casar”* (KIDWELL, 1996, p. 13, livremente traduzido pelo autor).

Tais cartas explicitam a dicotomia existente à época, e ainda em nosso tempo presente de modo velado, entre a carreira acadêmica e o casamento para as mulheres, sendo esse último visto como um caminho natural para elas. Dessa maneira, se percebia uma “escolha de

Sofia” para as mulheres que pretendiam seguir carreira científica, pois precisariam abdicar da criação de uma família e da maternidade caso decidissem optar pela carreira profissional, ou o oposto, ao abandonar a vida acadêmica para contrair matrimônio, padrão não apenas esperado como de fato seguido por boa parte das mulheres cientistas (GREENSTEIN, 1993). O mesmo não era esperado dos homens, cujo comportamento era oposto, uma vez que a maioria era casado e tinha filhos, sendo que o trabalho doméstico (não remunerado e não reconhecido) das mulheres era o que lhes garantia recursos para ter um lar organizado e menos preocupações com a vida pública, fora dos laboratórios. Outras características apontadas, como “energia” e “entusiasmo”, também dificilmente seriam elencadas para um homem cientista, dos quais se esperaria concentração e seriedade com seu trabalho, pois não seria função dele “levar alegria” ao ambiente profissional (SCHIEBINGER, 2001).

Com seu currículo e as recomendações de nomes influentes, Payne (Figura 13) conseguiu obter os recursos financeiros necessários, tanto pela Newnham College quanto pela Universidade de Harvard, mais especificamente por Radcliffe College, seu braço dedicado à educação feminina, sendo esta última através de uma bolsa concedida somente para mulheres pesquisadoras. Ela partiu, sozinha, em um navio rumo aos Estados Unidos em 10 de setembro de 1923, deixando para trás Cambridge, Inglaterra, para se fixar em Cambridge, Massachusetts.



*Fig. 13: Cecilia Payne na Universidade de Harvard, década de 1920. Fonte: Smithsonian Institution Archives; autoria desconhecida; imagem sem restrições conhecidas em relação à direitos autorais.*

#### 4.4. NOVO MUNDO, ANTIGAS TRADIÇÕES: A CHEGADA EM HARVARD

Fundado em 1839, o Observatório de Harvard (Figura 14) mudou de endereço em seus primeiros anos, para o alto de uma colina próxima ao *campus* principal da universidade, com o objetivo de rivalizar com instituições europeias. Na metade do século XIX, ganhou seu mais importante equipamento, um telescópio com 15 polegadas de abertura apelidado de Grande Refrator, então um dos maiores existentes, passo principal para consolidá-lo como um dos mais prestigiados observatórios astronômicos do planeta (MOORE, 2020).

Uma mudança significativa ocorreu em 1877, quando o astrônomo Edward Charles Pickering (1846 – 1919) assumiu o cargo de diretor do observatório. Pickering teve como meta criar um catálogo de placas espectrográficas<sup>22</sup> para o maior número de estrelas possível. Para tal, a porção ocular dos telescópios seria acoplada a espectroscópios, que por sua vez registrariam os espectros estelares em lâminas de vidro recobertas por em soluções fotossensíveis, com dimensões de cerca de 8 por 10 polegadas e poucos milímetros de espessura. Esse processo permitiria analisar o espectro sem que o observador precisasse estar junto ao telescópio ininterruptamente, o que deixaria as observações mais dinâmicas (*ibid.*).

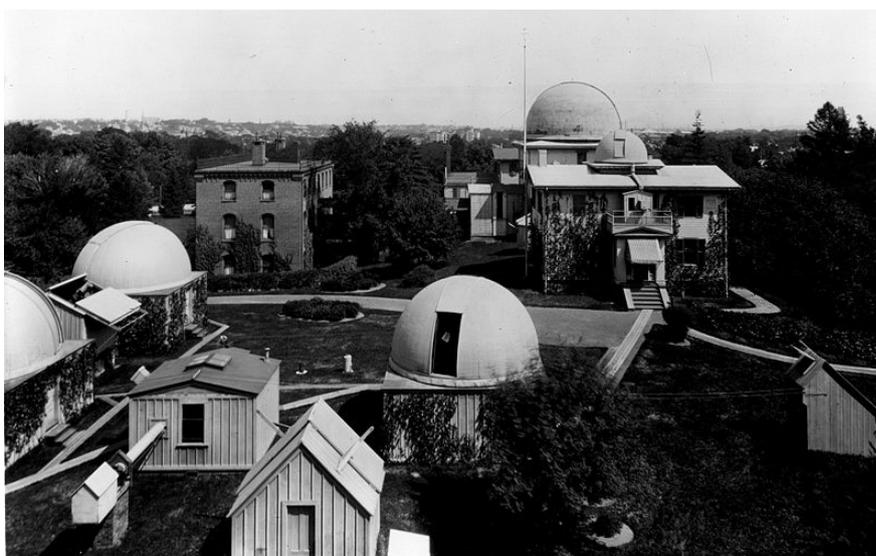


Fig. 14: Observatório de Harvard, em 1899. Fonte: Wikimedia Commons; autoria desconhecida; imagem em domínio público.

<sup>22</sup> Resumidamente, as placas espectrográficas são registros do espectro da radiação emitida pelas estrelas, à época sobretudo na faixa da luz visível, impressos em materiais fotossensíveis. Tais placas possibilitavam, através do traçado de linhas verticais deixado por essa luz, estudar diferentes características físicas da estrela em questão (ver Figura 3).

Entretanto, Pickering faria outra eminente contribuição à ciência. Ainda que seu objetivo inicial estivesse concentrado em aumentar a produtividade na obtenção das placas, houve um ponto que se tornou imprescindível organizá-las. Impaciente com o que ele considerava uma baixa velocidade dos então contratados, uma alteração ocorreu com a admissão de Williamina Fleming (1857 – 1911), em 1877. Professora na Escócia, seu país de origem, ela estava trabalhando como empregada doméstica na casa de Pickering, após ser abandonada por seu marido com um filho pequeno. Em seu trabalho de processamento de dados e catalogação das placas, Fleming encontrou 79 novas estrelas (FOX KELLER, 1984; MOORE, 2020).

O ótimo desempenho e agilidade de Fleming fez com que Pickering admitisse mais mulheres cientistas no observatório nos anos seguintes, todas com formação base em ciências naturais, o que também gerava economia, dada sua menor remuneração em relação aos funcionários homens. Entre elas, estavam Antonia Maury (1866 – 1952), Annie Jump Cannon (1863 – 1941) e Henrietta Swan Leavitt (1868 – 1921) (MOORE, 2020). Leavitt ganhou destaque ao estabelecer uma relação entre o período e a luminosidade para estrelas variáveis, estrelas cujo brilho varia, regularmente ou não, conforme a passagem do tempo (MACHADO, 2019). Infelizmente, ela veio a falecer precocemente, em decorrência de um câncer.

Cannon se destacou, em conjunto com outras pesquisadoras, como Maury, por liderar a análise, realização de medidas e classificação das placas espectrográficas, o que culminou na criação da classe espectral de Harvard, as quais inicialmente não tinham seu potencial completamente explorado, porém auxiliaram na organização dos espectros. Para cada classe, foi atribuída uma letra, sendo O, B, A, F, G, K, M a ordem escolhida, onde O representaria as estrelas mais azuladas e quentes, passando por estrelas esbranquiçadas, amareladas e alaranjadas até chegar na classe M, contendo aquelas mais avermelhadas e frias (MOORE, 2020).

Devido aos muitos cálculos que essas mulheres desempenhavam em suas tarefas, se tornaram conhecidas pela alcunha de “mulheres computadores” (Figura 15), ou, ainda, como o “harém de Pickering”. Apesar da complexidade de tal trabalho, o mesmo era entendido, naquela época, como de menor dificuldade e, conseqüentemente, de remuneração inferior, sendo atribuído como de “caráter feminino”. Os cientistas homens ocupavam-se, majoritariamente, do desenvolvimento de teorias, cálculos e publicações, uma vez que a escolha das funções cabia inteiramente a eles (SOBEL, 2016).

Ao chegar à Harvard, em 1923, Payne teve a oportunidade de conhecer e trabalhar com Antonia Maury e Annie Jump Cannon. Mesmo com algumas diferenças, pois possuía um *status* de pesquisadora-bolsista, não funcionária do local, ela estava inserida em um estilo de pensamento quanto ao papel feminino no observatório. Maury revelou à Payne, certa vez, que ela gostaria de aprender sobre os cálculos que fazia em seu trabalho, porém na época Pickering não desejava isso (PAYNE-GAPOSCHKIN, 1996). A trajetória dessas astronômas do Observatório de Harvard representa em um exemplo claro de segregação territorial, no qual às mulheres cientistas foram naturalizadas em certas funções, no caso aquelas vistas com menor *status*, não sendo permitido a elas progredir para postos de chefia, com melhores condições de trabalho e remunerações (ROSSITER, 1982).



*Fig. 15: As “mulheres computadores” do Observatório de Harvard, cerca de 1890. No grupo estão Williamina Fleming (em pé, ao centro), Henrietta Swan Leavitt (sentada à esquerda de Fleming, com uma lupa), Annie Jump Cannon (sentada em frente à Fleming, também com uma lupa), e Antonia Maury (última pessoa à direita). As demais não foram identificadas. Fonte: Wikimedia Commons; autoria desconhecida; imagem em domínio público.*

Ainda que mais de 45 anos tivessem se passado desde que a contratação pioneira de Fleming ocorrera, a situação das mulheres cientistas no Observatório de Harvard continuava sem transformações benéfica a elas:

O sucesso inicial do Observatório foi possível devido ao planejamento astuto de Pickering. Mulheres, algumas delas extremamente hábeis, realizaram a maior parte do trabalho. Na virada do século, o trabalho em um observatório não era apenas respeitável, mas conferia certa distinção, e essas vantagens compensavam o pequeno salário. Essa tradição teve necessariamente de ser mantida pelo novo regime. As mulheres ainda desempenhavam o trabalho subordinado, e muito bem o faziam. Mas os salários continuaram baixos; a única alternativa teria sido cortar os programas no momento em que os planos do novo Diretor previam expansão. O Dr. Shapley cinicamente mediu seus projetos em "horas de garotas". Parte da compensação foi na forma de incentivo pessoal, que transmitiu a sensação de que o trabalho de todos(as) era de real importância. Foi o segredo de seu sucesso inicial. (PAYNE-GAPOSCHKIN, 1996, p. 154, livremente traduzido pelo autor)

Embora o objetivo de Cecilia Payne ao se mudar para os Estados Unidos fosse o de continuar atuando como pesquisadora em Astronomia, sem pretensões acadêmicas, foi posteriormente convencida por Shapley, por circunstâncias institucionais, de que poderia transformar seu trabalho em uma tese, objetivando o título de doutora no Radcliffe College. Desse modo, começava a tomar forma aquela que já foi chamada de “*a tese mais brilhante já escrita na Astronomia*” (WAYMAN, 2002).

#### **4.5. O ESTADO DA ARTE DA COMPOSIÇÃO ESTELAR**

Enquanto ainda era estudante na Inglaterra, Payne conheceu no Observatório de Cambridge o astrofísico Edward Milne (1896 – 1950) que, em conjunto com o físico teórico Ralph Fowler (1889 – 1944), havia formulado um estudo (FOWLER; MILNE, 1923) sobre medidas de temperatura e pressão nas atmosferas estelares por meio de uma adaptação da teoria da ionização térmica<sup>23</sup>, publicada em 1920 pelo astrofísico Meghnad Saha (1893 – 1956), professor na Universidade de Calcutá (SAHA, 1920; SAHA, 1921).

---

<sup>23</sup> Em linhas gerais, a teoria da ionização térmica relaciona o grau de ionização da matéria com a temperatura estelar, processo que exerce influência direta na formação e no aspecto dos espectros estelares. Aqui, a ionização é entendida

Por possuírem cunho quantitativo, os trabalhos de Saha e de Fowler e Milne estariam inseridos em uma mudança de estilo de pensamento, no que se refere à investigação na Astrofísica, na qual abordagens desse tipo adquiriram grande relevância à medida que avanços da Física, na época, permitiam o aprofundamento de tal enfoque. Até então, a captação de espectros teria auxiliado no estudo da composição estelar sobretudo por correlações qualitativas, que haviam sido frutíferas, por exemplo, na criação das classes espectrais, na identificação dos elementos químicos nas estrelas e em estabelecer uma proporção direta entre intensidade das linhas e abundância relativa dos elementos, esta última posteriormente percebida como equivocada. Por sua natureza, esse período ficou conhecido como era das grandes correlações (HEARNshaw, 2014).

Com a teoria de Saha, a correlação direta entre a imagem registrada no espectro e a existência ou força de um elemento na composição das estrelas foi enfraquecida, pois surgiu a ideia de que as condições físicas de uma estrela, a saber temperatura e pressão, influenciam na ionização dos elementos químicos, que representa a base para o registro dos espectros (BARTUSIAK, 1993). Usando uma analogia, imagine que você está em uma festa (fora do período de pandemia) e os participantes decidem tirar uma foto. Quando todos estão posicionados, uma pessoa alta para na sua frente e, por consequência, você não aparece no registro. Nesse caso, você está na festa, mas não aparece na foto porque as condições físicas (a pessoa alta) não permitem que você seja visto. Na composição das estrelas, o problema estaria em investigar tais condições físicas (temperatura e pressão) e avaliar de que forma elas influenciam na formação dos espectros, se há ou não elementos químicos que estão “escondidos” por elas.

Essa era uma tarefa nada simples. Saha não poderia sequer tentar fazê-la, pois, em 1920, ainda não se conhecia o padrão de níveis de energia para cada elemento químico, no caso, qual a quantidade de energia necessária para a ionização dos átomos. Payne, em 1923 e 1924, estava próxima aos laboratórios de Física que se dedicaram a esse problema, tendo acesso aos resultados e publicando uma sinopse de seus valores (PAYNE, 1924.a), o que Saha, na Índia ocupada pelos britânicos, demoraria a alcançar (GREENSTEIN, 1993).

---

como a ação que consegue extrair um ou mais elétrons de um átomo ou molécula. São os espectros que permitem a análise de diferentes propriedades das estrelas, como a própria temperatura, pressão, densidade e composição, o que exemplifica a importância de conhecer profundamente as etapas de sua formação para extrair adequadamente esses dados.

Ao partir para os Estados Unidos, Payne tinha em mente como objetivo de pesquisa testar as teorias de Saha e de Fowler e Milne tendo como base o extenso acervo de placas fotográficas de espectros do Observatório de Harvard, que já contava com mais de 200 mil registros, sendo essa uma sugestão do próprio Milne a ela. Essa não era a ideia inicial de Shapley, que lhe havia sugerido o estudo de estrelas variáveis, dando prosseguimento ao trabalho de Henrietta Leavitt. Ela previamente teria concordado, no entanto, logo após sua chegada em Harvard, demonstrou seu verdadeiro interesse na interpretação física dos espectros (FOX KELLER, 1984; KIDWELL, 1996).

A motivação de Payne em relação à análise física dos espectros teria surgido pouco antes de deixar a Inglaterra, por meio de um concurso anual que em 1923 premiaria o melhor ensaio sobre o tema “o estado físico da matéria a altas temperaturas”, o qual orientava a utilização de dados físicos conhecidos e sua relação com espectros estelares. Ela não pôde participar da disputa, pois era restrita a pessoas que haviam logrado algum grau pela Universidade de Cambridge, no caso, apenas homens (PAYNE-GAPOSCHKIN, 1996). Portanto, ela estava se debruçando sobre um problema atual em seu campo de pesquisa.

A escrita de um estudo seria, de qualquer forma, sua maior produção intelectual enquanto pesquisadora-bolsista, tarefa posteriormente adequada para uma tese de doutorado por sugestão de Shapley, que se tornara seu orientador. Esse teria sido um passo estratégico de Shapley para criar e fortalecer o Departamento de Astronomia de Harvard, uma de suas ambições como diretor do observatório. Payne, por sua vez, estava indiferente ao projeto, pois sua experiência em Cambridge, na qual não estudara e não recebera o respectivo grau, a fez pensar que o trabalho em si era mais importante, além de já possuir o título com o qual se importava (GINGERICH, 2001; MOORE, 2020).

Bem, Shapley disse: "Por que você não faz um doutorado?" Eu disse: "Eu não quero um diploma de doutorado. Eu tenho um diploma de Cambridge. Esse é o grau mais alto do mundo. Eu não quero nenhum outro". Ele - bem, eu não sei, talvez ele tenha arriscado o pescoço para que eu fosse admitida como estudante e quisesse que eu me graduasse de qualquer maneira. Ele me

convenceu e eu o fiz. (Payne-Gaposchkin em entrevista a Gingerich<sup>24</sup>, 1968, livremente traduzido pelo autor)

Do ponto de vista institucional, tal modificação não foi simples, pois não existia o grau de PhD em Astrofísica no Radcliffe College naquele tempo. Inicialmente, houve uma tentativa de inscrevê-la no Departamento de Física, porém, a mesma não foi aceita pelo então responsável, Theodore Lyman, unicamente pelo fato de se tratar de uma mulher (PAYNE-GAPOSCHKIN, 1996). Com a negativa, Shapley agiu para que Payne pudesse se tornar PhD em Astronomia, o que ocorreu em 1925, sendo a primeira pessoa no Radcliffe College e em toda Universidade de Harvard a obter tal titulação.

Sua tese de doutorado (PAYNE, 1925.a), *Stellar Atmospheres – A Contribution to the Observational Study of High Temperatures in the Reversing Layers of Stars* (Atmosferas Estelares – Uma Contribuição ao Estudo Observacional de Altas Temperaturas em Camadas mais Internas da Atmosfera das Estrelas; livremente traduzido pelo autor), foi escolhida como a edição número um de uma série de monografias do Observatório de Harvard, publicadas com intuito comercial e que consolidava o recém criado Departamento de Astronomia (MOORE, 2020).

Sua relevância residiria em aplicar um método quantitativo, proveniente da teoria da ionização térmica, combinada à análise da intensidade de linhas de placas espectrográficas, para estabelecer uma escala de temperatura para a atmosfera estelar, demonstrando como a teoria da ionização térmica, de fato, se adequaria às condições de produção dos espectros de radiação, o que levou à conclusão de que a composição das estrelas é uniforme, apresentando diferentes espectros devido à condições físicas (pressão e temperatura) distintas, não por sua constituição. Posteriormente, tal teoria e a escala de temperatura obtida foram empregadas na medida da abundância relativa dos elementos químicos nas estrelas, com resultados que apontaram a possibilidade de que estes corpos celestes seriam compostos majoritariamente pelos dois elementos mais simples da tabela periódica, o hidrogênio e o hélio (STRUVE, 1926; PAYNE-GAPOSCHKIN, 1996; GINGERICH, 2001; HEARNshaw, 2014; MOORE, 2020).

---

<sup>24</sup> Entrevista de Cecilia Payne-Gaposchkin a Owen Gingerich em 5 de março de 1968; Niels Bohr Library & Archives, American Institute of Physics, College Park, MD USA. Disponível em <[www.aip.org/history-programs/niels-bohr-library/oral-histories/4620](http://www.aip.org/history-programs/niels-bohr-library/oral-histories/4620)>. Acesso em 02 mai 2021.

A hipótese de Payne quanto à composição estelar foi inicialmente recebida com reservas, pois confrontava diretamente a conjectura amplamente aceita (DeVORKIN, 2010), ou, na aceção de Fleck, com o estilo de pensamento, no qual as estrelas seriam formadas majoritariamente por elementos químicos mais complexos. Nesse sentido, uma das principais influências viria de Henry Norris Russell (1877 – 1957), que atuou como consultor externo na orientação da tese de doutorado de Payne, como colocado na seção 4.1, por seu domínio em relação a Shapley.

Russell (1914) entendia que as estrelas teriam composição muito semelhante à crosta da Terra (Figura 16), assim, seus principais constituintes seriam sobretudo metais, como o ferro, percebidos a partir da presença de linhas fortes desses materiais nos espectros estelares, correlação de cunho qualitativo. Além disso, as amostras conhecidas de materiais que viriam

	Solar Spectrum, Dark Lines (Howland)	Chromosphere, Bright Lines (Mitchell)	Earth's Crust, Outer 10 Miles (Clarke)		Stony Meteorites (Merrill)	
1	Ca	Fe	O	49.85%	O	35.75%
2	Fe	Ti	Si	26.03	Fe	24.52
3	H	H	AL	7.28	Si	18.20
4	Na	Cr	Fe	4.12	Mg	13.80
5	Ni	Ca	Ca	3.18	S	1.85
6	Mg	V	Na	2.33	Al	1.45
7	Co	Sc	K	2.33	Ca	1.25
8	Si	Zr	Mg	2.11	Ni+Co	1.32
9	Al	C	H	0.97	Na	0.70
10	Ti	Mn	Ti	0.41	Cr	0.34
11	Cr	Mg	Cl	0.20	K	0.27
12	Sr	Ni	C	0.19	P	0.11
13	Mn	Ce	P	0.10		
14	V	Nd	S	0.10		
15	Ba	He	F	0.10		
16	C	Co	Ba	0.09		
17	Sc	Y	Mn	0.08		
18	Y	Sr	Sr	0.03		
19	Zr	Ba	Cr	0.025		
20	Mo	La	Ni+Co	0.018		
21	La	Sa	V	0.015		
22	Nb	Al	Zr	0.013		
23	Pd	Er	Cu	0.010		
24	Nd	Gd	Zn	0.004		
25	Cu	Na	Li	0.004		
26	Zn	Si	Pb	0.002		
27	Cd	Eu	Br	0.0006		
28	Ce	Zn	As	0.0004		
29	Gd	Dy	Cd	0.00002		
30	Ge	Cu	Allowance for all other elements 0.38			
31	Rh	Pr				
32	Ag	Nh				
33	Sn					
34	Pb					
35	Er					
36	K					

Fig. 16: tabela comparativa de Russell (1914), que compila resultados de diferentes pesquisadores para a presença dos elementos químicos em diferentes meios, em ordem de abundância. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/pdf/1638885.pdf>

de fora da Terra, como os meteoritos, possuiriam composição semelhante a do nosso planeta, o que serviria como evidência para essa concepção, que fomentaria uma origem em comum de todos os corpos do Sistema Solar através da homogeneidade de suas composições (GINGERICH, 2001). Outro importante astrônomo, Eddington, possuía modelos matemáticos para a estrutura estelar que se mostravam bem comportados quando os elementos principais em sua composição fossem silício, magnésio, alumínio, oxigênio e ferro (MOORE, 2020)

A tabela da Figura 16, compilada por Russell (1914), apresenta os elementos organizados por ordem de intensidade das linhas dos espectros solares e, portanto, de abundância, conforme entendido àquela altura, de acordo com medidas tomadas por meio de espectros de absorção do Sol e espectros de emissão da cromosfera solar, comparadas com a composição da crosta terrestre e de meteoritos rochosos. Russell (1914) coloca que *“ao comparar as listas de Rowland [coluna 1 da tabela da Fig. 16] e Clarke [coluna 3], deparamos imediatamente com o fato – um dos lugares-comuns da Astrofísica – de que os elementos não metálicos, com exceção do carbono e do silício, quase não estão representados no espectro solar. O único cujas linhas aparecem é o oxigênio - que é de 20 a 100 vezes mais abundante em materiais acessíveis do que todos os outros juntos (exceto C e Si, como acima). Se simplesmente aceitarmos esse fato (que ainda está sem explicação adequada), e excluirmos os elementos não metálicos da comparação, a semelhança entre a ordem dos elementos restantes nas duas listas é notável”* (p.792, livremente traduzido pelo autor). Apesar do hidrogênio aparecer em terceiro lugar nas colunas de Rowland e Mitchell, sua presença não foi comentada na referida publicação.

Em 1921, já ciente da teoria da ionização de Saha, Russell (1921) explica que estrelas de coloração branca<sup>25</sup>, que seriam mais quentes em relação às amareladas, apresentam linhas mais fortes de gases como o hélio, pois sua elevada temperatura teria ionizado completamente os vapores metálicos, não sendo mais possível visualizar suas linhas em um espectro, motivo pelo qual estrelas amareladas, como o Sol (mais frias em comparação com as brancas), apresentariam linhas metálicas fortes, pois a energia presente seria suficiente para ionizar átomos desse tipo, de modo a produzirem espectros com linhas na faixa do visível. No

---

<sup>25</sup> Na época, as estrelas brancas seriam aquelas com temperatura superior a das estrelas amarelas e vermelhas, respectivamente (RUSSEL, 1921). Corresponderiam às classes espectrais B, A e F (PAYNE, 1925.a).

entanto, permanecia com a defesa de que os vapores metálicos compunham a parte principal da massa das estrelas como um todo.

No ano de 1924, quando Cecília Payne dedicava-se ao seu doutorado, Russell e Karl Taylor Compton (1887 – 1954) relataram uma explicação para o que seria um problema do hidrogênio. As linhas mais fortes se davam devido a um estado metaestável desse tipo de átomo, o que também poderia ocorrer com o hélio, favorecido pelas condições apresentadas pelas atmosferas estelares. Dessa maneira, suas abundâncias seriam menores do que os espectros poderiam suscitar (RUSSELL; COMPTON, 1924).

#### **4.6. ATMOSFERAS ESTELARES: A TESE DE DOUTORADO DE PAYNE**

A tese de doutorado de Cecília Payne (PAYNE, 1925.a) está dividida em três partes. A primeira traz uma revisão sobre conceitos centrais da Física Quântica e da Astrofísica, essenciais para a compreensão de sua pesquisa. Na segunda parte, é introduzida a teoria da ionização térmica de Saha e são estabelecidas relações com conceitos amplamente empregados na Astrofísica Estelar, como temperatura, pressão e suas implicações nas características dos espectros luminosos. Por fim, na terceira são explicitadas etapas que conduzem ao conhecimento da abundância relativa dos elementos químicos em diferentes estrelas.

No período em que Payne se mudou para os Estados Unidos, no início da década de 1920, o que hoje se denomina Física Moderna e Contemporânea era um ramo do conhecimento ainda recente, em plena ebulição de novos e transformadores conceitos, como o refinamento dos modelos de estrutura atômica e sua relação com a formação de espectros de radiação, por exemplo. Por esse motivo, ela se preocupou em apresentar tais aspectos detalhadamente, uma vez que formariam os fundamentos das investigações a serem realizadas (*ibid.*).

A base para a compreensão da origem dos espectros analisados por Cecília Payne e as outras cientistas do Observatório de Harvard estava na teoria atômica de Bohr, que apresenta

diferentes arranjos dos elétrons em órbitas ao redor do núcleo atômico. Um elétron na órbita mais próxima ao núcleo atômico estaria no chamado estado fundamental, estado de menor energia, enquanto outro em um estado normal estaria originalmente posicionado em uma das demais órbitas possíveis, com valores maiores de energia (*ibid.*).

Um átomo em seu estado normal contaria com elétrons estáveis em suas órbitas. No entanto, há a possibilidade de transição dos elétrons entre as diferentes órbitas, o que ocorre através da interação entre matéria e energia. Quando a luz visível ou outra forma de radiação é produzida no interior de uma estrela, é necessário que ela atravesse uma série de camadas da estrutura estelar até que seja ejetada para o espaço. Tais radiações, eventualmente, podem ser interceptadas por um observatório terrestre, o qual registra um espectro, uma imagem do contínuo do feixe de energia inerente às radiações presentes na estrela (Figura 17) (*ibid.*). Na época, os espectros eram gravados sobre placas fotossensíveis, geralmente de vidro. Os filmes fotográficos existiam à época, entretanto costumavam ter sensibilidade alta e as imagens registradas ficavam muito claras, inutilizadas para o estudo (SOBEL, 2016; MOORE, 2020).

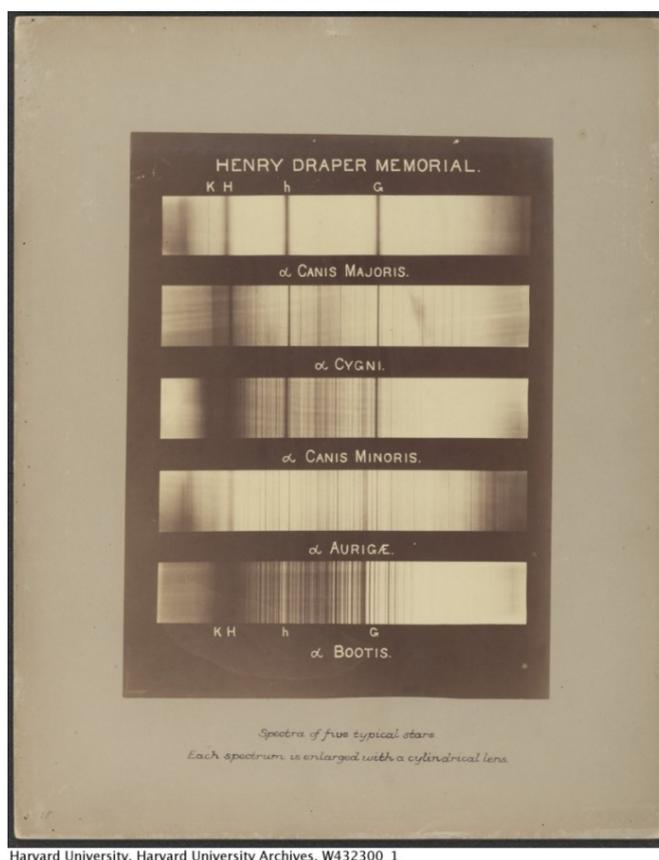


Fig. 17: Modelos de espectros de absorção estelares produzidos entre final do Séc. XIX e início do Séc. XX pelo Harvard College Observatory. Disponível em: <http://id.lib.harvard.edu/via/olvwor432300/catalog>; Imagem em domínio público.

Linhas de absorção, faixas escurecidas ou desbotadas sobre o fundo contínuo do espectro (Figura 17), são produzidas se um elétron absorve energia da radiação e transita para uma órbita mais energética, portanto, mais afastada do núcleo, tornando o átomo excitado, uma vez que a parcela da radiação relativa à determinada frequência foi capturada pelo elétron. Ao fazer o movimento contrário, indo para uma órbita de energia mais baixa, o elétron emite a radiação com a frequência que havia absorvido anteriormente, produzindo, assim, uma linha de emissão, mais clara que o fundo contínuo. Na ionização, um elétron absorve energia suficiente para escapar da influência do núcleo atômico, sendo ejetado do átomo, efeito que não produz linhas de absorção, mas que interfere na aparência dos espectros, deixando-os semelhantes ao do elemento químico predecessor na tabela periódica (PAYNE, 1925.a).

Como o valor do nível energético de cada órbita é diferente para átomos de cada tipo de elemento químico, molécula ou suas versões ionizadas, os espectros produzidos também são distintos entre si. A posição de cada linha registrada no contínuo do espectro indica o valor da energia correspondente à frequência ou ao comprimento de onda da radiação que a produziu, podendo produzir séries principais, quando há uma transição envolvendo elétrons em seu estado normal, ou séries subordinadas, quando os elétrons estão excitados. Desse modo, a análise das placas espectrográficas permitiria verificar quais elementos estão presentes nas estrelas analisadas, pois cada tipo deixa um rastro único, correspondente aos seus níveis energéticos, de modo análogo a uma pessoa que pode ser identificada por sua impressão digital (*ibid.*).

A intensidade das linhas de absorção no espectro seria um indicativo direto da quantidade dos elementos presentes na estrela, ou seja, quanto mais intensa for uma linha (mais escura, no caso de um espectro de absorção), maior seria a abundância desse elemento. Esse método serviu como base, por exemplo, na afirmação de que as estrelas teriam uma marcante presença de metais, como o cálcio, ferro e o titânio, em maior quantidade que o hidrogênio (*ibid.*). Cabe ressaltar que não seria equivocado relacionar a intensidade da linha à abundância de um elemento químico em si, mas sim em supor que, quanto mais intensa for essa linha, mais preponderante é o elemento que a produziu na composição da estrela como um todo em relação aos demais que geram linhas mais finas.

Payne tinha como princípio para si que um método puramente qualitativo não forneceria precisão suficiente para aferir os principais elementos presentes nas estrelas, uma

vez que era sabido, por Saha (1920; 1921), que fatores ambientais, como temperatura e pressão das diferentes camadas estelares, poderiam influenciar nas condições de registro dos espectros e modificar características das linhas, como, por exemplo, deixá-las mais fortes ou fracas ou deslocá-las sobre o fundo contínuo do espectro. Dessa forma, como exposto anteriormente, uma linha de absorção mais intensa não necessariamente implicaria que o elemento que a criou seja mais abundante que outro responsável por uma linha mais fraca. Portanto, não informaria diretamente qual a abundância relativa desses elementos em sua composição, ou seja, qual fração da composição da estrela corresponderia a dado elemento ou composto químico (*ibid.*).

A pressão, por exemplo, poderia deixar as linhas mais largas e desviá-las da posição esperada, o que se torna mais evidente quanto maior seu valor em determinada camada da estrela. Já a temperatura modificaria a intensidade das linhas. Linhas relativas ao estado fundamental de um átomo são mais fortes quando a temperatura da estrela é mais baixa, enquanto as linhas provenientes de outras órbitas eletrônicas ficariam mais intensas à medida que a temperatura aumenta (*ibid.*).

A teoria da ionização térmica de Saha tem importância, pois relaciona a capacidade de ionização de uma amostra de matéria com sua temperatura e pressão. Tanto o potencial crítico de excitação (energia presente na transição de um elétron de uma órbita em seu estado normal para outra mais externa ou mais interna), quanto o potencial crítico de ionização (energia fornecida a um elétron para que ele seja removido ao infinito, ou seja, para que escape da influência do núcleo atômico), dependem da temperatura. A partir da estimativa da temperatura e da pressão para as camadas estelares, a teoria da ionização permitiria conhecer o número de átomos de cada tipo disponíveis para serem ionizados, ou seja, que são capazes de contribuir na formação de um espectro, principal recurso para desvendar suas abundâncias relativas na estrela (*ibid.*).

Para esse processo, uma atenção especial recai sobre a *reversing layer* (Figura 18), uma fina camada estelar de transição entre a fotosfera, a região visível de uma estrela, mais densa e opaca em relação às camadas mais externas, e a cromosfera, região mais superficial e com densidade menor, geralmente não visível devido ao maior brilho da fotosfera. A *reversing layer* seria uma camada tão fina que sua opacidade seria desconsiderada (*ibid.*). Atualmente, o termo se encontra em desuso, pois entende-se que a transição ocorre da fotosfera para a cromosfera, não havendo necessidade de uma camada extra. Na época

(RUSSELL; STEWART, 1924), fotosfera, *reversing layer* e cromosfera, em conjunto com a coroa mais externamente, compunham a atmosfera estelar.

O caminho percorrido pela radiação através das camadas estelares (Figura 18) para a construção de um espectro estelar padrão era bem conhecido na época. No sentido do centro para fora da estrela, a radiação é emitida prioritariamente pela fotosfera e, então, emerge na *reversing layer* e na cromosfera, onde ocorre a absorção de determinadas frequências pelos diferentes tipos de átomos presentes, acarretando um espectro de absorção, caracterizado por linhas escuras em um fundo contínuo, esse último formado pela radiação remanescente da fotosfera que chegou à placa fotográfica onde o espectro foi registrado (Figura 17) (PAYNE, 1925.a).

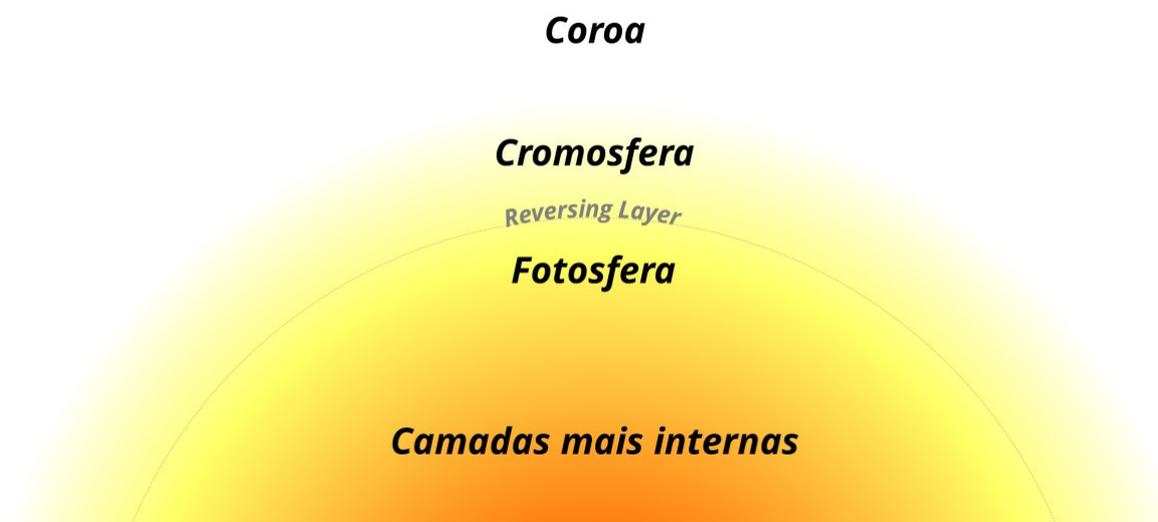


Fig. 18: Representação simplificada e fora de escala de uma estrutura estelar. A “*reversing layer*”, camada atualmente em desuso, estaria localizada entre a fotosfera e a cromosfera, representada pela tênue linha em cinza.

A *reversing layer* e a cromosfera seriam as principais responsáveis pelos fenômenos solares estudados através de espectros (RUSSELL; STEWART, 1924; PAYNE, 1925.a). Payne (1925.a) afirma, diante dessas colocações, que essas camadas representariam somente  $10^{-11}$  da massa solar e  $10^{-9}$  de seu volume, salientando que, por tal obstáculo, muitos aspectos da constituição estelar permaneceriam desconhecidos. Essa limitação tornava-se maior ao considerar que somente cerca de 25% dos espectros estelares catalogados em Harvard tinham suas linhas relacionadas a elementos e compostos químicos conhecidos ou suas formas

ionizadas. Os demais eram formados, principalmente, por linhas muito finas e de baixa resolução, que dificultavam suas análises.

Outro conceito empregado na investigação da temperatura era o de temperatura efetiva, estimativa fictícia atribuída à estrela como um todo, que seria equivalente à temperatura de um corpo negro hipotético que emitiria a mesma quantidade total de radiação eletromagnética por unidade de área em dado intervalo de tempo. De modo geral, a temperatura efetiva representaria a temperatura da fotosfera, camada visível de uma estrela, imediatamente abaixo da *reversing layer*. À época, sabia-se que a temperatura de uma estrela decresceria de seu núcleo para fora até encontrar a fotosfera, portanto, a temperatura efetiva serviria como referencial para a estimativa de um gradiente de temperatura para a transição entre a fotosfera e a cromosfera e seria essa temperatura que Payne estimaria em sua investigação (*ibid.*).

Em uma região onde há baixa pressão e pequena concentração de matéria, como é o caso da *reversing layer* em comparação à fotosfera e outras camadas estelares mais internas, a ionização térmica seria a principal forma de ionização atômica em detrimento, por exemplo, das colisões, pois a energia captada pelos elétrons para que o átomo seja ionizado provém do próprio ambiente ao redor, justificando a construção de uma escala de temperatura (*ibid.*).

Toda a dureza do processo não demonstra o quanto ele foi penoso para Payne. Apesar da experiência com física nuclear, de quem aprendeu sobre os modelos atômicos de Rutherford e Bohr diretamente com os próprios, os anos sob a tutela de Eddington, consolidado como um dos astrônomos mais prestigiados do mundo após a publicação dos resultados do eclipse de 1919, os fundamentos da teoria de Saha e as orientações recebidas de Milne, em Cambridge, havia problemas práticos nesse caminho. Um deles era, justamente, como extrapolar linhas presentes em placas de espectros minúsculos (Figura 19. A imagem da Figura 17 é uma ampliação em relação aos espectros originais) para delas extrair informações que fossem condizentes com a base matemática, o que ela posteriormente conseguiu (seção 4.7), inicialmente para estrelas quentes (MOORE, 2020).

O fato das estrelas serem quentes não foi mero acaso, nem fruto da busca científica. No mesmo período que Payne trabalhava em sua tese, Russell enviou para o Observatório de Harvard um de seus estudantes de doutorado, Donald Menzel (1901 – 1976), para procurar, em meio à extensa coleção de placas espectrográficas, evidências que embasassem

fisicamente os conceitos da teoria de Saha através da análise dos espectros de radiação, ou seja, a mesma questão que Payne investigava. Russell reclamou, em carta para Shapley, que se soubesse que Payne estava estudando o mesmo tópico teria orientado Menzel a pesquisar outro assunto. Como um acordo, foi estabelecido que Menzel trabalharia com estrelas frias, que seriam mais ricas em metais neutros (não ionizados), enquanto Payne acessaria as placas das estrelas quentes (PAYNE-GAPOSCHKIN, 1996; MOORE, 2020).

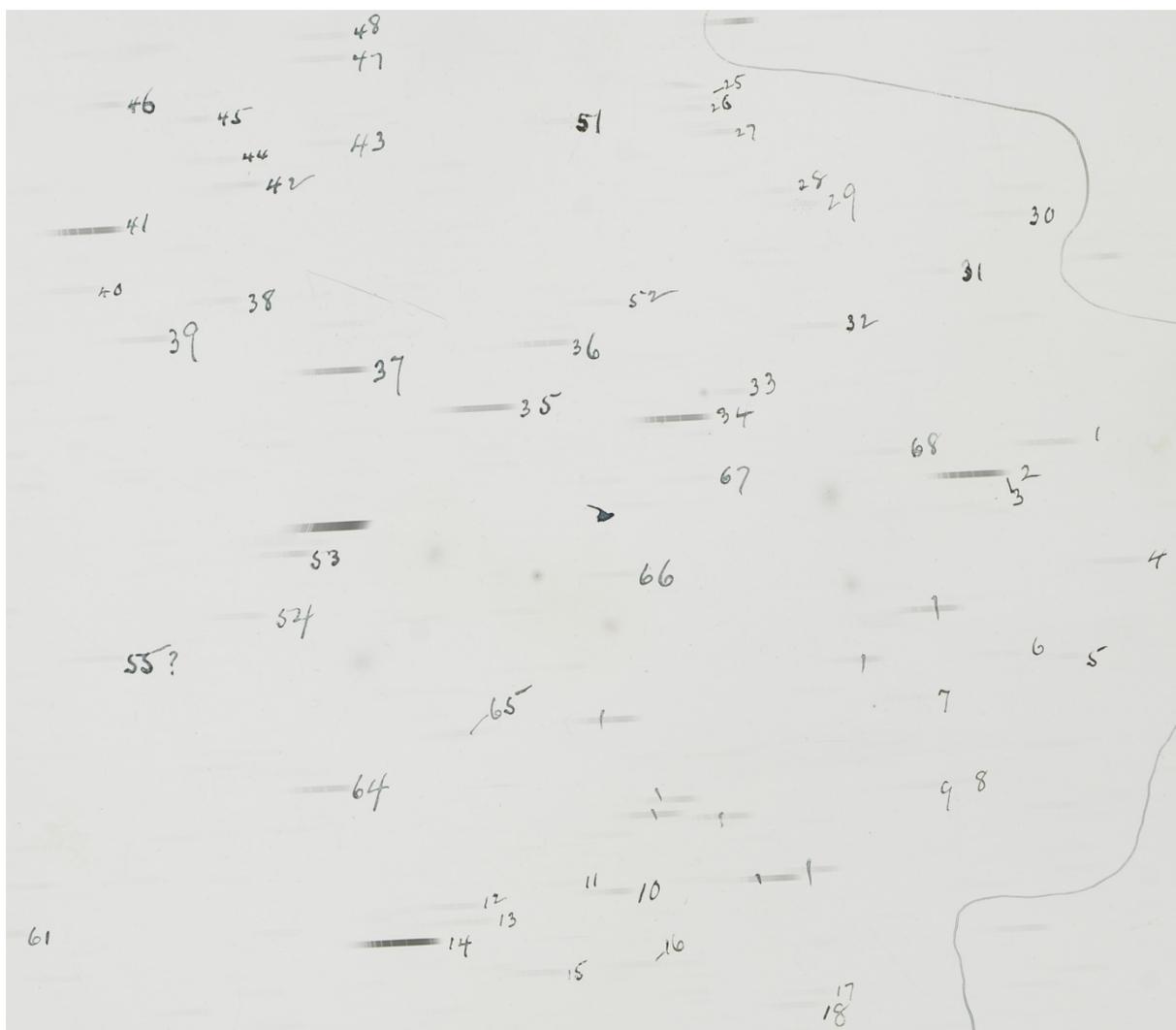


Fig. 19: placa espectral I38727, obtida em 24 de março de 1914, representa os muitos espectros de absorção, cada um de uma estrela diferente, que podem ser obtidos em uma mesma exposição. A fotografia está em negativo, portanto as pequenas linhas claras são as linhas escuras de absorção. Créditos: Harvard College Observatory, Photographic Glass Plate Collection. Publicado sob autorização do Center for Astrophysics | Harvard & Smithsonian (a autorização está presente no Apêndice).

Por sua vez, Payne se sentiu mais motivada para trabalhar no assunto, o que, aliada a cobrança de Shapley, que queria ter sua tese publicada para firmar a criação do Departamento de Astronomia, rendeu horas de trabalho direto no observatório e pilhas de maços de cigarro consumidos, pois ela “*fumava como uma chaminé*” (HOFFLEIT, 2001; MOORE, 2020). Porém, houve certa mágoa por não ter sido incentivada a trabalhar com Menzel, uma vez que entendia que ambos poderiam ter chegado a resultados mais robustos trabalhando em equipe (PAYNE-GAPOSCHKIN, 1996).

#### ***4.7. ALCANÇANDO A ABUNDÂNCIA RELATIVA DOS ELEMENTOS QUÍMICOS NAS ESTRELAS***

Saha (1920; 1921), em sua teoria da ionização térmica, apontou a relevância do processo na produção dos espectros estelares, através de uma abordagem que envolvia bases da Termodinâmica e da Mecânica Estatística. Tal aporte teria permitido calcular a fração de átomos ionizados em camadas da atmosfera estelar em função da temperatura e da pressão. Essa quantidade estaria relacionada com a espessura de uma linha de absorção, que depende, dentre outros fatores, da quantidade de átomos adequados a absorver radiação de determinada frequência por unidade de volume.

Ao analisar o comportamento de uma mesma linha de um elemento em espectros de estrelas de classes espectrais distintas, seria possível perceber o máximo de absorção. Com a identificação do máximo, a linha perderia força ao ser verificada nas classes espectrais vizinhas, reduzindo em espessura e nitidez, até chegar ao limite da visibilidade, dando origem a uma aparição marginal. Posteriormente, a linha desaparece por ausência de contraste com o fundo contínuo do espectro. Assumindo uma quantidade mínima de átomos necessária para criar a aparição marginal e o valor da pressão na atmosfera estelar, Saha (1921) organizou uma escala de temperatura estelar para as diferentes classes espectrais, fornecendo uma base empírica para a ideia, até então qualitativa, de que a temperatura seria o fator determinante em sua classificação.

Fowler e Milne (1923), por sua vez, adaptaram a teoria da ionização térmica atribuindo maior importância ao máximo de intensidade das linhas de absorção, que possuiria

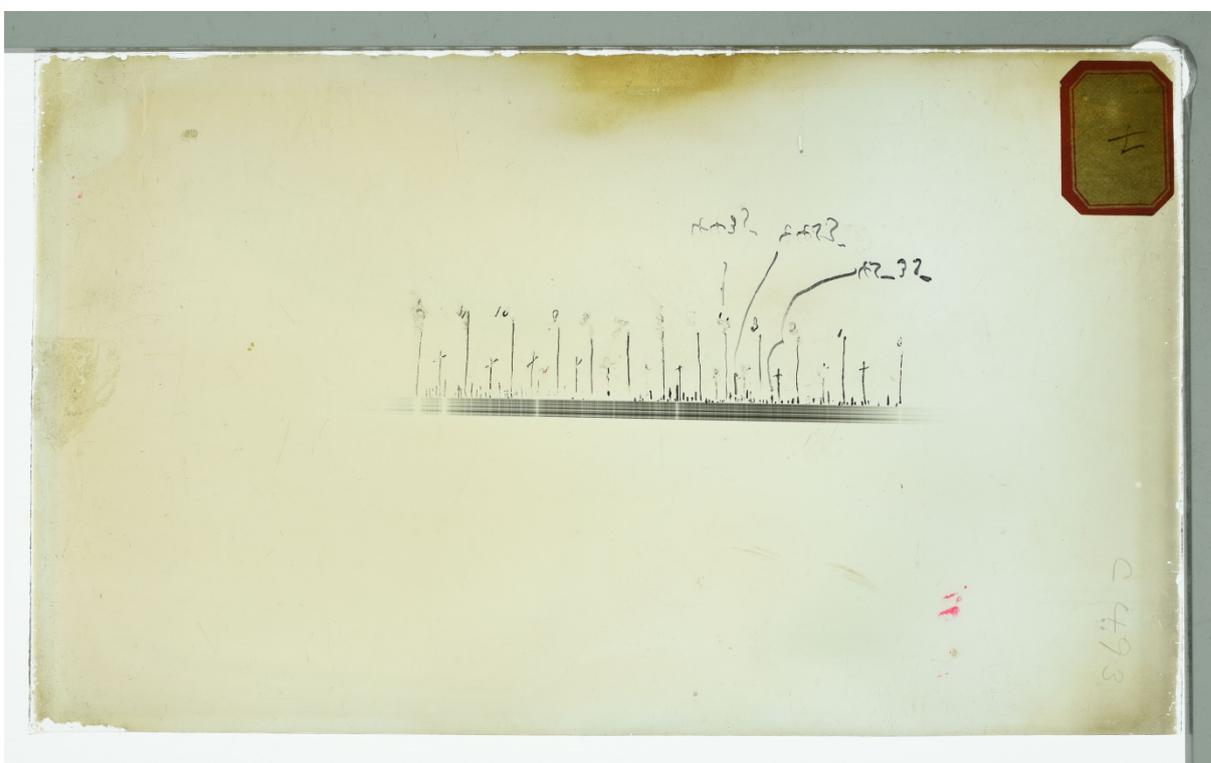
identificação mais precisa que a aparição marginal, para também medir o número de átomos que contribuem na formação das linhas. Para estes pesquisadores, a aparição marginal dependeria diretamente da abundância relativa dos elementos químicos, pois uma linha fraca poderia ser produzida pela pouca quantidade do elemento, não necessariamente pela baixa ionização. Esse empecilho não era encontrado com o máximo, uma função do grau de ionização do elemento que depende da temperatura e da pressão, duas grandezas físicas que eles igualmente pretendiam mensurar.

Por meio dessa abordagem, Fowler e Milne (1923) desenvolveram um método para medir a concentração máxima teórica relacionada ao máximo da intensidade da linha de absorção, o que auxiliou na determinação mais acurada da pressão e da escala de temperatura. Também apontaram possíveis desdobramentos da teoria da ionização térmica, pois acreditavam que *“quando as bases da teoria forem estabelecidas, uma discussão das aparições marginais deve fornecer mais tarde informações importantes sobre a abundância relativa e o número mínimo de átomos necessários para a aparição”* (p. 404, livremente traduzido pelo autor) e que *“investigadores que tiverem acesso a extensas coleções de espectros estelares serão capazes de fazer determinações mais exatas das posições dos máximos de absorção das linhas, cujas relações de série são conhecidas, do que nós fomos capazes de fazer”* (p. 424, livremente traduzido pelo autor).

Payne tinha acesso a uma extensa coleção de placas espectrográficas (Figura 20) no Observatório de Harvard, que serviu de base para seu teste da teoria da ionização térmica, utilizando tanto o conceito do máximo de absorção, empregado para a construção de uma escala de temperatura para a *reversing layer* nas diferentes classes espectrais, quanto o de aparição marginal das linhas espectrais, pois também era de seu interesse determinar a abundância relativa dos elementos químicos na atmosfera estelar a partir das temperaturas previamente estabelecidas (PAYNE, 1925.a).

Dada a baixa temperatura em relação à fotosfera e às camadas mais altas da atmosfera estelar, os elementos químicos presentes na *reversing layer* tenderiam a estar em seu estado normal, não excitado, caso não se agrupem em moléculas, o que influencia na localização dos máximos de intensidade e aparições marginais. Por conta disso, predominam os espectros com linhas de séries principais, caracterizadas por serem mais acentuadas. Estrelas mais frias têm séries principais mais proeminentes, formadas por linhas de Fe, Ti, Cr e Mn e séries subordinadas para Ca e Fe, todas para átomos neutros. À medida que se avança entre as

classes espectrais em direção às estrelas mais quentes, tais linhas se tornam mais fracas. Nesse caso, linhas de átomos ionizados ficam mais fortes e aproximam-se de seu máximo, como ocorre com  $Mg^+$ ,  $C^+$  e  $Si^+$  (PAYNE, 1925.a). Supostamente, como Menzel tinha por objetivo perceber que a composição das estrelas respeita a proporção dos elementos conforme encontrados na crosta terrestre, seria mais vantajoso a ele trabalhar com as estrelas mais frias e deixar as mais quentes para Payne, como ocorreu na divisão estabelecida por Shapley e Russell (MOORE, 2020).



*Fig. 20: placa espectral C493, com espectro de absorção da estrela Procyon (alfa da constelação Cão Maior), que foi utilizada por Cecilia Payne no estudo de sua tese de doutorado para mensurar a intensidade das linhas espectrais. O espectro, obtido em 1887, está em negativo, por isso as linhas escuras que caracterizam a absorção são aquelas mais claras que as demais. Créditos: Harvard College Observatory, Photographic Glass Plate Collection. Publicado sob autorização do Center for Astrophysics | Harvard & Smithsonian (a autorização está presente no Apêndice).*

Porém, Cecilia Payne estava diariamente no Observatório de Harvard, e nada a impediria de utilizar as placas que julgasse necessárias. Ela obteve novos dados, empregando dois grupos de espectros como base, para a análise da teoria da ionização. No primeiro grupo, usou linhas do espectro de Alfa do Cisne como parâmetro para a construção de uma escala de medidas de intensidade, apenas para estrelas consideradas quentes. No segundo, empregou o

espectro solar com a mesma finalidade, para estrelas frias e algumas poucas estrelas quentes. Dessa maneira, construiu uma escala arbitrária de intensidade que ajudaria na identificação dos máximos de intensidade. Com o emprego da formulação de Fowler e Milne, que permite estimar a temperatura na qual dada linha atinge seu máximo, e admitindo um valor constante para a pressão parcial de elétrons, da ordem de  $10^{-4}$  atmosferas, Payne pôde montar uma escala de temperatura para a *reversing layer* de acordo com as diferentes classes espectrais (PAYNE, 1925.a; DeVORKIN; KENAT, 1983).

Payne (1924.b) adaptou um método para conseguir estimar as intensidades das linhas espectrais, atribuídas de forma arbitrária por comparação com o espectro adotado como parâmetro. Com o uso das placas espectrais, eram obtidos gráficos da intensidade pelo comprimento de onda da linha. O primeiro elemento químico que teria feito sentido a ela foi o silício (Figura 21), que se tornou seu elemento favorito (PAYNE-GAPOSCHKIN, 1996).

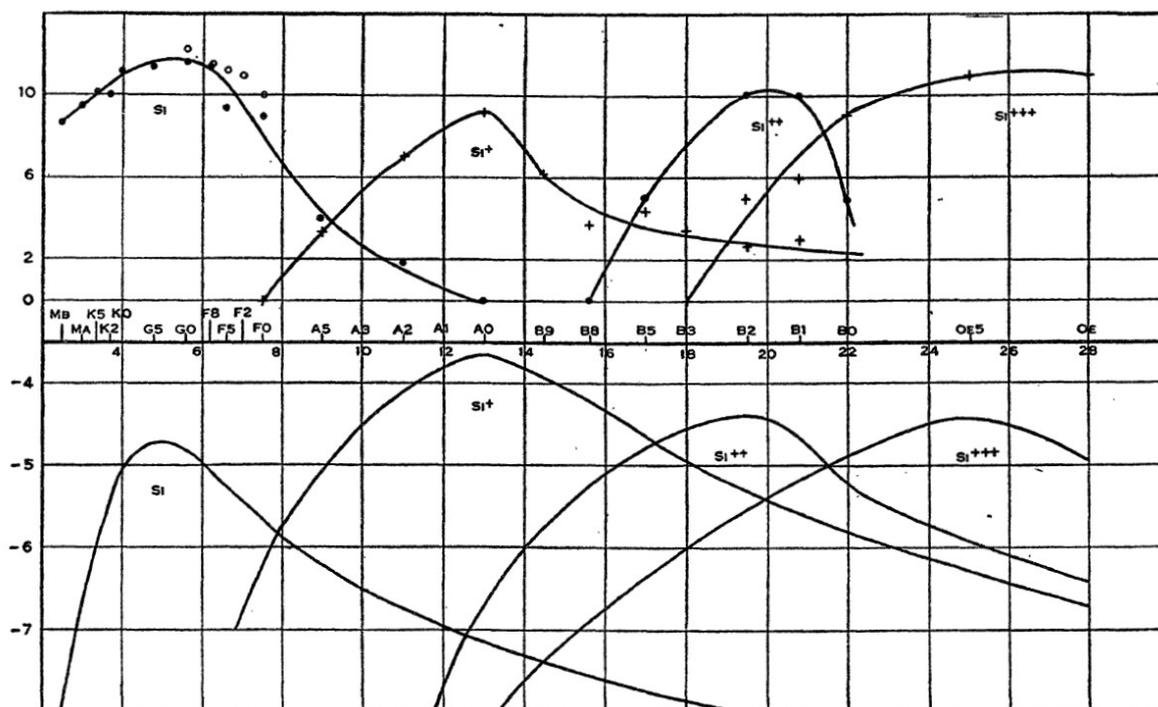


Fig. 21: Gráficos de Payne (1924.b), com máximos de intensidade das quatro diferentes formas de silício [neutro (Si) ou uma (Si+), ou duas (Si++) ou três vezes ionizado (Si+++)]. As curvas de cima mostram o comportamento da intensidade da linha (eixo vertical) em relação às classes espectrais distintas (eixo horizontal). As curvas de baixo trazem o logaritmo da concentração fracional (eixo vertical) pela temperatura (eixo horizontal), medida em milhares de Kelvin. Disponível em <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/1924HarCi.252....1P/abstract>.

Ao analisar 236 placas previamente identificadas com linhas desse elemento, Payne conseguiu perceber que as quatro formas diferentes do átomo de silício (neutro ou uma, ou

duas ou três vezes ionizado) possuíam máximos de intensidade (linhas mais fortes) em classes espectrais diferentes (Figura 21). A partir dessa constatação, com o uso da formulação de Fowler e Milne (1923), ela teria conseguido estabelecer a temperatura das respectivas classes espectrais, notando que o máximo de intensidade ocorria para temperaturas mais elevadas quanto maior fosse o nível de ionização do elemento (PAYNE, 1924.b).

Na parte de cima da Figura 21 estão apresentadas as curvas obtidas por Payne (1924.b) a partir das medidas das intensidades das linhas, com os respectivos máximos de intensidade, enquanto a parte de baixo mostra as curvas teóricas extraídas da teoria da ionização térmica de Saha, na versão aprimorada por Fowler e Milne. A correlação entre os resultados mostrou que o método estabelecido por Payne conseguiu integrar as previsões teóricas com as placas espectrográficas do mundo real. O extenso trabalho feito para o silício foi repetido (PAYNE, 1924.c) para o carbono, hélio, estrôncio (Figura 22) e, posteriormente, para outros elementos.

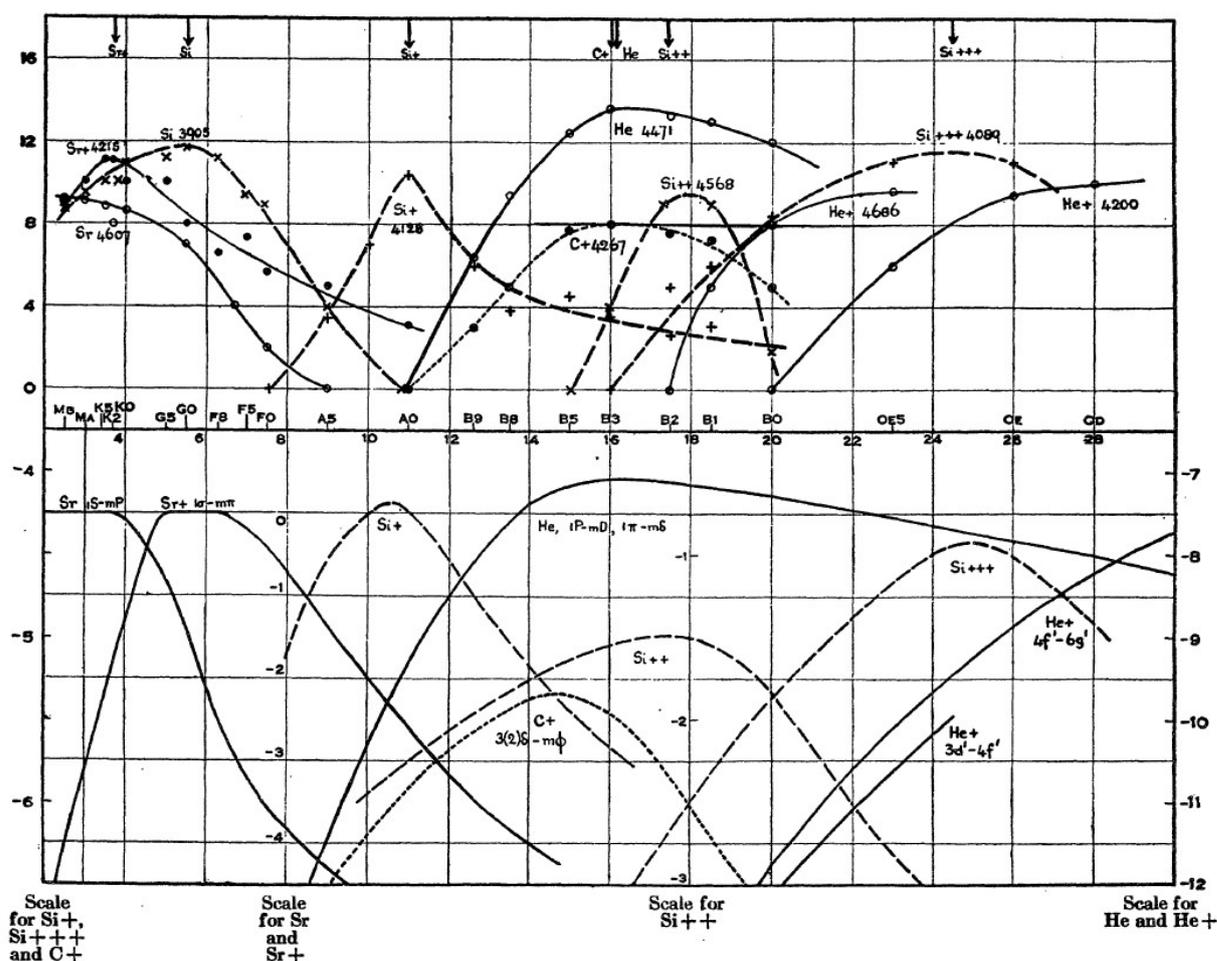


Fig. 22: Curvas de intensidade obtidas através de medidas (acima) em comparação com as previstas teoricamente (abaixo), para Silício, carbono, hélio, estrôncio e suas formas ionizadas, obtidas por Payne (1924.c). Disponível em <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/1924HarCi.256....1P/abstract>.

Esse procedimento permitiu encontrar a temperatura da classe espectral na qual tais elementos apresentavam seus máximos de intensidade. Assim, foi possível estabelecer uma escala de temperatura para as estrelas de diferentes classes espectrais (Figura 23) (PAYNE, 1925.a). Com tal escala determinada, as portas estavam abertas para testar outras possibilidades da teoria.

Element	Maximum	Temperature	Element	Maximum	Temperature
He+	O	35000°	Ti	K <sub>2</sub> -K <sub>5</sub>	3500°
Si+++	O	25000	Mn	K <sub>2</sub>	5000
Si++	B <sub>2</sub> -B <sub>1</sub>	18000	Fe	K <sub>2</sub>	5000
He	B <sub>3</sub>	16000	V	K <sub>5</sub>	3500
C+	B <sub>3</sub>	16000	Cr	K <sub>5</sub>	3500
Si+	A <sub>0</sub>	11000	Sr+	Ma	6000
H	A <sub>0</sub>	10000	Ba+	None	5500
*Zn	G <sub>0</sub>	8000	Ca	Ma	4500
*Ca+	K <sub>0</sub>	6000			

\* Estimates by Menzel, H. C. 258, 1924.

Fig. 23: Tabela de Payne (1925.a), com a escala de temperatura obtida para as diferentes classes espectrais, com exceção das classes G<sub>0</sub> e K<sub>0</sub>, encontradas por Menzel. As temperaturas estão medidas na escala de graus centígrados absolutos, atual escala Kelvin. Disponível em <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/1925PhDT.....1P/abstract>

Os espectros, que permitiram conhecer características físicas das estrelas, também auxiliaram a conjecturar que havia uma uniformidade na composição estelar. Uma evidência seria que muitas amostras de espectros seriam idênticas, no entanto, maior importância estaria no fato de que, mesmo aqueles espectros que apresentavam diferenças entre si, poderiam ser agrupados em classes homogêneas ao longo de uma série contínua, demonstrando uma distribuição uniforme, semelhante ao que Annie Jump Cannon e outras astrônomas em Harvard haviam feito ao classificar as classes espectrais (SOBEL, 2016). Além disso, a teoria da ionização térmica forneceria um aporte para explicar as diferenças que surgiriam entre uma classe e outra, devido às temperaturas e pressões distintas (PAYNE, 1925.a), ou seja, seriam as diferenças dos valores dessas duas condições físicas nas estrelas que produziriam espectros diferentes, não sua composição química, achado muito bem acolhido pelo coletivo de pensamento (MOORE, 2020).

O problema viria em seguida. Com as temperaturas da *reversing layer* estimadas e a hipótese da uniformidade das composições bem assegurada pela teoria e pelos dados obtidos, Payne passou a empregar tais conhecimentos para a determinação das abundâncias relativas dos elementos nas atmosferas estelares. Quando uma linha espectral é espessa, entende-se que a quantidade ionizável do elemento, em dada camada da atmosfera estelar, é relativamente alta, especificamente para aquele elemento que a constituiu. Por consequência, quando a linha começa a se tornar menos larga, significa que o número de átomos disponíveis para absorção teria diminuído. Para que uma mesma linha fosse capaz de manter sua espessura, a radiação deveria vir de níveis cada vez mais profundos, uma vez que a temperatura se tornaria maior e por consequência elevaria o número de átomos ionizáveis por radiação térmica (PAYNE, 1925.a).

Assim, linhas largas poderiam emergir de diferentes profundidades da atmosfera estelar, chamadas de nível efetivo. À medida que a linha se torna mais fina, o nível efetivo se move em direção às camadas mais baixas da atmosfera da estrela. A redução da largura da linha espectral mostraria que sua parte central é formada em uma profundidade cada vez maior, uma vez que é a última a desaparecer. O afinamento da linha ocorre enquanto o nível efetivo desce, em um processo que pode intensificar até que ele atinja a fotosfera, ou seja, coincidindo com a *reversing layer*, formando uma aparição marginal. Isso significa que, na aparição marginal, todos os átomos de um mesmo tipo acima da *reversing layer* estariam contribuindo para a formação daquela linha, o que justifica sua relevância na investigação da composição das atmosferas estelares como um todo (*ibid.*).

A linha escura que representa o máximo de absorção não é formada por uma única linha, mas sim por uma linha larga central cercada por linhas mais finas nos extremos, chamadas asas. Quanto maior a distância entre as asas, significa que a radiação que formou tais linhas saiu de uma camada mais profunda. Se as asas estão menos espalhadas, que é o caso comum à maioria dos elementos, significa que a radiação veio de uma região mais alta da atmosfera estelar (*ibid.*).

A aparição marginal forneceria a classe espectral na qual certa linha foi observada pela última vez, o que permitiria conhecer sua temperatura, através da escala feita por Payne. Na aparição marginal, a quantidade de átomos adequados à ionização corresponderia a apenas uma fração do total de átomos de um mesmo tipo presentes na atmosfera estelar, quantidade chamada por Fowler e Milne de concentração fracional, que pode ser mensurada a partir do

seu desenvolvimento da teoria da ionização térmica. Em outras palavras, o número de átomos que formam uma linha na aparição marginal é igual a concentração fracional (PAYNE, 1925.a; PAYNE, 1925.b).

Payne assumiu que, para a concentração fracional, a quantidade de átomos requeridos para que as linhas de aparição marginal se formassem fosse a mesma para qualquer tipo de átomo, assim estabelecendo uma mesma base comparativa. Dessa forma, supôs que a eficiência de absorção de cada átomo, individualmente, deveria ser a mesma, justificada a partir da igualdade de condições de pressão, que seria baixa na atmosfera estelar e implicaria na maior parte da ionização ocorrendo devido à ionização térmica e não à colisões entre os átomos, e da escala de temperatura considerada para a atmosfera estelar, cuja variação, em diferentes profundidades, não comprometeria a quantidade de energia necessária para a ocorrência da ionização. O tempo de recombinação de cada átomo, após ser ionizado, também seria da mesma ordem para todos os tipos (PAYNE, 1925.a; PAYNE, 1925.b).

Consequentemente, uma maior concentração fracional seria um indicativo de que a abundância desse elemento seria igualmente maior, uma vez que mais átomos estariam adequados à ionização dentro de uma mesma quantidade, em comparação com o mínimo necessário à formação da aparição marginal. Seria possível, a partir do recíproco da concentração fracional calculada por meio da formulação de Fowler e Milne (1923), estabelecer uma abundância relativa do elemento em questão (Figura 24).

TABLE XXVIII

Atomic Number	Atom	Log $a_r$	Atomic Number	Atom	Log $a_r$	Atomic Number	Atom	Log $a_r$
1	H	11	13	Al	5.0	23	V	3.0
2	He	8.3	14	Si	4.8	24	Cr	3.9
	He+	12		Si+	4.9	25	Mn	4.6
3	Li	0.0		Si+++	6.0	26	Fe	4.8
6	C+	4.5	19	K	3.5	30	Zn	4.2
11	Na	5.2	20	Ca	4.8	38	Sr	1.8
12	Mg	5.6		Ca+	5.0		Sr+	1.5
	Mg+	5.5	22	Ti	4.1	54	Ba+	1.1

Fig. 24: Tabela de Payne (1925.a) com o logaritmo da abundância relativa em estrelas de diferentes elementos químicos. Disponível em <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/1925PhDT.....1P/abstract>

Na tabela da Figura 24, foi apresentado por Payne (1925.a) o logaritmo da abundância relativa para 18 elementos distintos, sendo que  $a_r$  indica a abundância relativa. Por exemplo, para o hidrogênio, como  $\log a_r = 11$ , logo  $a_r = 10^{11}$ . A abundância relativa ganha significado, como seu nome sugere, ao ser comparada com a de outro elemento. Para o ferro,  $a_r = 10^{4.8}$ , dessa forma, o hidrogênio seria abundante  $10^{11} / 10^{4.8} = 10^{6.2}$  vezes mais que o ferro na atmosfera estelar, ou seja, existiria mais de um milhão e quinhentas mil vezes mais átomos de hidrogênio do que ferro.

Cecilia Payne, em um primeiro momento, não estava plenamente à vontade com seu achado, pois as abundâncias relativas de hidrogênio e hélio estavam longe daquelas existentes na Terra. No entanto, cada esforço para refazer os procedimentos a procura de fontes de erro retornava à mesma conclusão. Como os resultados estavam conforme o esperado para os elementos metálicos e a teoria da ionização já havia se mostrado consistente com os dados reais, ela acabou por se convencer (MOORE, 2020). Agora, ela se encontrava diante de um impasse, que não tinha sua origem nas questões internas da ciência.

#### **4.8. DESDOBRAMENTOS DA TESE DE PAYNE**

Os resultados encontrados por Payne (1925.a) apontavam similaridades entre a composição das atmosferas estelares e da crosta terrestre (Figura 25), que seriam constituídas, majoritariamente, por elementos mais leves, considerados aqueles com número atômico abaixo de trinta, conforme Russell teria apontado, anos antes, ao considerar uma análise qualitativa dos espectros estelares (RUSSELL, 1914).

Na tabela da Figura 25, a abundância estelar está representada em porcentagem relativa. Apenas dezesseis, dos dezoito elementos investigados, estão presentes na mesma, pois foram omitidos os resultados encontrados para hidrogênio e hélio. Payne (1925.a) argumenta que:

As discrepâncias excepcionais entre as abundâncias astrofísicas e terrestres são evidentes para hidrogênio e hélio. A enorme abundância derivada desses

elementos na atmosfera estelar quase certamente não é real. Provavelmente, o resultado pode ser considerado, para o hidrogênio, como outro aspecto de seu comportamento anormal, já aludido; e o hélio, que tem algumas características do comportamento astrofísico em comum com o hidrogênio, possivelmente se desvia por razões semelhantes. As linhas de ambos os átomos parecem ser muito mais persistentes, em altas e baixas temperaturas, do que as de qualquer outro elemento. (p. 188-189, livremente traduzido pelo autor)

TABLE XXIX

Atomic Number	Atom	Stellar Abundance	Terrestrial Abundance		Abundance Stony Meteorites
			Crust	Whole Earth	
14	Si	5.7	16.2	9.58	11.2
11	Na	5.7	2.02	0.97	0.6
12	Mg	4.2	0.42	3.38	2.8
13	Al	3.6	4.95	2.66	1.1
6	C	3.6	0.21	....	....
20	Ca	2.9	1.50	1.08	0.56
26	Fe	2.5	1.48	46.37	5.92
30	Zn	0.57	0.0011	....	....
22	Ti	0.43	0.241	0.12	....
25	Mn	0.36	0.035	0.06	....
24	Cr	0.29	0.021	0.05	0.29
19	K	0.11	1.088	0.38	0.10
23	V	0.05	0.0133	....	....
38	Sr	0.002	0.0065	....	....
54	Ba	0.005	0.0098	....	....
3	Li	0.0000	0.0829	....	....

Fig. 25: tabela de Payne (1925.a) que compara a abundância relativa de diferentes elementos químicos presentes em estrelas, na Terra e em meteoritos rochosos. Disponível em <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/1925PhDT.....1P/abstract>

Como mencionado, as altas abundâncias de hidrogênio e hélio foram inicialmente encaradas como uma discrepância, não como um achado inédito. Razões foram apontadas para justificar que eles não seriam os elementos químicos mais abundantes nas atmosferas estelares, ainda que resultados semelhantes para o hélio já houvessem sido obtidos por Harry

Plaskett (1893 – 1980), também explicados por um comportamento anômalo do elemento (PAYNE, 1925.a).

A influência de Russell sobre Shapley (KIDWELL, 1996; HEARNshaw, 2014), e seu prestígio no círculo astronômico teriam exercido peso na decisão da exclusão de hidrogênio e hélio da tabela comparativa de resultados (Figura 24), contudo, não da tese como um todo. Payne (1925.a) publicou um trecho de uma correspondência pessoal recebida de Russell, no qual ele afirma acreditar que *“mais da metade de todas as linhas fortes e com asas de espectros do Sol são linhas do ferro”* (p. 188, livremente traduzido pelo autor), portanto, os valores encontrados deveriam ser entre 3 e 5 vezes maiores que os apresentados, o que o colocaria como o elemento mais abundante nas atmosferas estelares, tal qual ocorreria na Terra como um todo. Dessa maneira, o ferro assumiria a posição, nas palavras de Russell, na qual ele *“obviamente pertence”* (p. 188, livremente traduzido pelo autor).

De acordo com Russell e Compton (1924), o átomo de hidrogênio apresentaria linhas mais fortes devido a um estado quântico metaestável, no qual seu elétron se encontraria estável, entretanto em um nível mais energético que o comum. Tal estado teria sua formação favorecida em regiões das estrelas com menor pressão, como as atmosferas estelares, e pelas eventuais colisões entre os átomos, o que seria mais frequente em estrelas do tipo anã, como o Sol, por terem densidade maior em relação às gigantes. O hélio seria outro elemento químico que poderia apresentar o mesmo comportamento.

Foi, também, em 1924, que Cecília Payne chegou ao resultado da elevada abundância relativa do hidrogênio e do hélio. Ela entregou o manuscrito para Shapley, que em dezembro o enviou para Russell (BARTUSIAK, 1993).

Russell fora professor e mentor de Shapley, e sua palavra era lei. Se um trabalho recebesse sua sanção, ele poderia ser publicado; se não, deveria ser posto de lado e seu autor tinha uma fileira dura para capinar. Sua palavra pode fazer ou destruir um jovem cientista. Tive a sorte de receber o selo de sua aprovação no início, embora ele tenha vetado algumas de minhas queridas idéias. Eu o respeitava e temia, mas não sentia afeição por ele. (PAYNE-GAPOSCHKIN, 1996, p. 177, livremente traduzido pelo autor)

No início de janeiro de 1925, Shapley convenceu Payne a participar de um encontro promovido pela Sociedade Astronômica dos EUA, em Washington, para que ela pudesse ter uma folga em seu trabalho, pois costumava trabalhar por muitas horas, vários dias seguidos, e conhecer outros astrônomos, no caso, todos homens. Em uma noite, Shapley a convidou para jantar, ocasião na qual ela conheceu Russell. Ambos puderam conversar por um longo tempo, quando Shapley os deixou a sós (GINGERICH, 2001; MOORE, 2020).

Em carta enviada para uma amiga, a também astrônoma Margaret Harwood (1885 – 1979), datada de 09 de janeiro de 1925, Payne relatou ter gostado da companhia de Russell, suas conversas sobre Roma Antiga e poesia, e que a partir de então não tinha mais medo dele (GINGERICH, 2001), contudo, contraditoriamente afirma no mesmo documento que “*seu poder no mundo astronômico é outra questão, e temerei isso até o dia da minha morte, como o destino de alguém como eu poderia ser selado por ele com uma palavra*” (DeVORKIN, 2010, p. 141, livremente traduzido pelo autor).

Apenas cinco dias depois, em carta enviada para Payne dia 14 de janeiro de 1925, Russell escreve que:

Aqui estão, finalmente, suas anotações sobre abundância relativa, que você teve a gentileza de me enviar há algum tempo. Você obteve alguns resultados impressionantes que me parecem, em geral, notavelmente consistentes. Várias das discrepâncias aparentes podem ser facilmente esclarecidas. [*Aqui Russell discute Mg, Mg<sup>+</sup> e K com alguns detalhes. – apontamento feito por Gingerich*] Resta uma discrepância muito mais séria, a saber, para o hidrogênio, o hélio e o oxigênio. Aqui estou convencido de que há algo seriamente errado com a presente teoria. É claramente impossível que o hidrogênio seja um milhão de vezes mais abundante do que os metais, e não tenho dúvidas de que o número de átomos de hidrogênio nos dois estados quânticos é enormemente maior do que o indicado pela teoria de Fowler e Milne. Compton e eu enviamos uma pequena nota à ‘Nature’ sobre estados metaestáveis, o que pode ajudar a explicar a dificuldade. (GINGERICH, 2001, p. 12, livremente traduzido pelo autor).

Um perfil moderado e cauteloso seria atributo de Russell quanto às suas orientações, como teria demonstrado em outras ocasiões (DeVORKIN, 2010), que foi mantido, em especial, no caso de Payne, por se tratar de achados que contrariavam as concepções então vigentes. Payne, por sua vez, sabia que tal decisão poderia influenciar em seu futuro profissional, optando, por, estrategicamente, colocar em sua tese os valores das abundâncias relativas do hidrogênio e do hélio, contudo apontando que o achado *quase* certamente não seria real. Foi a existência da palavra *quase* que permitiu, ao mesmo tempo, certa manutenção de sua ideia original e o aceite de Russell para a publicação (MOORE, 2020).

A arguição para a defesa da tese de doutorado de Payne ocorreu às 14 h do dia 11 de maio de 1925, um dia após seu aniversário de 25 anos (GINGERICH, 2001). Horas após o exame, Margaret Harwood encontrou Payne nervosa no Observatório de Harvard, pois ainda não havia sido informada do resultado. Harwood, então, foi ao encontro de Shapley, que a teria informado que a tese era tão brilhante que nem pensou que seria necessário dar alguma resposta de volta (MOORE, 2020).

Apesar dos receios, a tese de Payne foi particularmente bem aceita por seus pares, destacando seu grau de excelência (STRUVE, 1926; MERRILL; 1926). Inclusive Russell, em carta para Shapley, se disse impressionado com a obra:

Aceite meus sinceros agradecimentos por sua carta e pela cópia de apresentação do admirável livro da Srta. Payne. É a melhor tese de doutorado que já li - com exceção, talvez, de uma sobre as órbitas de estrelas binárias eclipsantes! [*uma referência óbvia à própria tese de Shapley escrita sob Russell uma década antes – apontamento feito por Gingerich*] - e deve ser fortemente recomendado, não apenas para bibliotecas de observatórios, mas para todos os estudantes do assunto. (GINGERICH, 2001, p. 9, livremente traduzido pelo autor).

Havia recomendação de novas investigações, porém, sem conferir destaque à alta abundância relativa de hidrogênio e hélio, uma vez que Payne o apontou como um não problema. Os elogios eram feitos, sobretudo, ao trabalho realizado ao aliar a teoria da

ionização térmica de saha com a espectroscopia e a conclusão de que a composição das estrelas seria uniforme para todas classes espectrais (MOORE, 2020).

#### ***4.9. UMA ESTRELA ECLIPSADA***

A boa repercussão da tese de doutorado não foi convertida em reconhecimento profissional para Payne por um único motivo: seu gênero. Após retorno de sua primeira viagem à Inglaterra depois de dois anos vivendo nos EUA, em junho de 1925, ela começou a trabalhar no Observatório de Harvard, contratada como “assistente técnica” de Shapley. Na prática, Payne se tornava uma “mulher computador”, não mais podendo escolher seus objetivos de pesquisa, ou mesmo ter tanto tempo para essa atividade, passando a seguir aos comandos dados por Shapley (MOORE, 2020).

Porém, essa não havia sido sua única opção. Ela recebeu uma oferta de uma bolsa de pesquisa para se instalar no Observatório Lick, na Califórnia, convite que deixou Shapley indignado, pois não havia sido consultado com antecedência. Payne (1996) diz, em sua autobiografia, que teria aceito a oferta de Shapley, apesar da baixa remuneração e do status profissional menor do que sua qualificação de doutora a permitia ter, pela enorme admiração que sentia por ele, ao qual, em suas próprias palavras, ela venerava. Greenstein (1993) afirma que tal admiração tinha ares de uma paixão platônica, a qual ela também teria cultivado por Eddington em Cambridge, pelos ciúmes que admitia sentir quando ambos davam mais atenção a outra pessoa. A raiz desses ciúmes, todavia, encontraria ecos ao longo de sua vida desde a infância, como a mudança para Londres para que seu irmão estudasse em uma escola melhor, como no caso da predileção para que Menzel tivesse acesso às placas espectrográficas mais aptas para fornecer resultados esperados.

Menzel, que também concluiu sua tese de doutorado em 1925, foi contratado pelo Observatório Lick, na Califórnia, onde permaneceu até 1932. Foi nesse ano que ele recebeu uma oferta para trabalhar no Observatório de Harvard, pois Shapley havia decidido contratar um espectroscopista, cargo com a exata experiência que Payne havia adquirido durante seu doutorado (HOFFLEIT, 2001). Otto Struve (1897 – 1963), que havia sido convidado antes de

Menzel para ocupar a mesma vaga, informou para Payne que Shapley teria lhe prometido que ela seria afastada da espectroscopia caso ele aceitasse a vaga (MOORE, 2020).

A relação entre Payne e Shapley sempre manteve sua cordialidade, porém foi se desgastando com o passar dos anos. Essa não era a primeira vez que ela havia sequer sido cogitada para uma vaga como astrônoma, pois Shapley não queria ter desavenças com seu chefe, o presidente de Harvard, Abbott Lawrence Lowell (1856 – 1943), que permaneceu no cargo até 1933, e que não admitia a contratação de mulheres como professoras ou instrutoras na instituição, apenas por serem mulheres, a quem ele acreditava não serem aptas para a academia (PAYNE-GAPOSCHKIN, 1996).

Sistematicamente, desde a conclusão de seu doutorado Payne se viu afastada da pesquisa em Astrofísica. Primeiramente, por ter sido incumbida de dar continuidade ao trabalho de Henrietta Leavitt sobre fotometria de estrelas variáveis, por análise direta das placas espectrográficas. Depois, passou a acumular funções de editoria e, posteriormente, lecionar disciplinas sobre Astronomia e orientar estudantes, diminuindo o tempo que poderia dedicar às investigações de seu interesse, as quais ainda conseguia fazer e publicar, apesar de todas as incumbências, se vendo, então, cada vez mais afastada do acúmulo de vantagens que lhes permitiriam fazer Astrofísica de ponta, sendo assimilada pelo Efeito Matilda (ROSSITER, 1993; PAYNE-GAPOSCHKIN, 1996; MOORE, 2020).

Antes de se estabelecer em Harvard, Menzel mensurou, em 1928, a abundância relativa dos elementos químicos na cromosfera solar, o que foi possível devido ao grande número de espectros coletados durante eclipses solares armazenado no Observatório Lick, encontrando o hidrogênio como elemento preponderante (MOORE, 2020), resultados que ele só viria a publicar em 1930 (MENZEL, 1930). Menzel tentou mostrar seu achado a Russell em uma conferência, porém ele não compareceu. Seu antigo orientador, então, informou por correspondência que passaria algumas semanas no Observatório Lick entre dezembro de 1928 e fevereiro de 1929. Menzel afirmou que foi seu trabalho que teria convencido Russell a respeito das grandes quantidades de hidrogênio no Sol (DeVORKIN; KENAT, 1983).

Russell e seus assistentes, os astrônomos Walter Adams (1876 – 1956) e Charlotte Moore (1898 – 1990), passaram o ano de 1927 trabalhando em um método para a análise dos espectros estelares que permitisse a calibração mais precisa das intensidades, com o objetivo de reavaliar a escala de Rowland, utilizada por Russell em seu artigo de 1914 que apontava a

homogeneidade da composição da crosta da Terra e de meteoritos com o Sol. A publicação da recalibração foi feita no início de 1928 (RUSSELL; ADAMS; MOORE, 1928). Antes mesmo, a aplicação na nova escala de intensidade vinha mostrando o comportamento “anormal” do hidrogênio em algumas estrelas, com elevadas abundâncias (*ibid.*). Em novembro de 1928, o astrônomo Albrecht Unsöld (1905 – 1955) publicou um artigo (UNSÖLD, 1928) no qual estimava a composição da atmosfera solar, apontando o hidrogênio como mais abundante e concordando com os resultados de Payne também para outros elementos (DeVORKIN; KENAT, 1983; KIDWELL, 1996; HEARNshaw, 2014).

Em carta para Eddington, datada de 3 de dezembro de 1928, antes de partir para a Califórnia, Russell aponta que:

Devo levar sua carta comigo [*na qual utilizava princípios termodinâmicos para explicar sua preocupação com a abundância do hidrogênio*] para discutir o assunto com Adams e, espero, Unsöld, que está em Pasadena agora. Se conseguirmos algo que valha a pena relatar, escreverei da Califórnia. Talvez o artigo de Milne, que ouvi pela primeira vez da Srta. Payne em Harvard, possa ajudar a esclarecer a situação. (DeVORKIN; KENAT, 1983, p. 206, livremente traduzido pelo autor)

E ajudou. As peças estavam a postos para que o problema da abundância do hidrogênio fosse, finalmente, resolvido. Um problema que, de certa forma, Russell criou. Com evidências apontando no mesmo sentido e um cenário que se mostrava cada vez mais favorável, ele reconsidera sua opinião e inicia sua própria empreitada. Em 1929, Russell publicou, como único autor, um artigo no qual mensurou a abundância relativa de 56 elementos químicos e seis compostos, no qual concluía, como esperado, que a composição da atmosfera solar era majoritariamente constituída por hidrogênio. Russell enfatizou que os valores calculados podem conter variações, mas que “*a grande abundância de hidrogênio dificilmente pode ser duvidada*” (RUSSELL, 1929, p.63, livremente traduzido pelo autor).

Sua metodologia teria consistido em aplicar a escala de intensidade das linhas espectrais de Rowland, recalibrada após sua publicação com Adams e Moore, que permitia analisar mais linhas que apenas aquelas em sua aparição marginal, inclusive saturadas, e

posteriormente aplicar as informações extraídas à equação de Saha (na formulação de Fowler e Milne), obtendo assim as abundâncias relativas, de forma similar à Payne (1925.a) e Unsöld (1928) (RUSSELL, 1929; HEARNshaw, 2014).

Em relação à pesquisa de Payne (1925.a), a comparação aos 18 elementos aos quais ela havia analisado demonstrou abundâncias relativas muito próximas ou iguais, com exceção do hélio, que Russell não publicou. Esse reconhecimento à tese de Payne, publicada quatro anos antes e ao qual ele pessoalmente revisou, veio apenas na quinquagésima quarta página, dentre 71 que compõem seu artigo, não sendo relacionado na listagem de 96 referências ao final do artigo. Menzel, por seu turno, é citado no resumo. Russell (1929), ao comparar seu estudo com o de Payne (1925.a) expõe que:

Esta é uma concordância muito gratificante, especialmente quando se considera que os resultados da Srta. Payne foram determinados por um método teórico diferente, com instrumentos de um tipo bastante diferente [...], e mesmo em corpos diferentes - uma longa lista de estrelas, as quais são quase todas gigantes. As únicas características comuns são as observações de linhas espectrais e o uso da teoria da ionização. (RUSSELL, 1929, p. 65, livremente traduzido pelo autor)

Dois anos depois, o físico Robert Atkinson (1898 – 1982), em artigo que discute a produção de energia nas estrelas (ATKINSON, 1931), publicou que as “*proporções relativas dos elementos nas estrelas da sequência principal seguem da teoria, em excelente acordo qualitativo com os números de Russell para o Sol*”, números esses que são muito próximos aos obtidos por Payne, que foi lembrada em uma nota de rodapé. Essa seria uma das primeiras obras que alçaria Russell à posição de descobridor da composição da natureza química das estrelas, local de destaque ao qual ele já pertencia no coletivo astronômico (GINGERICH, 2001; MOORE, 2020).

Décadas depois, o trabalho de Russell tornou-se referência na área, por muito tempo creditado como pioneiro ao reconhecer o hidrogênio como elemento principal nas estrelas, sobretudo a partir dos anos 1960 e 1970 (DeVORKIN, 2010). Ainda que não intencional, foi um apagamento sistemático, que culminou na quase anulação dessa contribuição de Payne,

que novamente teve seu brilho – de suas ideias, de seus resultados – encoberto por um homem.

Gingerich: Você [*Cecilia Payne-Gaposchkin*] forneceu uma lista em que o silício está no topo e no final dessa lista, o hidrogênio e o hélio entre parênteses com o comentário de que embora pareça que o hidrogênio e o hélio são muito abundantes, isso deve ser algum tipo de erro.

Payne-Gaposchkin: Oh, eu disse isso? Bem, logo me convenci de que não era. Eu deveria ter dito que sempre pensei que fosse assim. Mas certamente não me tomou muito tempo ser convencida de que era.

Gingerich: Percebi que muitas pessoas estavam de fato se convencendo na mesma época, entre 1925 e 1930, sobre o papel do hidrogênio. Eu já vi isso algumas vezes atribuído a Menzel e às vezes a Russell.

Payne-Gaposchkin: Mais provavelmente a Russell, eu pensaria. (Payne-Gaposchkin em entrevista a Gingerich<sup>26</sup>, 1968, livremente traduzido pelo autor)

#### ***4.10. RECONHECIMENTO TARDIO: A ESTRELA VOLTA A BRILHAR QUANDO O ECLIPSE SE DESFAZ?***

Há certo consenso entre pesquisadoras e pesquisadores que em algum momento se debruçaram a estudar a vida de Cecilia Payne que, apesar da citação feita por Russell, ele não fez qualquer esforço para explicar seu papel em ter convencido Payne a desistir de afirmar categoricamente, mesmo com dados bastante sólidos, que o hidrogênio é o elemento principal na composição das estrelas e o dano nunca foi desfeito (BARTUSIAK, 1993; GREENSTEIN, 1993; KIDWELL, 1996; TRIMBLE, 1996; GINGERICH; 2001; MOORE, 2020).

<sup>26</sup> Entrevista de Cecilia Payne-Gaposchkin a Owen Gingerich em 5 de março de 1968; Niels Bohr Library & Archives, American Institute of Physics, College Park, MD USA. Disponível em <[www.aip.org/history-programs/niels-bohr-library/oral-histories/4620](http://www.aip.org/history-programs/niels-bohr-library/oral-histories/4620)>. Acesso em 02 mai 2021.

Quando estava trabalhando no Observatório de Harvard, em sua posição funcional incerta de “assistente técnica” de Shapley, ela teria sido convencida ao menos mais duas vezes de desistir de realizar publicações que seu chefe e Russell não estariam de acordo (FOX KELLER, 1984).

Eu era a culpada por não ter insistido no meu ponto de vista. Eu tinha cedido à Autoridade quando acreditei que estava certa. Esse é outro exemplo de como não fazer pesquisa. Observo isso aqui como um aviso para jovens. Se você tem certeza de seus fatos, você deve defender sua posição. (PAYNE-GAPOSCHKIN, 1996, p. 169, livremente traduzido pelo autor)

Talvez Payne não fosse a culpada. Greenstein (1993) pontua que Russell e Shapley estavam entre a liderança dos astrônomos no mundo, enquanto Payne era uma estudante – e mulher. Hoffleit (2001) acredita que Payne foi propositalmente afastada da espectroscopia por Shapley para evitar prováveis conflitos de interesse, como o que havia ocorrido com Menzel anteriormente. Trimble (1996) coloca que a carreira de Payne só seguiu para a área da fotometria, estrelas binárias eclipsantes e demais estrelas variáveis pela intervenção de Shapley.

O afastamento da pesquisa em espectroscopia, enquanto exemplo de segregação territorial (ROSSITER, 1982), foi o estopim para deteriorar a outrora devoção de Payne a Shapley. Ela sabia que, enquanto estava estagnada em funções que não eram sua prioridade, a Astrofísica estelar estava avançando, enquanto ela permanecia estagnada em métodos antigos (PAYNE-GAPOSCHKIN, 1996). Em carta para Russell, no ano de 1930, Payne coloca que:

Durante os últimos quatro anos [*após o término de seu doutorado*], passei um período muito infeliz em Harvard; as principais razões foram (a) dificuldades pessoais dentro do Observatório, particularmente com o Dr. Shapley, e geralmente decorrentes de ciúmes pessoais porque ele parecia gostar mais dos outros do que de mim. (b) decepção porque não recebi absolutamente nenhum reconhecimento, oficial ou particular, da Universidade de Harvard ou do Radcliffe College; Não posso aparecer nos

catálogos; Dou palestras, mas não são anunciadas no catálogo e são pagas (acredito) como 'equipamento'; certamente não tenho nenhum cargo oficial como instrutora. Presumivelmente, isso é impossível, e sempre pensei nisso; mas mesmo assim senti a decepção. (c) Não creio que receba muito; honestamente, acho que valho mais de 2300 dólares para o Observatório [*salário anual*]. (d) Nos sete anos que passei em Harvard, não conheci ninguém da Universidade por meio do meu trabalho (o que limita meu conhecimento à equipe do Observatório e ao Professor Saunders [*Físico dedicado à espectroscopia*]); ao passo que a esposa de qualquer homem de Harvard com minha posição é chamada pelas esposas de dezenas de outros. (KIDWELL, 1996, p.26, livremente traduzido pelo autor)

A reclamação lhe rendeu um aumento salarial, para 2700 dólares anuais, ainda baixo, mas que lhe permitiu ter mais tranquilidade econômica, pois costumava levar uma vida frugal. Ela permaneceu realizando pesquisas sobre estrelas variáveis, sempre procurando a aliar à espectroscopia, porém essa era uma área vista com certo desdém (PAYNE-GAPOSCHKIN, 1996). Menzel chegou a afirmar, anos depois, que estrelas variáveis era uma área para amadores (HOFFLEIT, 2001).

O início da década de 1930 foi particularmente difícil para Payne. Sua atividade docente, que começou pouco após a publicação da tese, não era oficialmente reconhecida no catálogo de cursos da universidade. Ainda que os cursos, em si, fossem listados, seu nome não aparecia ao lado (PAYNE-GAPOSCHKIN, 1996). Em 1932 e 1933, ela perdeu duas amigas e um amigo próximos, precoce e inesperadamente. Sua mente, que oscilava entre dois extremos: da dedicação excessiva a um inevitável temperamento doentio, ou dos ciúmes à prontidão em sempre querer ajudar, precisava de um pouco de férias (HOFFLEIT, 2001; MOORE, 2020).

Suas férias eram um misto de descanso e comprometimento com o trabalho. Quando fez uma *road trip* em seu carro recém comprado, em 1930, com Frances Wright (1897 – 1989), também astrônoma em Harvard, atravessaram os Estados Unidos de Massachusetts até a Califórnia para conhecer o Observatório Lick. Na ocasião, elas encontraram Edwin Hubble, que certa vez exclamou, no que para ele provavelmente seria um elogio, que Cecilia Payne era o melhor homem em Harvard (SCHIEBINGER, 2001; MOORE, 2020).

Em 1933, ela parte para uma viagem para observatórios em países do norte da Europa (Holanda, Alemanha, Dinamarca, Suécia e União Soviética). Em um evento da União Astronômica Internacional, na Alemanha, conheceu o Astrofísico russo Sergei Gaposchkin (1898 – 1984) que, ciente de que ela trabalhava em Harvard, lhe entregou uma carta pedindo ajuda para fugir da Alemanha, onde estava sofrendo perseguição política devido a ascensão do nazismo, e se instalar nos Estados Unidos. Ela voltou em agosto e, com muita insistência com Shapley, conseguiu um emprego para Sergei no observatório. Ele desembarcou nos EUA em novembro e, em março de 1934, eles se casaram. Payne, então, mudou seu sobrenome para Payne-Gaposchkin (PAYNE-GAPOSCHKIN, 1996).

O casamento pegou a todos de surpresa, pois não sabiam do envolvimento de ambos (MOORE, 2020). Em sua autobiografia, Payne-Gaposchkin não descreve qualquer detalhe de seu envolvimento com Sergei. Greenstein (1993) destaca que ela foi uma das primeiras astrônomas a se casar sem renunciar à sua carreira para isso. Seu salário era maior que o de Sergei, apesar de ser mulher e mais nova que ele, e ambos dividiam os trabalhos domésticos. Mesmo se tornando mãe de três filhos (Edward, Katherine e Peter) entre 1936 e 1940, nunca deixou de trabalhar. Teve em Sergei seu principal parceiro de pesquisa, dedicando-se principalmente em publicações sobre estrelas variáveis (PAYNE-GAPOSCHKIN, 1996).

Após a troca da presidência da Universidade de Harvard, em 1938, ela e Annie Jump Cannon finalmente ganharam uma posição, sendo oficialmente contratadas como astrônomas, entretanto seus salários e atribuições permaneceram os mesmos. Sua invisibilidade no catálogo de cursos só terminou em 1945, quando seu nome começou a aparecer ao lado das disciplinas que lecionava (MOORE, 2020). Em 1952, quando Shapley se aposentou da função de diretor do Observatório de Harvard, foi substituído por Menzel. Ao descobrir quanto Payne-Gaposchkin recebia, ele teria ficado chocado, aumentando e em seguida dobrando seu salário.

Somente em 1956, com mais de 30 anos de sua vida dedicada à instituição, recebeu oficialmente o cargo de professora e chefe do Departamento de Astronomia, a primeira mulher em toda a Harvard a atingir tais feitos, evidenciando a segregação institucional sofrida por mais de três décadas, quando lhe era permitido ter um pouco de destaque somente em círculos mais restritos (ROSSITER, 1982). Para celebrar, Payne promoveu um chá em comemoração somente com suas colegas e mulheres estudantes de Astronomia (PAYNE-GAPOSCHKIN, 1996). Hoffleit (2001) suspeitava que Menzel a teria promovido para que ela

tivesse menos tempo para a pesquisa, dado o aumento na carga horária em sala de aula e procedimentos burocráticos no comando, todavia, Payne-Gaposchkin (1996) afirmou que foi somente através de Menzel que sua carreira profissional finalmente avançou.

Quando olho para trás, me pergunto que diferença fez para mim, como cientista, ter nascido mulher. No que diz respeito ao lado intelectual da questão, devo dizer que fiz muito pouco. Não tenho consciência de ter usado nenhum artifício feminino em relação ao meu trabalho científico; na verdade, não vejo como poderia ter feito isso. [...]

Do lado material, ser mulher tem sido uma grande desvantagem. É uma história de baixo salário, falta de *status*, progresso lento. Mas cheguei a um ponto que nunca, em meus sonhos mais loucos, deveria ter previsto há 50 anos. Foi um caso de sobrevivência, não dos mais aptos, mas dos mais obstinadamente persistentes. (PAYNE-GAPOSCHKIN, 1996, p. 226, livremente traduzido pelo autor)

A necessária persistência a levou a fazer diversas contribuições para a ciência – além de ser pioneira em desvendar a composição das atmosferas estelares. Em conjunto com Fred Whipple (1906 – 2004), entre 1940 e 1941, foram os responsáveis por apontar a ausência do hidrogênio em espectros de supernovas e a existência de ferro com maior destaque. Também escreveu um livro sobre formação estelar, publicado em 1952, e um artigo, não publicado, no qual teria conjecturado que nem todas as estrelas possuem a mesma composição (TRIMBLE, 2001). Os diferentes tipos de novas teriam se tornado os objetos de maior interesse da cientista, já veterana, olhando para o passado, sabendo que acompanhou 50 anos de evolução do tema, e sentindo-se confortável no tema para seguir pesquisando (PAYNE-GAPOSCHKIN, 1996).

As publicações de Payne-Gaposchkin estenderam-se desde 1923 até 1979, ano em que veio a falecer, em decorrência de um câncer pulmonar. Ao todo, foram 284 publicações, das quais 11 livros, obras conciliadas com seu emprego, família e interesses que nunca abandonou, como literatura, aprendizado de idiomas, música e teatro. Ainda em vida, recebeu diferentes homenagens, incluindo o *Henry Norris Russell Lectureship*, em 1976, tornando-se a 29ª pessoa, e a primeira mulher, a receber tal premiação (HOFFLEIT, 2001). Ao aceitar o

prêmio, em janeiro de 1977, proferiu uma palestra sobre seus 50 anos de estudos sobre supernovas (TRIMBLE, 1996).

Mesmo com suas honrarias, ela não esqueceu das injustiças que passou. Após receber o prêmio com o nome de Russell, lembrou que, em 1929, ele afirmou que “*finalmente está estimado*” que o “*hidrogênio é excessivamente abundante*” e, em 1941, que “*a tentativa mais compreensiva de uma análise quantitativa da atmosfera do Sol ainda é meu reconhecimento de 1929*” (PAYNE-GAPOSCHKIN, 1977). Provavelmente, ela estava ciente de que não mudaria absolutamente nada, mas que os registros permanecem na história, como as marcas que os elementos químicos impregnam nos espectros.

Cecilia Helena Payne-Gaposchkin conseguiu viver a carreira de cientista que tanto sonhou na infância e perseguiu em sua juventude, porém, fazendo um esforço gigantesco para obter migalhas de reconhecimento frente ao seu pioneirismo. Mesmo com importantes e inéditas contribuições, sofreu o apagamento destinado a muitas mulheres cientistas na História da Ciência. Seu pouco destaque e um avanço profissional lento em nada remetiam à sua competência, mas, infelizmente, estavam consistentes com o tratamento dispensado às mulheres em seu tempo. Qualquer esforço por uma reparação histórica não irá apagar o tratamento que recebeu, contudo, é o mínimo que pode ser feito para honrar seu legado, aprender com os erros do passado e contribuir para que futuras cientistas não tenham sua luz ofuscada.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao escrever “*O feminismo mudou a ciência?*”, Schiebinger (2001) se valeu da seguinte analogia para se referir à diferença de escala entre os objetos de pesquisa do trabalho feito pelas mulheres cientistas daqueles realizados pelos homens:

As mulheres geralmente trabalham sobre problemas de menor escala, como a superfície do Sol, enquanto os homens escolhem problemas de grande escala, como a estrutura do universo, não por causa de diferenças inerentes de gênero, mas porque os homens têm mais probabilidades de dispor da segurança e financiamento necessários para problemas de grande escala, que podem requerer de dez a quinze anos para chegar a resultados. (SCHIEBINGER, 2001, p. 311)

Mesmo sem citar nomes, a passagem se refere, muito provavelmente, à Cecilia Payne e a Harlow Shapley. Embora tratar da superfície de estrelas esteja longe de ser um problema de pequena escala, quando comparado ao tamanho do universo, que no caso de Shapley se tratava da Via Láctea, ele pode parecer minúsculo. Porém, quando posto em sua perspectiva histórica, estudar as atmosferas estelares era um problema relevante no coletivo de pensamento astronômico. Tão relevante que movia as mentes mais celebradas de seu tempo, não por acaso homens, Russell e Eddington. Tão relevante que, talvez não intencionalmente, dificilmente seria permitido a uma mulher brilhar mais que seus pares, novamente, não por acaso, homens.

Conforme abordado mais enfaticamente nas seções 1.3, 2.2 e 3.6, as mulheres cientistas passam por diversas provações em suas trajetórias. Dúvidas sobre suas capacidades, dificuldades de acesso e permanência na carreira, falta de ou baixo reconhecimento, local de trabalho masculinizado, progresso profissional lento (por exemplo, casamento e maternidade, não raro, eram/são tomados como dificuldades em relação às mulheres), menor remuneração, barreiras para captar recursos e o desrespeito à privacidade de suas vidas fora do ambiente profissional são alguns exemplos.

A história de Payne mostra que ela não foi exceção a essa infeliz regra. Conhecer seus percalços remete a um sabor amargo. Ao mesmo tempo em que traz satisfação saber de seus feitos frente a condições terrivelmente adversas, porém evitáveis, também leva a pensar onde sua carreira poderia ter chegado caso ela tivesse condições de trabalho equivalentes a de seus colegas homens, algo impossível de ser respondido.

Por outro lado, são as perguntas que motivam novos conhecimentos, como visto através da Teoria da Aprendizagem Significativa Crítica de Moreira. Ainda que nunca se possa saber ao certo o futuro que a jovem Payne poderia ter vivido caso fosse contemplada e reconhecida proporcionalmente aos seus esforços, perguntas relacionadas podem, ao menos, levar ao exercício reflexivo (quicá, lentamente a uma mudança de cultura) de perceber que muitos dos problemas vividos por ela, há quase um século, ainda estão presentes nos coletivos de pensamento atuais, desde as salas de aula na academia até os centros de pesquisa.

A presente investigação também lançou algumas perguntas, até o momento não objetivamente respondidas. Como previamente mencionado, na seção 3.4, a Teoria Fundamentada em Dados de Strauss e Corbin forneceu a base metodológica necessária para a análise dos dados. A microanálise mostrou que, entre as fontes encontradas que tratam especificamente da pesquisa de Cecilia Payne a respeito da determinação da abundância dos elementos químicos nas atmosferas estelares como tema principal, empregadas no Capítulo 4, não há nenhuma que não se manifeste em relação ao fato de se tratar de uma mulher cientista e, em conjunto, abordar a temática das mulheres na ciência. As exceções ocorrem nos originais de Payne sobre Física e Astrofísica ou de seus colegas astrônomos, registros da década de 1920, e de fontes que realizam um apanhado histórico sobre a determinação da composição das estrelas, geralmente indo de Saha (1920) até Russell (1929), dando mais destaque a este último como quem teria “finalizado” o problema, e apontando o trabalho de Payne como um passo importante, porém intermediário.

Por consequência, a codificação aberta permitiu originar duas categorias principais de conceitos, ou eixos temáticos, que serão analisados, a seguir, por meio da codificação axial. Esses mesmos eixos temáticos deram origem aos questionamentos introduzidos na seção 2.3, que, com a construção da narrativa histórica focada em Cecilia Payne e as bases conceituais adotadas (Capítulo 3), podem começar a ser respondidos:

*1. Como se deu a construção da tese de doutorado de Cecilia Payne e como seus desdobramentos contribuíram para o desenvolvimento da Física e da Astrofísica?*

A primeira parte da pergunta está inteiramente respondida ao longo do Capítulo 4, onde os processos pelos quais Payne passou, desde sua formação prévia, chegada aos Estados Unidos, estabelecimento de um tema de pesquisa, seus desencadeamentos relevantes e desenvolvimento foram contemplados.

Em relação aos desdobramentos para Física e Astrofísica em si, se a ciência fosse um empreendimento puramente racional, baseado estritamente na concretude dos dados e da experiência direta, Cecilia Payne seria hoje publicamente festejada pelas suas contribuições. Como, na presente investigação, se assume que esse não é o caso, passa a ser necessário usar os recursos da Epistemologia de Fleck e da Crítica Feminista à Ciência de Schiebinger.

Um aspecto central para Fleck é que o conhecimento pertence a uma história social, pregressa, sendo ele o *produto social por excelência*. A trajetória de Payne expõe como ela esteve, até o ponto que era considerado aceitável para uma mulher em sua época, relativamente integrada ao coletivo de pensamento de seu tempo, desde que iniciou seus estudos em nível superior. Payne teve a oportunidade de conhecer especialistas que se dispuseram, como Eddington, Comrie e Milne, ou foram obrigados, como Rutherford, a auxiliá-la em seus primeiros contatos com Física e Astrofísica.

Em Harvard, não foi diferente. Mesmo que seu doutorado fosse uma atividade solitária em sua finalidade, ela contava com o apoio das astrônomas funcionárias do Observatório, como Harwood, Wright, Maury e Jump Cannon, e de Shapley. As muitas correspondências trocadas, inclusive entre pessoas em diferentes continentes, mostram que, mesmo naquela época, o coletivo de pensamento da Astronomia/Astrofísica parecia ter uma comunicação intercoletiva funcional, ao menos no que tangia aos homens cientistas. Por ser um princípio maior, se entende que a coletividade esteve presente na pesquisa de Payne, não necessariamente por uma vontade própria sua, muito pelo contrário, pois foi assimilada (e por que não dizer subsumida?) por um estilo de pensamento pertencente a esse coletivo, estilo esse que incluía seu tema de pesquisa de doutorado, em destaque naquele período, como também posteriormente a alijou de postos de visibilidade quando teve reduzida sua autonomia profissional.

Nesse momento, porém, há algo que talvez somente a Epistemologia de Fleck não dê conta. Mesmo que Payne estivesse de certa forma integrada ao coletivo de pensamento, há diferentes níveis em seu interior, representados pelos círculos esotérico e exotérico. Dada a dimensão de suas contribuições inéditas, a saber a uniformidade da composição estelar e a abundância preponderante de hidrogênio e hélio em sua constituição, que decorreram claramente da história do pensamento (espectroscopia, teoria atômica, teoria da ionização térmica de Saha, formulação de Fowler e Milne, acesso às placas espectrográficas de Harvard), Payne estaria credenciada para ficar no centro do círculo esotérico da Astrofísica mundial, contudo, apesar de ter seu valor reconhecido pelos outros membros, era tratada como se estivesse no círculo exotérico tão somente por se tratar de uma mulher.

Ao considerar as dimensões sociais do conhecimento e suas implicações nas relações entre os membros do coletivo, se poderia dizer que Fleck explicaria a posição de Payne, contudo, é necessário salientar que, ao menos em *“Gênese e desenvolvimento de um fato científico”*, o pensador não fez qualquer menção à situação das mulheres na ciência. Assim, a crítica feminista fornece as bases para explicar esse ponto, como será manifestado na resposta à segunda pergunta.

Assumindo-se, então, que o fazer ciência de Payne se ampara, em grande parte, nos conceitos fleckianos para o presente trabalho, vem a dúvida: ela contribuiu para o progresso da Física e da Astrofísica? Para Fleck, a percepção da evolução da ciência vem do desenvolvimento histórico das ideias e conceitos, caracterizado pela mutação dos estilos de pensamento ou a criação de novos, dentro de uma concepção de saber vista como sócio-histórica-construtivista.

O coletivo de pensamento que Payne passou a integrar possuía alguns estilos de pensamento importantes, como a homogeneidade da constituição dos corpos celestes do Sistema Solar e as correlações extraídas qualitativamente dos espectros de radiação. Ela assumiu certo risco ao aderir ao novo estilo, de empregar uma análise quantitativa aos espectros, no entanto essa característica vinha ganhando adeptos dentro do coletivo. Risco maior veio com a conclusão sobre a abundância de hidrogênio e hélio, pois ela introduziu elementos importantes para a fundação de um novo estilo de pensamento.

Nesse ponto, se entende não se tratar de uma mutação do estilo de pensamento, mesmo que a abundância relativa dos metais tenha se mantido muito similar ao que era acreditado

anteriormente, pois havia uma alteração considerável de percepção ao se colocar os elementos químicos mais leves em maior quantidade, não havendo modelos físicos, à época, que acomodassem tal sugestão. Este acoplamento passivo, já que resultou da metodologia adaptada por Payne para medir a intensidade luminosa dos espectros e inserir seus dados na fórmula de Fowler e Milne, representaria um fato científico, uma vez que, indubitavelmente, configura um marco importante na história do pensamento.

Mesmo quem interprete que Russell tenha feito um trabalho mais consistente, que de fato têm méritos, deve reconhecer, ao menos, que Payne teria fornecido a sua pré-ideia (protoideia na acepção de Fleck), pois, antes dela, não havia nada que levasse a essa concepção. No entanto, a não aceitação plena de suas ideias passa pelas relações de gênero e o tratamento dispensado às mulheres no meio científico.

## *2. De que forma as relações de gênero repercutiram na trajetória acadêmica, na pesquisa científica e no reconhecimento profissional de Cecilia Payne?*

De forma crucial. Conforme relatado, mesmo na infância, quando ainda não entendia plenamente as relações sociais nas quais estava inserida, Payne começou a notar que existiam diferenças de tratamento entre meninas e meninos, diferenças que se ampliavam à medida que sua idade avançava.

Na Universidade de Cambridge, precisou insistir para poder fazer o curso de Física e especializar-se nele, sendo a única mulher em sala de aula. Não pôde estudar Astronomia de maneira oficial, pois esta área pertencia ao curso de Matemática, predominantemente masculino e, por isso, não ofertado para o Newnham College. Não tinha direito a receber o grau conquistado unicamente por ser mulher.

De acordo com Schiebinger, a inclusão das mulheres na ciência não significa que ela tenha adotado um ponto de vista feminista. De fato, não é o suficiente quando o ambiente e suas regras implícitas permanecem privilegiando os homens. No caso de Payne, muitas concessões foram feitas em prol de sua aceitação e permanência no coletivo de pensamento da Astronomia, o que incluiu precisar deixar seu país de origem para ir em busca de uma das poucas oportunidades existentes para mulheres astrônomas na época e, posteriormente, se

submeter a condições de trabalho que não contemplavam integralmente seus anseios profissionais.

O atravessamento com a questão do reconhecimento da medida da abundância relativa dos elementos se torna inevitável. Poucos anos depois de Payne, quando cientistas homens publicaram ou informaram resultados similares, a recepção não foi de desacordo, seja para Unsöld, Menzel ou, mais claramente, Russell, episódio que se exemplifica o Efeito Matilda. É, no mínimo, curioso que o homem que a convenceu a duvidar de seus resultados tenha se apropriado da mesma conclusão, ainda que sua metodologia apresentasse diferenças.

Conforme Schiebinger, o machismo é sutil. De modo geral, não existem preceitos legais ou regras oficiais que o corroborem, dessa forma, afirmar categoricamente que Russell agiu de maneira proposital na ocasião seria impreciso, pois não há como ter evidências. Pode-se, ao menos, considerar as palavras de Payne em seu pequeno artigo de 1977 chamado “Russell e a composição das atmosferas estelares”, no qual, aparentemente, utiliza a ironia como crítica ao fato de ser convidada para escrever sobre um trabalho que ela mesma fez, porém dando créditos a outro.

A despeito de sua significativa contribuição, se observou neste estudo que Payne foi minimizada ao ponto de pouco impactar sua carreira. Profissionalmente, há um paralelo interessante e que evidencia as segregações baseadas em gênero sofridas por ela: Donald Menzel. Ele, que trabalhava simultaneamente em seu doutorado no mesmo tema que Payne (teste da teoria da ionização de Saha), foi logo contratado como astrônomo pelo Observatório Lick após obter seu título e, posteriormente, pelo Observatório de Harvard, onde permaneceu por décadas em boa posição, se tornando o diretor em substituição à Shapley devido à aposentadoria deste último. Payne, por sua vez, permaneceu em posição de incerteza em Harvard, sem liberdade total e com tempo reduzido para pesquisa, devido às inúmeras tarefas que lhe eram atribuídas. Somente foi reconhecida como professora passados mais de 30 anos de carreira.

A falta de oportunidades para progredir e o atraso que se somou aos anos estagnada com as mesmas técnicas, à medida que novas eram criadas, fizeram com que ela permanecesse à margem do avanço da Astrofísica, mesmo tendo feito uma contribuição – ou talvez a mais – importante dessa área. Sua dificuldade nunca esteve no fato de ser mulher, mas nas imposições colocadas sobre as mulheres. Payne conseguiu resistir a algumas e tornou

seus achados públicos, contudo, não haveria como escapar de todas, sendo uma jovem mulher enquanto do outro lado havia um “mundo de homens”, como ela mesma definiu.

Uma forma de garantir que a manutenção de suas contribuições permaneça viva está justamente no Ensino de Física. A Teoria da Aprendizagem Significativa Crítica de Moreira pode subsidiar tanto o ensino dos conceitos inerentes à Física quanto promover o engajamento de um caráter crítico a docentes e estudantes e estender discussões que consideram a trajetória de Payne, valorizando o fato de se tratar 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.

Espera-se que o legado de Cecilia Payne-Gaposchkin sirva para suscitar reflexões sobre as adversidades que as mulheres enfrentaram e ainda enfrentam no mundo científico e, ao mesmo tempo, consiga inspirar a todas as pessoas por seu exemplo de perseverança, tornando-as agentes da mudança. O eclipse não vencerá enquanto a luz da estrela for lembrada.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALFONSO-GOLDFARB, A.M. **O que é história da ciência**. Editora Brasiliense, São Paulo, 1994.

ALFONSO-GOLDFARB, A.M.; FERRAZ, M.H.M.; BELTRAN, M.H.R. A historiografia contemporânea e as ciências da matéria: uma longa rota cheia de percalços. *In* ALFONSO-GOLDFARB, A.M.; BELTRAN, M.H.R. **Escrevendo a História da Ciência: Tendências, Propostas e Discussões Historiográficas**. p. 49-74. Editora Livraria da Física, São Paulo, 2004.

ALVES, A.G.; MARTINS, C.A.; PINHO, S.P.; TOBIAS, G.C. Teoria Fundamentada em Dados como Ferramenta de Análise em Pesquisa Qualitativa. **Atas Congresso Ibero-Americano em Investigação Qualitativa - Investigação Qualitativa em Educação**. v. 1, 2017.

ALVES, M.R.; BARBOSA, M.C.; LINDNER, E.L.; Mulheres na Ciência: a busca constante pela representatividade no cenário científico. *In* XII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências – XII ENPEC. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 25 a 28 de junho de 2019. *Anais do XII ENPEC*, 2019.

ALVES-BRITO, A. *Os corpos negros*: questões étnico-raciais, de gênero e suas intersecções na física e na astronomia brasileira. **Revista da Associação Brasileira de Pesquisadores(as) Negros(as)**, v. 12, n. 34, p. 816-840, set 2019 – nov 2020.

ALVES-BRITO, A.; MASSONI, N.T.; GUERRA, A.; MACEDO, J.R. Histórias (in)visíveis nas ciências. I. Cheikh Anta Diop: *um corpo negro* na física. **Revista da Associação Brasileira de Pesquisadores(as) Negros(as)**, v. 12, n. 31, p. 290-318, dez 2019 – fev 2020.

ANTENEODO, C.; BRITO, C.; ALVES-BRITO, A.; ALEXANDRE, S. S.; D'AVILA, B. N.; MENEZES, D. P. Brazilian physicists community diversity, equity, and inclusion: A first diagnostic. **Physical Review Physics Education Research**, v. 16, p. 100361, 2020.

ARAÚJO, I.S.C. **Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio: Tecendo Conexões com os Recursos da Cultura Digital**. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências: Química da Vida e Saúde, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, 2020.

AREAS, R.; BARBOSA, M.C.; SANTANA, A.E. Teorema de Emmy Nöther, 100 anos: Alegoria da Misoginia em Ciência. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 41, n. 4, p. e20190017, 2019.

ARTHURY, L.H.M.; TERRAZAN, E.A. A Natureza da Ciência na escola por meio de um material didático sobre a Gravitação. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 40, n. 3, 2018.

ATKINSON, R.D. Atomic Synthesis and Stellar Energy. **Astrophysical Journal**, v. 73, p.250, may 1931.

AULER, D.; BAZZO, W. A. Reflexões para a implementação do movimento CTS no contexto educacional brasileiro. **Ciência & Educação**. v, 7, n. 1, 2001.

AZEVEDO, N.; FERREIRA, L.O.; CORTES, B.A. Cidade, família e educação feminina nas primeiras décadas da República. In ALMEIDA, M; VERGARA, M.R. **Ciência, história e historiografia**. Via Lettera, São Paulo, 2008.

BANDEIRA, L. A contribuição da crítica feminista à ciência. **Estudos Feministas**, Florianópolis, 16(1): 288, jan-abr 2008.

BARP, E.; KLAUTAU, F.D.; MORAES, V.R.; BELLETTATO, R.D.; BELTRAN, M.H.R. Formação Continuada: Cursos e Eventos. In BELTRAN, M.H.R; TRINDADE, L.S.P. (Orgs.). **História da Ciência e Ensino: Abordagens Interdisciplinares**. Editora Livraria da Física, São Paulo, 2017.

BARTUSIAK, M. The Stuff of Stars. **The Sciences**, v. 33, n. 5, sep-oct 1993.

BASSALO, J.M.F.; CARUSO, F. **Meitner**. Editora Livraria da Física, São Paulo, 2015.

BASTOS FILHO, J.B. Qual História e qual Filosofia da Ciência são Capazes de Melhorar o Ensino de Física? *In* PEDUZZI, L.O.Q.; MARTINS, A.F.P.; FERREIRA; J.M.H. **Temas de História e Filosofia da Ciência no Ensino**. p. 65-84. EDUFRN, Natal, 2012.

BELTRAN, M.H.R.; SAITO, F.; TRINDADE, L.S.P. **História da ciência para formação de professores**. Editora Livraria da Física, São Paulo, 2014.

BELTRÁN, Y.J.C.; MASSONI, N.T.; BERNAL; J.A.S.; SUÁREZ, C.J.M. Física y Matemáticas, Teorema de Nöther: Contexto la Complejidad de la Educación Científica. **Revista Brasileira de Ensino de Física [online]**, v. 43, 2021.

BEZERRA, G.; BARBOSA, M.C. **Mulheres na física no Brasil: Contribuição de alta relevância, mas, por vezes, ainda invisível**, 2018. Disponível em <<http://www.if.ufrgs.br/~barbosa/Publications/Gender/mulheres-na-fisica-sbf.pdf>>. Acesso em: 28 mar 2021.

BOARO, D.A.; MASSONI, N.T. O Uso de Elementos da História e Filosofia da Ciência (HFC) em Aulas de Física em uma Disciplina de Estágio Supervisionado: Alguns Resultados de Pesquisa. **Investigações em Ensino de Ciência**, v. 23 (3), p. 110-144, 2018.

BRASIL. Ministério da Educação – Secretaria de Educação Média e Tecnológica. **Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio – Parte III - Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias**. Brasília, 1999. Disponível em <<http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/ciencian.pdf>>. Acesso em: 02 abr 2021.

\_\_\_\_\_. Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (Inep). **Censo da Educação Superior 2013: resumo técnico**. Brasília, DF: Inep, 2015. Disponível em:<[https://download.inep.gov.br/download/superior/censo/2013/resumo\\_tecnico\\_censo\\_educacao\\_superior\\_2013.pdf](https://download.inep.gov.br/download/superior/censo/2013/resumo_tecnico_censo_educacao_superior_2013.pdf)>. Acesso em: 23 jan. 2021.

\_\_\_\_\_. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular**. Brasília, 2018. Disponível em <<http://basenacionalcomum.mec.gov.br/abase>>. Acesso em: 02 abr 2021.

\_\_\_\_\_. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa Nacional por Amostragem de Domicílio Contínua – Características Gerais dos Domicílios e dos Moradores 2019**. Brasília, DF: IBGE, 2020. Disponível em <[https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101707\\_informativo.pdf](https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101707_informativo.pdf)>. Acesso em: 28 jan 2021.

\_\_\_\_\_. Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (Inep). **Censo da Educação Superior 2019: resumo técnico**. Brasília, DF: Inep, 2021. Disponível em: <[https://download.inep.gov.br/publicacoes/institucionais/estatisticas\\_e\\_indicadores/resumo\\_tecnico\\_censo\\_da\\_educacao\\_superior\\_2019.pdf](https://download.inep.gov.br/publicacoes/institucionais/estatisticas_e_indicadores/resumo_tecnico_censo_da_educacao_superior_2019.pdf)>. Acesso em: 21 jan. 2021.

BRITO, C.; PAVANI, D.; LIMA JR, P. Meninas na ciência: atraindo jovens mulheres para carreiras de ciência e tecnologia. **Gênero**, v.16, n.1, p. 33 – 50, 2. sem. 2015.

BRITTO, D. Pioneira, a física Sonia Guimarães abriu portas e quer ver mais mulheres negras na ciência. **Marco Zero**, 2020. Disponível em: <<https://marcozero.org/pioneira-a-fisica-sonia-guimaraes-abriu-portas-e-quer-ver-mais-mulheres-negras-na-ciencia/>>. Acesso em: 12 mai 2021.

BROUWER, W.; SINGH, A. The historical approach to science teaching. **The Physics Teacher**, v. 21, n. 230, apr. 1983.

BURNELL, J.B. Foreword. In MOORE, D. **What Stars Are Made Of – The Life of Cecilia Payne-Gaposchkin**. Harvard University Press, 2020.

CAMPOS, A.F.; RIBEIRO, L.A.C. Representação de gênero na divulgação científica: uma análise da série *Cosmos*. **Journal of Science Communication – América Latina**, v. 02, n. 01, 2019.

CARUSO, F.; OGURI, V. **Física Moderna – Origens Clássicas e Fundamentos Quânticos**. Campus. Rio de Janeiro, 2006.

CARVALHO, B.; JUSTI, R. O Caso Histórico Marie Curie: Investigando o Potencial da História da Ciência para Favorecer Reflexões de Professores em Formação sobre Natureza da

Ciência. **ALEXANDRIA: Revista de Educação em Ciência e Tecnologia**, v.12, n.1, p.351-373, mai. 2019.

CARVALHO, C.; GARCIA, N.M.D. A História da Ciência nos Livros Didáticos de Física. XII Congresso Nacional de Educação (EDUCERE) – PUC-PR. **Anais**. Curitiba, 26 a 29 de out de 2015.

CASSIANI, S. H. B.; ALMEIDA, A. M. Teoria Fundamentada nos Dados: a Coleta e Análise de Dados Qualitativos. **Cogitare Enfermagem**. v.4, n.2, p.13-21, 1999.

CASSIANI, S. H. B.; CALIRI, M.H.L.; PELÁ, N.T.R. A teoria fundamentada nos dados como abordagem da pesquisa interpretativa. **Revista Latino-Americana de Enfermagem**, v. 4, n. 3, p. 75-88, dez 1996.

CASTRO, R.S.; CARVALHO, A.M.P. História da ciência: investigando como usá-la num curso de segundo grau. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v.9, n.3, p.225-237, dez 1992.

CAVALCANTE, M.A. Uma Oficina de Física Moderna que Vise a sua Inserção no Ensino Médio. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**. v. 18, n. 3, Florianópolis, dez. 2001.

CHALMERS, A.F. **O que é Ciência Afinal?** Brasiliense. São Paulo, 1999.

CHICÓRA, T.; ALVES, J.A.; CAMARGO, S. A epistemologia de Ludwik Fleck: análise das produções do encontro nacional de pesquisa em educação em ciências entre os anos de 1997 e 2015. **ACTIO: Docência em Ciências**, Curitiba, v. 3, n. 3, p. 6-25, set./dez. 2018

CILENTO, J.; GUERRA, A. Discussões em Aulas de Física sobre a Participação de Mulheres na Ciência, a partir da Obra Diálogos sobre a Pluralidade dos Mundos. **ALEXANDRIA: Revista de Educação em Ciência e Tecnologia**, v.14, n.1, p.249-275, mai 2021.

CONDÉ, M.L.L. Mutações no Estilo de Pensamento: Ludwik Fleck e o Modelo Biológico na Historiografia da Ciência. **Revista de Filosofia Moderna e Contemporânea**, Brasília, v.6, n.1, p. 155-186, jul. 2018.

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

CORDEIRO, M.D.; PEDUZZI, L.O.Q. Um módulo sobre a radioatividade: sua história e sua transposição didática. *In* PEDUZZI, L.O.Q.; MARTINS, A.F.P.; FERREIRA; J.M.H. **Temas de História e Filosofia da Ciência no Ensino**. p. 123-154. EDUFRN, Natal, 2012.

CORDERO, R.A.; FRUTO, M.B. Elección de estudios CTIM y desequilibrios de género. **Enseñanza de las Ciencias**, 33.3, pp. 59-76, 2015.

CUDMANI, C. de; SANDOVAL, J. S. de. ¿Es Importante la Epistemología de las Ciencias en la Formación de Investigadores y de Profesores em Física? **Enseñanza de las Ciencias**. v. 22, n. 3, p. 455-462, 2004.

CURI, L.M.; SANTOS, R.C. Ludwik Fleck e a análise sociocultural da(s) ciência(s). **História, Ciências, Saúde – Manguinhos**, Rio de Janeiro, v.18, n.4, p.1169-1173, out.-dez. 2011.

DAMASIO, F.; PEDUZZI, L.O.Q. História e filosofia da ciência na educação científica: para quê? *Revista Ensaio*, v.19, p. e2583, 2017.

D'AMBROSIO, U. Tendências historiográficas na história da ciência. *In* ALFONSO-GOLDFARB, A.M.; BELTRAN, M.H.R. **Escrevendo a História da Ciência: Tendências, Propostas e Discussões Historiográficas**. p. 165-200. Editora Livraria da Física, São Paulo, 2004.

DEBUS, A. Ciência e história: o nascimento de uma nova área. *In* ALFONSO-GOLDFARB, A.M.; BELTRAN, M.H.R. **Escrevendo a História da Ciência: Tendências, Propostas e Discussões Historiográficas**. p. 13-40. Editora Livraria da Física, São Paulo, 2004.

DELIZOICOV, N.C.; DELIZOICOV, D. História da Ciência e a ação docente: a perspectiva de Ludwik Fleck. *In* PEDUZZI, L.O.Q.; MARTINS, A.F.P.; FERREIRA; J.M.H. **Temas de História e Filosofia da Ciência no Ensino**. p. 229-260. EDUFRN, Natal, 2012.

DELIZOICOV, D.; CASTILHO, N.; CUTOLO, L.R.A.; ROS, M.A.; LIMA, A.M.C. Sociogênese do conhecimento e pesquisa em ensino: contribuições a partir do referencial fleckiano. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v.19, número especial, p. 52-69, jun. 2002.

DeVORKIN, D.H.; KENAT, R. Quantum Physics and the Stars - Part One - the Establishment of a Stellar Temperature Scale. **Journal for the History of Astronomy**, v.14:2, n.40, p.102-132, 1983.

DeVORKIN, D.H. **Henry Norris Russell: Dean of American Astronomers**. Princeton U. Press, Princeton, N.J., 2000.

DeVORKIN, D.H. Extraordinary claims require extraordinary evidence: C.H. Payne H.N. Russell and standards of evidence in early quantitative spectroscopy. **Journal of Astronomical History and Heritage**, v. 13, n. 2, p. 139-144, Jul. 2010.

DRUMMOND, J.M.H. *et al.* Narrativas históricas: gravidade, sistemas de mundo e natureza da ciência. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 32, n. 1, p. 99-141, abr. 2015.

DANTES, M.A.M.; CHASSOT, W.C.F. Sonja Ashauer (1923 – 1948). In SAITOVITCH, E.M.B. *et al.* (Orgs.). **Mulheres na Física: casos históricos, panorama e perspectivas**. Editora Livraria da Física, São Paulo, 2015.

DeVORKIN, D. H. Extraordinary claims require extraordinary evidence: C.H. Payne H.N. Russell and standards of evidence in early quantitative spectroscopy. **Journal of Astronomical History and Heritage**, v. 13, n. 2, p. 139-144, Jul. 2010.

DUARTE, M.C. A história da ciência na prática de professores portugueses: implicações para a formação de professores de ciências. **Ciência & Educação**, v. 10, n. 3, p. 317-331, 2004.

EL-HANI, C.N. Notas sobre o ensino de história e filosofia das ciências na educação científica de nível superior. In SILVA, C.C. (Org.). **História e Filosofia da Ciência no Ensino de Ciências: da Teoria à Sala de Aula**. Editora Livraria da Física, São Paulo, p. 3-21, 2006.

FAZENDA, I. **Integração e interdisciplinaridade no ensino brasileiro: efetividade ou ideologia?** Edições Loyola, São Paulo, 1992.

\_\_\_\_\_. **Interdisciplinaridade: pensar, pesquisar e intervir.** Cortez, São Paulo, 2014.

FERREIRA, A.M.P.; FERREIRA, M.E.M.P. A História da Ciência na Formação de Professores. **História da Ciência e Ensino: Construindo Interfaces**, v. 2, p. 1-13, 2010.

FLECK, L. **Gênese e desenvolvimento de um fato científico.** 1ª ed. Fabrefactum Editora, Belo Horizonte, 2010.

FORATO, T.C.M. A Filosofia Mística e a Doutrina Newtoniana: uma discussão historiográfica. **ALEXANDRIA: Revista de Educação em Ciência e Tecnologia**, v.1, n.3, p.29-53, nov. 2008.

FORATO, T.C.M.; MARTINS, R.A.; PIETROCOLA, M. Enfrentando Obstáculos na Transposição didática da História da Ciência para a Sala de Aula. *In* PEDUZZI, L.O.Q.; MARTINS, A.F.P.; FERREIRA; J.M.H. **Temas de História e Filosofia da Ciência no Ensino.** p. 123-154. EDUFRRN, Natal, 2012.

FORATO, T. C. M.; PIETROCOLA, M; MARTINS, R.A. Historiografia e Natureza da Ciência em Sala de Aula. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física.** v. 28, n. 1, p. 27-59, 2011.

FOWLER, R.H.; MILNE, E.A. The intensities of absorption lines in stellar spectra, and the temperatures and pressures in the reversing layers of stars. **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, v. 83, p.403-424, May 1923.

FOX KELLER, E.. Reaching for the Stars. **The Women's Review of Books**, v. 1, n. 12 , p. 12-13, Sep. 1984.

FUNCHAL, R.Z. Madame Curie, a Primeira Dama da Ciência. *In* SAITOVITCH, E.M.B. *et al.* **Mulheres na Física: Casos Históricos, Panorama e Perspectivas**. Editora Livraria da Física, São Paulo, p. 17-30, 2015.

GATTI, S.R.T.; NARDI, R.; SILVA, D. A História da Ciência na Formação do professor de Física: Subsídios para um Curso sobre o Tema Atração Gravitacional Visando às Mudanças de Postura da Ação Docente. **Ciência & Educação**, v. 10, n. 3, p. 491-500, 2004.

GIL PÉREZ, D.; MONTORO, I.F.; ALÍS, J.C.; CACHAPUZ, A.; PRAIA, J. Para uma Imagem não Deformada do Trabalho Científico. **Ciência & Educação**, v.7, n.2, p.125-153, 2001.

GINGERICH, O. “The Most Brilliant Ph.D Thesis Ever Written in Astronomy”. *In* DAVIS PHILIP, A.G.; KOOPMANN, R.A. (Eds.). **The Starry Universe: the Cecilia Payne centenary**. L. Davis Press, p. 3-16, 2001.

GREENSTEIN, G. The Ladies of Observatory Hill: Annie Jump Cannon and Cecilia Payne-Gaposchkin. **The American Scholar**, v. 62, n. 3, p. 437-446, 1993.

GUERRA, A., MOURA, C.B.; GURGEL, I. Sobre Educação em Ciências, Rupturas e Futuros (Im)possíveis. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 37, n. 3, p. 1010-1019, dez. 2020.

GUIMARÃES, R. R; MASSONI, N. T. Argumentação e pensamento crítico na educação científica: análise de estudos de casos e problematizações conceituais. **Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia**, v. 13, n. 2, p. 320-344, 2020.

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, ago. 2020.

HANDELSMAN, J.; CANTOR, N.; CARNES, M.; DENTON, D. FINE, E.; GROSZ, B.; HINSHAW, V.; MARRET, C.; ROSSER, S.; SHALALA, D.; SHERIDAN, J. More Women in Science. **Science**, v.309, 19 ago 2005.

HARAWAY, D. Saberes localizados: a questão da ciência para o feminismo e o privilégio da perspectiva parcial. **Cadernos Pagu**. Núcleo de Estudos de Gênero – Pagu/Unicamp, v. 5, pp. 7-42, 1995.

HEARNshaw, J.K. **The Analysis of Starlight: Two Centuries of Astronomical Spectroscopy**. Cambridge University Press, Cambridge, 2014.

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 – RELEA**, n.9, p. 17-31, 2010.

HIDALGO, J. M., SCHIVANI, M.; SILVA, M. M. da. História e Filosofia da Ciência na formação docente: trabalhando com animações digitais. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 35, n. 3, p. 805-850, dez. 2018.

HOFFLEIT, D. Reminiscences of Cecilia Payne-Gaposchkin (1900 – 1979). In DAVIS PHILIP, A.G.; KOOPMANN, R.A. (Eds.). **The Starry Universe: the Cecilia Payne centenary**. L. Davis Press, p. 87-97, 2001.

HOOKS, B. Mulheres Negras: Moldando a Teoria Feminista. **Revista Brasileira de Ciência Política**. Brasília, n. 16, p. 193-210, jan.-abr. 2015.

JAEGER, A. A.; JACQUES, K. Masculinidades e docência na educação infantil. **Revista Estudos Feministas**, v. 25, n. 2, 2017.

JARDIM, W.T.; GUERRA, A.; SCHIFFER, H. History of Science in Physics teaching: possibilities for contextualized teaching? **Science & Education**, v. ONLIFI, p. 1-30, 2021.

KIDWELL, P.A. An Historical Introduction to 'The Dyer's Hand'. In HARAMUNDANIS, K. **Cecilia Payne-Gaposchkin: an Autobiography and Other Recollections**. Cambridge University Press, Cambridge, p. 11-38, 1996.

KRAGH, H. **Introducción a la Historia de la Ciencia**. Crítica, Barcelona, 2007.

LIMA DA SILVA, C.A. Homenagem à professora Elisa Frota-Pessôa. **Brazilian Journal of Physics**, v. 34, n. 4A, pp. 1461-1468, dec. 2004.

LINHARES, M.L.C. **Elisa Frota-Pessoa: a textualização de suas (auto)representações e questões de gênero nas ciências**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, 2018.

LINO, T.R.; MAYORGA, C. As mulheres como sujeitos da Ciência: uma análise da participação das mulheres na Ciência Moderna. **Saúde & Transformação Social / Health & Social Change**, v. 7, n. 3, pp. 96-107, 2016.

LORENZETTI, L.; MUENCHEN, C.; SLONGO, I.I.P. A Epistemologia de Fleck como referência para a pesquisa em Educação em Ciências no Brasil. *In* XI Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências – XI ENPEC. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 3 a 6 de julho de 2017. **Anais do XI ENPEC**, 2017.

---

\_\_\_\_\_ . A crescente presença da epistemologia de Ludwik Fleck na pesquisa em educação em ciências no Brasil. **Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia**, Ponta Grossa, v. 11, n. 1, p. 373-404, jan./abr. 2018.

MACHADO, D.I. Estrelas variáveis no contexto educacional: uma proposta envolvendo a observação de cefeidas clássicas no ensino médio. **Revista Latino-Americana de Educação em Astronomia - RELEA**, n. 28, p. 7-25, 2019.

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, abr. 2019.

MARQUES, A. Lise Meitner. *In* SAITOVITCH, E.M.B. *et al.* **Mulheres na Física: Casos Históricos, Panorama e Perspectivas**. Editora Livraria da Física, São Paulo, p. 49-72, 2015.b.

MARQUES, D.M. Formação de professores de ciências no contexto da História da Ciência. **História da Ciência e Ensino: Construindo Interfaces**, v. 11, p. 1-17, 2015.a.

MARTINS, A.F.P. História e Filosofia da Ciência no Ensino: Há Muitas Pedras nesse Caminho... **Caderno Brasileiro Ensino de Física**, v. 24, n. 1, p. 112-131, 2007.

\_\_\_\_\_. Terraplanismo, Ludwik Fleck e o mito de Prometeu. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 37, n. 3, p. 1193-1216, dez. 2020.

MARTINS, L.A.P. História da Ciência: Objetos, Métodos e Problemas. **Ciência & Educação**, v. 11, n. 2, p. 305-317, 2005.

MARTINS, R.A. Sobre o papel da História da Ciência. **Boletim da Sociedade Brasileira de História da Ciência**, v. 9, p.3-5, 1990.

\_\_\_\_\_. Como Não Escrever sobre História da Física - um Manifesto Historiográfico. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 23, n. 1, p. 113-129, 2001.

\_\_\_\_\_. Ciência versus Historiografia: os Diferentes Níveis Discursivos nas Obras sobre História da Ciência. In ALFONSO-GOLDFARB, A.M.; BELTRAN, M.H.R. **Escrevendo a História da Ciência: Tendências, Propostas e Discussões Historiográficas**. p. 115-146. Editora Livraria da Física, São Paulo, 2004.

\_\_\_\_\_. Introdução: a História das Ciências e seus Usos na Educação. In SILVA, C.C. **Estudos de história e filosofia das ciências: subsídios para aplicação no ensino**. p. xxi-xxxiv. Editora Livraria da Física, São Paulo, 2006.

\_\_\_\_\_. Seria possível uma história da ciência totalmente neutra, sem qualquer aspecto whig? **Boletim de História e Filosofia da Biologia**, V. 4, n. 3, p. 4-7, set 2010.

MASSONI, N.T. Epistemologias do Século XX. **Textos de Apoio ao Professor de Física**. v. 16 n. 3. UFRGS. Porto Alegre, 2005.

\_\_\_\_\_. **A epistemologia contemporânea e suas contribuições em diferentes níveis de ensino de física: a questão da mudança epistemológica.** Tese de doutorado. Programa de Pós-Graduação em Física. Instituto de Física da UFRGS. Porto Alegre, 2010.

MASSONI, N. T.; BRUCKMANN, M. E.; ALVES-BRITO, A. Reestruturação Curricular do curso de Licenciatura em Física da UFRGS: o processo de repensar a formação docente. **Revista Educar Mais**, vol. 4, n. 3, p. 512-541, 2020.

MASSONI, N. T.; MOREIRA, M. A. A epistemologia de Fleck: uma contribuição ao debate sobre a natureza da ciência. **ALEXANDRIA: Revista de Educação em Ciência e Tecnologia**, v. 8, n. 1, p.237-264, 2015.

MATTHEWS, M.R. História, Filosofia E Ensino de Ciências: a Tendência Atual de Reaproximação. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 12, n. 3, p. 164-214, dez 1995.

MATTOS, C.; HAMBURGER, A.I. História da Ciência, Interdisciplinaridade e Ensino de Física: o Problema do Demônio de Maxwell. **Ciência e Educação**, v. 10, n. 3, p. 477-490, 2004.

MENEZES, D.P. Mulheres na Física: a real idade em dados. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 34, n. 2, p. 341-343, ago 2017.

MENEZES, D.P.; BRITO, C.; ANTENEODO, C. Women in Physics: Scissors Effect from the Brazilian Olympiad of Physics to Professional Life. **Scientific American Brasil**, p 76-80, out 2017.

MENZEL, D.H. A Study of the Solar Chromosphere Based upon Photographs of the Flash Spectrum taken by Dr. William Wallace Campbell, Director of the Lick Observatory, at the Total Eclipses of the Sun in 1898, 1900, 1905 and 1908. **Publications of Lick Observatory**, v. 17, p.1-303, 1930.

MERRILL, P.W. Review: Stellar Atmospheres. A Contribution to the Study of High Temperature Ionization in the Reversing Layers of Stars, by Cecilia H. Payne. **Publications of the Astronomical Society of the Pacific**, v. 38, n. 221, p. 33-34, Feb. 1926.

MIZRAHY, E. Ludwik Fleck: pesquisador e prisioneiro. **Arquivo Maaravi: Revista Digital de Estudos Judaicos da UFMG**. Belo Horizonte, v. 6, n. 10, mar. 2012.

MONTEIRO, I.; QUINTA E COSTA, M.; RIBEIRO, V. História da Ciência na Formação de Professores – um projeto interdisciplinar. **História da Ciência e Ensino: Construindo Interfaces**, v. 20, p. 15-25, 2019.

MONTEIRO, K.F.; GRUBBA, L.S. A luta das mulheres pelo espaço público na primeira onda do feminismo: de sufragettes às sufragistas. **Direito e Desenvolvimento**, João Pessoa, v. 8, n. 2, p. 261-278, nov. 2017.

MONTEIRO, M.M.; MARTINS, A.F.P. Inércia, História da Ciência e Ensino de Física. *In* SILVA, A.P.B.; GUERRA, A. **História da ciência e ensino: fontes primárias e propostas para sala de aula**. Editora Livraria da Física, São Paulo, 2015.

MOORE, D. **What Stars Are Made Of – The Life of Cecilia Payne-Gaposchkin**. Harvard University Press, 2020.

MOREIRA, M.A. Aprendizagem Significativa Crítica. *In* MOREIRA, M.A.; VEIT, E.A. **Ensino superior: bases teóricas e metodológicas**. p. 89-98. E.P.U., São Paulo, 2010.

\_\_\_\_\_. *Teorias de aprendizagem*. E.P.U., São Paulo, 2011.

MOREIRA, M.A.; MASSONI, N.T. O Cotidiano da Sala de Aula de Uma Disciplina de História e Epistemologia da Física Para Futuros Professores de Física. **Investigações em Ensino de Ciências**. v.12, n.1, p.7-54, 2007.

\_\_\_\_\_. **Epistemologias do Século XX**. Editora E.P.U., São Paulo, 2011.

MOSHFEGHYEGANEH, S.; HAZARI, Z. Effect of culture on women physicists' career choice: A comparison of Muslim majority countries and the West. **Physical Review Physics Education Research**, v.17, 010114, 2021.

MOSS-RACUSIN, C.; DOVIDIO, J.F.; BRESCOLL, V.C.; GRAHAM, M.J.; HANDELSMAN, J. Science faculty's subtle gender biases favor male students. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 109, n. 41, p. 16474–16479, October 9, 2012.

NASCIMENTO, A.F.B.; SCHIMANDEIRO, A.P. **Uma proposta de ensino de ciências baseada nas práticas científicas de mulheres**. Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação – Licenciatura Interdisciplinar em Ciências Naturais, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2019.

NETO, G.B.; BORTOLAI, M.M.S. Whiggismo: entre uma condição de historicidade e um anacronismo historiográfico. XVIII Encontro Nacional de Ensino de Química (XVIII ENEQ) Florianópolis, SC, Brasil – 25 a 28 de julho de 2016. **Anais**, 2016.

NÓBREGA, F.P.; MACKEDANZ, L.F. O LHC (*Large Hadron Collider*) e a Nossa Física de cada Dia. **Revista Brasileira de Ensino de Física**. v.35, n.1, p.1301(1)-1301(11), 2013.

NUNES DEROSI, N.; FREITAS-REIS, I. Uma educadora científica do século XIX e algumas questões sexistas por ela enfrentadas: Marie Curie superando preconceitos de gênero. **Educación Química**, v. 30(4), p. 89-97, 2019.

OKI, M.C.M.; MORADILLO, E.F. O ensino de história da química: contribuindo para a compreensão da natureza da ciência. **Ciência & Educação**, v. 14, n. 1, p. 67-88, 2008.

OLIVEIRA FILHO, K.S.; SARAIVA, M.F.O. **Astronomia e Astrofísica**. Editora Livraria da Física, São Paulo, 2017.

OLIVEIRA, G.S.; MARQUES, D.M. História da ciência e ensino: análise do seu uso e incentivo à utilização. **História da Ciência e Ensino: Construindo Interfaces**, v. 20, especial, p. 420-434, 2010.

OLIVEIRA, R. A.; SILVA, A. P. B. História da Ciência e Ensino de Física: Uma Análise Meta-Históricográfica. In PEDUZZI, L.O.Q.; MARTINS, A.F.P.; FERREIRA; J.M.H. **Temas de História e Filosofia da Ciência no Ensino**. p. 41-64. EDUFRN, Natal, 2012.

\_\_\_\_\_. Entre o Discurso e a Prática sobre História, Filosofia e Natureza da Ciência e a Sala de Aula de Física: um Panorama a Partir dos Eventos de Ensino de Física. In SILVA, C. C.; PRESTES, M. E. B. **Aprendendo Ciência e sobre sua Natureza; Abordagens Históricas e Filosóficas**. p. 319-330. Tipographia Editora Expressa, São Carlos, 2013.

OSTERMANN, F.; CAVALCANTI, C. J. H. **Epistemologia – Implicações para o Ensino de Ciências**. Disponível em <<http://www.ufrgs.br/sead/servicos-ead/publicacoes1/pdf/Epistemologia.pdf>> Porto Alegre, 2011. Acesso em: 04 abr 2021.

PAYNE, C.H. A Synopsis of the Ionization Potentials of the Elements. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 10, n. 7, p.322-328, jul 1924.a.

PAYNE, C.H. On the Absorption Lines of Silicon in Stellar Atmospheres. **Harvard College Observatory Circular**, v. 252, p.1-12, jan 1924.b.

PAYNE, C.H. On Ionization in the Atmospheres of the Hotter Stars. **Harvard College Observatory Circular**, v. 256, p.1-8, jun 1924.c.

PAYNE, C.H. **Stellar Atmospheres – A Contribution to the Observational Study of High Temperature in the Reversing Layers of Stars**. Harvard Observatory Monograph, n. 1, 1925.a.

PAYNE, C.H. Astrophysical Data Bearing on the Relative Abundance of the Elements. **Proceedings of the National Academy of Sciences**. v. 11, p. 192-198, 1925.b.

PAYNE-GAPOSCHKIN, C.H. Russell and the Composition of Stellar Atmospheres. In PHILIP, D.; DeVORKIN, D.H. **The HR Diagram, In Memory of Henry Norris Russell**.

IAU Symposium n. 80, held November 2, 1977, at the National Academy of Sciences, Washington, DC. Report n. 13, p. 15-18, Dec. 1977.

PAYNE-GAPOSCHKIN, C.H. The Dyer's Hand: an Autobiography. *In* HARAMUNDANIS, K. **Cecilia Payne-Gaposchkin: an Autobiography and Other Recollections**. Cambridge University Press, Cambridge, p. 69-238, 1996.

PEDUZZI, L.O.Q. **As Concepções Espontâneas, a Resolução de Problemas e a História e Filosofia da Ciência em um Curso de Mecânica**. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Educação, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1998.

PENA, F.L.A. Sobre a presença do *Projeto Harvard* no sistema educacional brasileiro. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 34, n. 1, p.1701, 2012.

PFUETZENREITER, M.R. A epistemologia de Ludwik Fleck como referencial para a pesquisa no ensino na área de saúde. **Ciência & Educação**, v. 8, n. 2, p. 147–159, 2002.

PIETROCOLA, M. A matemática como linguagem estruturante do pensamento físico. In CARVALHO, M. P. de *et al.* (2010). **Ensino de Física**. p. 107-139. Cengage Learning. São Paulo, 2010.

PINHEIRO, B. C. S. Educação em Ciências na Escola Democrática e as Relações Étnico-Raciais. **Revista Brasileira De Pesquisa Em Educação Em Ciências**, v. 19, p. 329–344, 2019.

PINHEIRO, L. A.; MASSONI, N. T. Traçando um perfil para o professor de Física da Educação Básica: o que preconiza a legislação brasileira? **Revista Brasileira de Ensino de Ciências e Matemática**, vol. 4, n. 1, p. 430-457, 2021.

\_\_\_\_\_. **@Descolonizando saberes: mulheres negras na ciência**. Editora Livraria da Física, São Paulo, 2020.

PINTO, M.R.; SANTOS, L.L.S. A grounded theory como abordagem metodológica: relatos de uma experiência de campo. **Organizações & Sociedade**, Salvador, v.19, n.62, p. 417-436, jul/set 2012.

PIVA, P.J.L.; TAMIZARI, F. Luzes femininas: a felicidade segundo Madame du Châtelet. **Estudos Feministas**. Florianópolis, 20(3): 384, set-dez 2012.

PRAKASH, M. In Conversation – Jocelyn Bell Burnell. **Current Science**, vol. 106, n. 9, May 2014.

PRESTES, M.E.B.; CALDEIRA, A.M.A. Introdução. A importância da história da ciência na educação científica. **Filosofia e História da Biologia**, v. 4, p. 1-16, 2009.

PRIGOL, E.L.; BEHRENS, M.A. Teoria Fundamentada: metodologia aplicada na pesquisa em educação. **Educação & Realidade**, Porto Alegre, v. 44, n. 3, p. e84611, 2019.

QUINTAL, J.R.; GUERRA, A. A História da Ciência no Processo de Ensino-Aprendizagem. **Física na Escola**, v. 10, n. 1, p. 21-25, 2009.

RAICIK, A. C; PEDUZZI, L. O. Q. Um resgate histórico e filosófico dos estudos de Charles Du Fay, **Revista Ensaio**, v. 17, n. 1, p. 105-125, 2015.

REZNIK, G.; MASSARANI, L.; MOREIRA, I.C. Como a imagem de cientista aparece em curtas de animação? **História, Ciências, Saúde – Manguinhos**, v.26, n.3, p.753-777, jul-set 2019.

RIBEIRO FILHO, A. Emmy Noether, a cientista que o mundo não poderá esquecer, e a física-matemática. In SAITOVITCH, E.M.B. *et al.* **Mulheres na Física: Casos Históricos, Panorama e Perspectivas**. Editora Livraria da Física, São Paulo, p. 31-48, 2015.

RIBEIRO, G.; SILVA, J.L.J.C. A Relevância da História da Ciência para o Ensino de Ciências: Elementos Introdutórios. **Revista Acadêmica Gueto**, v.9, n.1, 2017.

\_\_\_\_\_. A Imagem do Cientista: Impacto de uma Intervenção Pedagógica Focalizada na História da Ciência. **Investigações em Ensino de Ciências**. v.23, n. 2, p.130-158, 2018.

RICARDO, E. C. Problematização e Contextualização no Ensino de Física. In CARVALHO, M. P. de *et al.* **Ensino de Física**. p. 107-139. Cengage Learning, São Paulo, 2010.

RODRÍGUEZ, Y.A.; ORTEGA, D.J.A. La historia y la epistemología como concepción didáctica en la enseñanza de la física. **Latin-American Journal of Physics Education**, v. 13, n. 1, Mar 2019.

ROSA, K.; ALVES-BRITO, A.; PINHEIRO, B.C.S. Pós-verdade para quem? Fatos produzidos por uma ciência racista. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 37, n. 3, p. 1440-1468, dez 2020.

ROSENTHAL, R.; RESENDE, D.B. Mulheres Cientistas: um Estudo sobre os Estereótipos de Gênero das Crianças acerca de Cientistas. In ZANDONÁ, J.; VEIGA, A.M.; NICHNIG, C. (Org.) Seminário Internacional Fazendo Gênero 11 & 13th Women's Worlds Congress, Florianópolis, 2017. **Anais eletrônicos**, Florianópolis: UFSC, 2018.

ROSSITER, M.W. **Women Scientists in America: struggles and strategies to 1940**. Johns Hopkins University Press, Baltimore, 1982.

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

RUSSELL, H.N. The Solar Spectrum and the Earth's Crust. **Science**, v. 39, n. 1013, p. 791-794, May 1914.

RUSSELL, H.N. The Properties of Matter as Illustrated by the Stars. **Publications of the Astronomical Society of the Pacific**, v. 33, n. 275, dec 1921.

RUSSELL, H.N. On the Composition of the Sun's Atmosphere. **Astrophysical Journal**, v. 70, p.11-82, Jul. 1929.

RUSSELL, H.N.; ADAMS, W.S.; MOORE, C.E. A calibration of Rowland's intensity scale for solar lines. **Popular Astronomy**, v. 36, p.295, 1928.

RUSSELL, H.N.; COMPTON, K.T. A Possible Explanation of the Behaviour of the Hydrogen Lines in Giant Stars. **Nature**, v. 114, n. 2855, p. 86-87, jul 1924.

RUSSELL, H.N. ; STEWART, J.Q. Pressures at the Sun's Surface. **Astrophysical Journal**, v. 59, p.197-209, May 1924.

SAHA, M.N. Ionization in the Solar Chromosphere. **Philosophical Magazine**, v. 6, p. 472-488, 1920.

SAHA, M.N. On a Physical Theory of Stellar Spectra. **Proceedings of the Royal Society of London**. Series A, Containing Papers of a Mathematical and Physical Character, v. 99, n. 697, p. 135-153, May 1921.

SAITO, M.T. A noção de verdade e a circulação do conhecimento científico em Fleck: elementos para uma reflexão sobre a era da pós-verdade. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 37, n. 3, p. 1217-1249, dez. 2020.

SAITOVITCH, E. B.; LIMA, B. S.; BARBOSA, M. C. **Mulheres na Física: Por que tão poucas?**, 2013. Disponível em <<http://www.if.ufrgs.br/~barbosa/Publications/Gender/barbosa-mulheres-mundo-brasil.pdf>>. Acesso em 16/01/2019.

SANTANA, C.Q. **Gênero, ciência e história: reflexões para escrita de história de mulheres nas ciências**. Dissertação de Mestrado - Programa de Pós-Graduação em Ensino, Filosofia e História das Ciências, da Universidade Federal da Bahia e Universidade Estadual de Feira de Santana, Salvador, 2021.

SANTOS, A.F. Lavoisier e a História da Química: uma Análise de Livros Didáticos. *In* BELTRAN, M.H.R.; TRINDADE, L.S.P. **História da Ciência e Ensino: Abordagens interdisciplinares**. Editora Livraria da Física, São Paulo, 2017.

SCHÄFER, L.; SCHNELLE, T. Fundamentação da perspectiva sociológica de Ludwik Fleck na teoria da ciência. *In* FLECK, L. **Gênese e desenvolvimento de um fato científico**. 1ª ed. Fabrefactum Editora, Belo Horizonte, 2010.

SCHIEBINGER, L. Women at Work: A Meeting on the Status of Women in Astronomy. *In* URRY, C. M.; Laura DANLY, L.; SHERBERT, L.E.; GONZAGA, S (Ed.). Workshop held at the Space Telescope Science Institute, Baltimore, Maryland, September 8-9, 1992. **Proceedings**, Baltimore: Space Telescope Science Institute, 1993.

\_\_\_\_\_. **O Feminismo Matou a Ciência?** Editora EDUSC, Bauru, 2001.

SCHIEBINGER, L. Mais mulheres na ciência: questões de conhecimento. Apresentação de Maria Margaret Lopes. **História, Ciências, Saúde – Manguinhos**, Rio de Janeiro, v.15, supl., p.269-281, jun. 2008.

SCHIFFER, H.; GUERRA, A. Problematizando Práticas Científicas em Aulas de Física: o uso de uma História Interrompida para se Discutir Ciência de Forma Epistemológica-Contextual. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 19, p. 95-127, 2019.

SILVA, A.P.B.; FORATO, T.C.M.; GOMES, J.L.A.M. Concepções sobre a Natureza do Calor em Diferentes Contextos Históricos. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 30, n. 3, p. 492-537, dez. 2013.

SILVA, A.P.B.; GUERRA, A. **História da ciência e ensino: fontes primárias e propostas para sala de aula**. Editora Livraria da Física, São Paulo, 2015.

SILVA, B.V.C. A história e filosofia da ciência na sala de aula: Construindo estratégias didáticas com futuros professores de Física. **Latin-American Journal of Physics Education**, v. 6, n. 3, Sep 2012.

SILVA, E.S.; TEIXEIRA, E.S.; PENIDO, M.C.M. Análise de Propostas Didáticas de Física Orientadas por Abordagens Históricas. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 35, 768 n. 3, p. 766-804, dez. 2018.

SILVA, F.F.; RIBEIRO, P.R.C. A Participação das Mulheres na Ciência: Problematizações sobre as Diferenças de Gênero. **Revista Labrys Estudos Feministas**. n. 10, 2011.

\_\_\_\_\_. Trajetórias de mulheres na ciência: “ser cientista” e “ser mulher”. **Ciência & Educação**, v. 20, n. 2, p. 449-466, 2014.

SOBEL, D. **The Glass Universe: How the Ladies of the Harvard Observatory Took the Measure of the Stars**. Penguin Books, London, 2016.

SOLBES, J.; TRAVER, M. Resultados Obtenidos Introduciendo Historia de la Ciencia en las Clases de Física y Química: Mejora de la Imagen de la Ciencia y Desarrollo de Actitudes Positivas. **Enseñanza de las Ciencias**. v. 19, n.1, p. 151-162, 2001.

SOUZA, D.S.C.; SILVA, B.V.C. Termodinâmica e Revolução Industrial: Uma abordagem por meio da História e da Epistemologia da Ciência. **Latin-American Journal of Physics Education**, v. 15, n. 1, mar 2021.

SOUZA, R.D.; MATOS, E.A.S.A. A epistemologia de Ludwik Fleck na formação de professores de ciências: um estudo de revisão de literatura das produções em programas de pós-graduação *stricto sensu*. **#Tear: Revista de Educação Ciência e Tecnologia**, Canoas, v.5, n.2, 2016.

SOUZA, R.E. **Astrofísica Galáctica e Extragaláctica**. Ago 2019. Disponível em <<http://www.astro.iag.usp.br/~ronaldo/extragal/Cap1.pdf>>. Acesso em: 22 abr 2021.

SOUZA, R.S.; SILVA, I.L.; TEIXEIRA, E.S. Contextualização histórica: um estudo piloto no ensino de mecânica quântica. **Experiências em Ensino de Ciências**, v.15, n. 2, 2020.

STASIŃSKA, G. Por que as estrelas são importantes para nós? **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 27, n. especial, p. 672-684, dez 2010.

STRAUSS, A; CORBIN, J. **Pesquisa qualitativa: técnicas e procedimentos para o desenvolvimento de teoria fundamentada**. Editora Artmed, Porto Alegre, 2008.

STRUVE, O. Review: Stellar Atmospheres. A Contribution to the Study of High Temperature Ionization in the Reversing Layers of Stars by Cecilia H. Payne. **Astrophysical Journal**, v. 64, p. 204-207, Oct. 1926.

TEIXEIRA, E. S.; GRECA, I. M.; FREIRE JR, O. Uma Revisão Sistemática das Pesquisas Publicadas no Brasil sobre o Uso Didático de História e Filosofia da Ciência No Ensino De Física. In PEDUZZI, L.O.Q.; MARTINS, A.F.P.; FERREIRA; J.M.H. **Temas de História e Filosofia da Ciência no Ensino**. p. 9-40. EDUFRRN, Natal, 2012.

TEIXEIRA, L.H.O. A abordagem tradicional de ensino e suas repercussões sob a percepção de um aluno. **Revista Educação em Foco**, n. 10, 2018.

TERRAZAN, E.A. A Inserção da Física Moderna e Contemporânea no Ensino de Física na Escola de 2º Grau. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**. v.9, n.3, p.209-214, Florianópolis, dez. 1992.

TESSER, C.D. Contribuições das Epistemologias de Kuhn e Fleck para a Reforma do Ensino Médico. **Revista Brasileira de Educação Médica**, v.32, n.1, p. 98-104, 2008.

TRIMBLE, V. Cecilia Payne-Gaposchkin: an Introduction. In HARAMUNDANIS, K. **Cecilia Payne-Gaposchkin: an Autobiography and Other Recollections**. Cambridge University Press, Cambridge, p. vii-xxii, 1996.

TRIMBLE, V. Cecilia Payne-Gaposchkin and the Rest of the Universe. In DAVIS PHILIP, A.G.; KOOPMANN, R.A. (Eds.). **The Starry Universe: the Cecilia Payne centenary**. L. Davis Press, p. 149-158, 2001.

TRINDADE, L.S.P.; BELTRAN, M.H.R.; TONETTO, S.R. **Prática e Estratégias Femininas: Histórias de Mulheres nas Ciências da Matéria**. Editora Livraria da Física, São Paulo, 2016.

UNESCO. **Measuring Gender Equality in Science and Engineering: the SAGA Toolkit, SAGA Working Paper 2**, Paris, 2017. Disponível em <<http://uis.unesco.org/sites/default/files/documents/saga-toolkit-wp2-2017-en.pdf>>. Acesso em 16 mar 2021.

\_\_\_\_\_. **Telling SAGA: Improving Measurement and Policies for Gender Equality in Science, Technology and Innovation, SAGA Working Paper 5**, Paris, 2018. Disponível em <<https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000266102>>. Acesso em 20 mar 2021.

\_\_\_\_\_. **Women in Science - Fact Sheet No. 55**, 2019. Disponível em <<http://uis.unesco.org/sites/default/files/documents/fs55-women-in-science-2019-en.pdf>>. Acesso em 18 mar 2021.

UNSÖLD, A. Über die Struktur der Fraunhofersehen Linien und die quantitative Spektralanalyse der Sonnenatmosphäre. **Zeitschrift für Physik**, v. 46, n. 11-12, p. 765-781, nov. 1928.

VALENTOVA, J.V.; OTTA, E.; SILVA, M.L.; MCELLIGOTT, A.G. Underrepresentation of Women in the Senior Levels of Brazilian Science. **PeerJ**. 5:e4000, 2017.

VIEIRA, A.S.; SOUZA, G.K.; BURATTO, L.H. Feminismo e Gênero: Lutas e Desigualdades. In SILVA, A.S.; AZEREDO, J.L. (Eds.). Seminário de Filosofia e Sociedade, 3, 2017, Criciúma. **Atas**, v.2, n.1, 2018.

VIEIRA, F. S. S. Do Eurocentrismo ao Afropessimismo: Reflexão Sobre a Construção do Imaginário da África no Brasil. **Revista em Debate**, 33, p. 1-15, 2006.

VIEIRA, P.C. **Perspectivas sobre a Evolução Histórica do Conceito de Luz e sua Integração com a Fotografia para o Ensino de Óptica**. Dissertação de Mestrado - Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

WAYMAN, P.A. Cecilia Payne-Gaposchkin: astronomer extraordinaire. **Oxford Journals**, v. 43, p 1.27-1.29, fev 2002.

WEST, D. **The Astronomer Cecilia Payne-Gaposchkin – A Short Biography**. 30 Minute Book Series, 2015.

## 7. APÊNDICE

Carta de autorização para a publicação das fotos que integram as Figuras 19 e 20.

### CENTER FOR

HARVARD & SMITHSONIAN

July 28, 2021

Dear Patrese Vieira,

Thank you for your request to use the below glass plate photographs from the Harvard Observatory's astronomical glass plate photograph collection:

1. Plate C493
2. Plate I38727
3. Plate X4709

By this letter, I give you permission to reproduce these images for one-time use, world, all languages, both print and electronic forms in the following project-

*Project Title:* Uma estrela eclipsada na ciência: um resgate histórico de Cecilia Payne e seu papel na determinação da composição estelar (A star eclipsed in science: a historical rescue of Cecilia Payne and her role in determining stellar composition)

*Author:* Patrese Coelho Vieira

*Publisher:* Universidade Federal do Rio Grande do Sul (Federal University of Rio Grande do Sul)

*Short Description:* The research in the History of Science is part of a doctoral thesis that deals with a rescue of the life and work of Cecilia Payne-Gaposchkin about her pioneering role in determining the composition of stellar atmospheres and the challenges she faced as a woman scientist in the early twentieth century.

Please credit the images to "Harvard College Observatory, Photographic Glass Plate Collection." We have waived the fee for the use of these photographs. If possible, please provide us with a copy of the publication or a link to it for our record.

Sincerely,

Lindsay Smith Zrull  
Curator of Astronomical Photographs  
Center for Astrophysics | Harvard & Smithsonian  
60 Garden Street  
Cambridge, MA 02138

---

Email [Lindsay.zrull@cfa.harvard.edu](mailto:Lindsay.zrull@cfa.harvard.edu)  
Phone 617-495-3362

Center for Astrophysics | Harvard & Smithsonian  
60 Garden St., MS 41  
Cambridge, MA 02138