



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CAMPUS REITOR JOÃO DAVID FERREIRA LIMA
DEPARTAMENTO DE FÍSICA
LICENCIATURA EM FÍSICA

Julia Medeiros

**Um estudo histórico-epistemológico sobre a descoberta da matéria escura e o
protagonismo da pesquisa desenvolvida por Vera Rubin**

Florianópolis
2024

Julia Medeiros

Um estudo histórico-epistemológico sobre a descoberta da matéria escura e o protagonismo da pesquisa desenvolvida por Vera Rubin

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao curso de Licenciatura em Física do Campus Reitor João David Ferreira Lima da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial para a obtenção do título de Licenciada em Física.

Orientadora: Profa. Gabriela Kaiana Ferreira, Dra.

Florianópolis

2024

Medeiros, Julia

Um estudo histórico-epistemológico sobre a descoberta da matéria escura e o protagonismo da pesquisa desenvolvida por Vera Rubin / Julia Medeiros ; orientadora, Gabriela Kaiana Ferreira, 2024.

92 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Físicas e Matemáticas, Graduação em Física, Florianópolis, 2024.

Inclui referências.

1. Física. 2. matéria escura. 3. Mulheres na Ciência. 4. História e Filosofia da Ciência. 5. Natureza da Ciência. I. Ferreira, Gabriela Kaiana . II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Física. III. Título.

Julia Medeiros

Um estudo histórico-epistemológico sobre a descoberta da matéria escura e o protagonismo da pesquisa desenvolvida por Vera Rubin

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do título de Licenciada em Física e aprovado em sua forma final pelo Curso de Licenciatura em Física.

Florianópolis, 9 de fevereiro de 2024.

Insira neste espaço
a assinatura

Coordenação do Curso

Banca examinadora

Insira neste espaço
a assinatura

Profa. Gabriela Kaiana Ferreira, Dra.

Orientadora

Insira neste espaço
a assinatura

Profa. Karine Raquel Halmenschlager, Dra.

Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)

Insira neste espaço
a assinatura

Profa. Larissa do Nascimento Pires, Ma.

Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC) - Campus Araranguá

Florianópolis, 2024.

Dedico este trabalho aos meus amados pais, que estão sempre comigo.

AGRADECIMENTOS

Inicio estes agradecimentos, enunciando minha imensa gratidão aos meus amados pais, minha mãe Marivane e meu pai Paulo. Se sou uma pessoa mais feliz a cada dia e se me sinto realizada com as minhas conquistas, grande parte disso é por conta do papel que vocês têm em minha vida. Reconheço todos os esforços que sempre fizeram para que eu pudesse seguir estudando. Me ensinando e lembrando do papel transformador que a educação exerce nas pessoas. O apoio de vocês sempre foi essencial nesse caminho.

Obrigada a todos os professores e professoras que tive ao longo do curso de Licenciatura em Física na UFSC de Florianópolis, especialmente a professora e orientadora Gabriela Kaiana que, como pessoa e pesquisadora é uma inspiração para mim e provavelmente à muitas outras alunas e alunos. Suas orientações, opiniões e apoio são valiosos para mim e possibilitaram abrir meu horizonte para o estudo sobre as mulheres na História da Ciência.

Agradeço o Projeto de Extensão Meninas na Ciência, o qual tive a oportunidade de atuar como bolsista no ano de 2023. Foi uma das experiências mais enriquecedoras ao longo do curso. Me identifico fortemente com o propósito do projeto e acredito que iniciativas como essa tem o poder de provocar as mudanças necessárias à Ciência. Para que seja uma área mais aberta à diversidade de pessoas que se interessam em estudá-la.

Agradeço também às professoras que compõem a banca de defesa do meu Trabalho de Conclusão de Curso: Karine Raquiel Halmenschlager, Larissa do Nascimento Pires e Marinês Domingues Cordeiro, por prontamente aceitarem o convite.

Por fim, agradeço a todos os meus amigos, do curso e da vida, aos meus familiares, à Megui e ao Augusto — os melhores amigos de estimação que eu poderia sonhar em ter.

Muito obrigada a todos!

DENNIS the MENACE



*LOTS OF THINGS ARE INVISIBLE, BUT WE DON'T
KNOW HOW MANY BECAUSE WE CAN'T SEE THEM.*

A charge acima está presente no livro "*Bright Galaxies, Dark Matters*" escrito por Vera Cooper Rubin. Em tradução própria, o texto diz que "Muitas coisas são invisíveis, mas nós não sabemos quantas porque não podemos vê-las.". Seu humor está no fato de Dennis reconhecer os problemas na determinação da quantidade de matéria escura que existe em nosso Universo.

RESUMO

Na busca por uma educação em ciências que ultrapasse a simples exposição dos resultados científicos, várias pesquisas na área de ensino são desenvolvidas para que tal concepção, ancorada em idealizações sobre a universalidade, neutralidade e objetividade da Ciência, deixe de ser associada ao processo de construção dos conhecimentos científicos. A linha temática de Epistemologia, Filosofia e História da Ciência constitui a grande área de pesquisa em ensino de Física e, orienta e motiva as investigações sobre o tema, a partir das demandas educacionais. Dentre as contribuições dessas pesquisas, tem-se a construção de uma nova visão de mundo a respeito da prática científica a partir da compreensão da ciência em sua forma mais plural e diversa. Nesse sentido, as narrativas históricas destacam-se como importantes recursos para professores e alunos, podendo propiciar discussões acerca da História e da Filosofia da Ciência (HFC) e reflexões sobre a Natureza da Ciência (NdC) em sala de aula. Além disso, oferecem uma maior visibilidade à representação de mulheres em espaços de construção de conhecimento científico ao evidenciar suas contribuições. Este trabalho tem como objetivo geral desenvolver um estudo histórico-epistemológico sobre a pesquisa da matéria escura, destacando o papel da astrônoma estadunidense Vera Rubin. Considerando os pressupostos epistemológicos de Thomas Kuhn, foram erigidos textos organizados no formato de artigos baseando-se em fontes de literatura primária e secundária. O estudo historiográfico do evento protagonizado por Rubin traz pertinentes aspectos da NdC, assim como elementos relacionados às questões de Gênero e Ciência com destaque em sua trajetória de vida acadêmica. Para a análise dessas relações, fundamentou-se na perspectiva de Londa Schiebinger. No contexto da educação básica, acredita-se que o trabalho possa auxiliar na apresentação histórica relativa aos estudos da matéria escura, articuladamente, ressaltando o relevante papel das mulheres na Ciência.

Palavras-chave: matéria escura; História e Filosofia da Ciência; Natureza da Ciência; Mulheres na Ciência; Gênero e Ciência.

ABSTRACT

In the search for science education that goes beyond the simple exposition of scientific results, several researches in the area of teaching are designed so that such a conception, anchored in idealizations about the universality, neutrality and objectivity of science, is no longer associated with the process of construction of scientific knowledge. The thematic line of Epistemology, Philosophy and History of Science constitutes a large area of research in Physics Teaching and guides and motivates investigations on the topic, based on educational demands. Among the contributions of this research is the construction of a new worldview regarding scientific practice based on the understanding of science in its most plural and diverse form. In this sense, historical narratives stand out as important resources for educators and students, being able to encourage discussions about the History and Philosophy of Science (HPS) and reflections on the Nature of Science (NoS) in the classroom. Furthermore, it offers greater visibility to the representation of women in spaces for the construction of scientific knowledge by highlighting their contributions. This work has the general objective of developing a historical-epistemological study on dark matter research, highlighting the role of American astronomer Vera Rubin. Considering the epistemological assumptions of Thomas Kuhn, texts were created organized in the format of articles based on primary and secondary literature sources. The historiographical study of the event led by Rubin brings pertinent aspects of the NoS, as well as elements related to Gender and Science issues highlighted in her academic life trajectory. To analyze these relationships, it was based on the perspective of Londa Schiebinger. In the context of basic education, it is believed that the work can assist in the historical presentation regarding dark matter studies, articulately highlighting the relevant role of women in science.

Keywords: dark matter; History and Philosophy of Science; Nature of Science; Women in Science; Gender and Sciences.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Curva de velocidade de rotação de M31 medida por Rubin e Ford	29
Figura 2 – Galáxia M31 sobreposta à curva de rotação medida por Rubin e Ford	30
Figura 3 – Kent Ford (esquerda), Norbert Thonnard e Vera Rubin em 1984	34
Figura 4 – Vinte e três curvas de rotação plana para galáxias Sb	37
Figura 5 – Vera Rubin no Vassar College em 2005 em frente a um busto de Maria Mitchell	64
Figura 6 – Trecho do comentário crítico feito por Vera Rubin para a revista Physics Today publicada em 1982	72

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AAS – Sociedade Astronômica Americana

AIP – Instituto Americano de Física

APS – Sociedade Americana de Física

Caltech – Instituto de Tecnologia da Califórnia

CWSE – Comitê das Academias sobre Mulheres na Ciência e na Engenharia

ERA – Emenda da Igualdade de Direitos

HFC – História e Filosofia da Ciência

IAU – União Astronômica Internacional

IFSC – Instituto Federal de Santa Catarina

MOND – Dinâmica Newtoniana Modificada

NAE – Academia Nacional de Engenharia

NAS – Academia Nacional de Ciências

NdC – Natureza da Ciência

NRC – Conselho Nacional de Pesquisa

TCC – Trabalho de Conclusão de Curso

UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 ALÉM DAS GALÁXIAS BRILHANTES: A DESCOBERTA DA MATÉRIA ESCURA E O PROTAGONISMO DE VERA RUBIN	18
2.1 INTRODUÇÃO	18
2.2 IDEIAS INICIAIS SOBRE O UNIVERSO ESCURO	21
2.3 A ORIGEM HISTÓRICA DAS PESQUISAS SOBRE A MATÉRIA ESCURA	23
2.4 REFLEXÕES EPISTEMOLÓGICAS SOBRE A DESCOBERTA DA MATÉRIA ESCURA	40
2.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	47
REFERÊNCIAS	51
3 O UNIVERSO ESCURO PARA AS MULHERES: GÊNERO E CIÊNCIA NA TRAJETÓRIA DE VERA RUBIN NA ASTRONOMIA	58
3.1 INTRODUÇÃO	58
3.2 BREVES ASPECTOS BIOGRÁFICOS DE VERA RUBIN	63
3.3 DISCUSSÕES SOBRE GÊNERO E CIÊNCIA A PARTIR DA TRAJETÓRIA ACADÊMICA DE RUBIN	65
3.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	77
REFERÊNCIAS	79
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	84
REFERÊNCIAS	88

1 INTRODUÇÃO

A literatura especializada da área de Educação em Ciências, nacional e internacional, em vista da persistente compreensão ingênua sobre o processo de construção do conhecimento científico, vêm apontando para a importância de que professores e alunos, aprendam e ensinem não apenas conteúdos que fazem parte da Ciência mas desenvolvam uma concepção sobre a natureza do empreendimento científico (Moura, 2014; Peduzzi; Raicik, 2020). Fato reiterado pelas pesquisas em ensino, que mostram que além dos alunos, em diferentes níveis de escolaridade, trazerem à sala de aula seus construtos pessoais para a explicação do mundo físico, também demonstram possuir concepções inadequadas sobre a Natureza da Ciência (Moreira; Massoni; Ostermann, 2007), que, em uma acepção renovada compreende

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

Em especial, no ensino de Física, tem-se um imaginário comum associado a uma concepção empirista-indutivista e atórica da ciência, na qual a investigação dos fenômenos científicos é resultado da observação e experimentação, consideradas atividades neutras, em detrimento do papel orientador da formulação de teorias e hipóteses no processo. Nessa perspectiva, constitui-se de uma sequência de etapas a serem seguidas de maneira mecânica, distanciando-se largamente do modo como o conhecimento científico realmente é construído e produzido (Gil Pérez *et al.*, 2001; Moreira; Massoni; Ostermann, 2007). Percebe-se, portanto, a necessidade de que as interpretações que sugerem a existência de um método científico universal para a construção do conhecimento científico sejam renunciadas.

Essa visão deturpada da ciência, com características androcêntrica, elitista, individualista e quantificadora, se reflete no imaginário socialmente difundido sobre o trabalho científico, assinalado como sendo restrito aos feitos de gênios isolados, com marcadores sociais específicos que respaldam na discriminação as minorias, o

que certamente acaba transmitindo à grande parcela dos alunos o sentimento de não pertencimento a esse espaço (Heerdt; Batista, 2016; Gil Pérez *et al.*, 2001). Tal pensamento se apoia em parte na corrente filosófica conhecida como positivismo científico.

Para os positivistas, não existe nenhum conhecimento legítimo fora das ciências e todos os enunciados precisam ser passíveis de verificação experimental. Deste modo, existe um método [científico] único e infalível para aquisição do conhecimento científico, baseado na observação, na experiência, no acúmulo de evidências e na formulação de hipóteses (Gomes; Bellini, 2009).

Em oposição a essas ideias, devemos perceber a Ciência como produto das ações humanas. Tal qual define a psicologia construtivista, a superação da concepção empírico-indutivista pressupõe o reconhecimento da dimensão criativa e imaginativa do fazer científico (Moreira; Massoni; Ostermann, 2007). Isto posto, percebe-se o conhecimento científico não como uma verdade absoluta, mas sim como um produto do seu tempo, influenciado culturalmente e suscetível a modificações em razão das circunstâncias nas quais é desenvolvido.

Dentre as alternativas para superação desse cenário, tem-se as abordagens em História e Filosofia da Ciência (HFC). Diversos autores (Gil Pérez *et al.*, 2001; Matthews, 1995; Guerra; Moura, 2022) indicam o estudo de conteúdos científicos a partir de enfoques histórico-filosóficos como forma de atribuir mais significados. As discussões fomentadas a partir dessa abordagem têm o potencial de trazer elementos acerca dos fatores internos e externos que determinam a construção do conhecimento científico, permitindo que o aluno exercite sua capacidade reflexiva e crítica frente ao que é apresentado.

Essa visão sobre o ensino de ciências, vem ao encontro de uma tentativa de se desvincular ao que é denominado de “mar de falta de significado” (Matthews, 1995, p. 165), onde os conteúdos desenvolvidos carecem de contextos histórico, social, econômico e cultural (Guerra; Moura, 2022). Logo, argumenta-se que a promoção de tópicos de História e Filosofia da Ciência no ensino pode resultar em enormes benefícios para a aprendizagem do aluno (Fabricio; Aires, 2016).

No que tange às contribuições da inserção da HFC ao ensino, Matthews (1995) assinala que essa abordagem pode: humanizar os conteúdos; despertar o interesse e motivação; oferecer aulas de ciências desafiadoras e reflexivas,

estimulando a criticidade; propiciar o entendimento abrangente dos conteúdos, mapeando seu desenvolvimento e aprimoramento ao longo do tempo; qualificar a formação docente ao auxiliar na apresentação de uma epistemologia da Ciência mais robusta e original; explicitar o valor intrínseco em compreender-se episódios fundamentais da História da Ciência; sinalizar o caráter mutável e instável do pensamento científico; permitir uma compreensão mais profunda dos conteúdos e métodos científicos e, argumentar-se contrária ao cientificismo. Em consonância a esses aspectos, Gurgel (2020) afirma a necessidade da defesa do papel político da inclusão da História da Ciência como instrumento para a transformação.

Ao constatarmos o potencial de humanização das abordagens históricas, distanciando-se das idealizações da Ciência, revela-se as questões problemáticas existentes no ambiente científico, como o preconceito por gênero (Gurgel, 2020). Contudo, tradicionalmente a historiografia negligencia o importante papel das mulheres na Ciência (Chassot, 2004; Schiebinger, 2001; Citeli, 2000; Lopes; Costa, 2005). De encontro à concepção de manutenção da pluralidade e diversidade na Ciência, escrever sobre o passado das cientistas é um caminho para fazer disso uma realidade. Ao fazer com que mulheres se sintam representadas, cria-se um ambiente mais convidativo e desmistifica-se a ideia de que a atividade científica seja exclusiva a homens. Mesmo que a maior visibilidade histórica das mulheres seja uma das possibilidades para o reconhecimento das relações sociais de opressão que se manifestam nas áreas de ciências e tecnologia e para reconfiguração desse cenário, há um carecimento de pesquisas que se incumbem em destacar suas contribuições e trajetórias (Lima, 2015; Cordeiro, 2017; Maia Filho; Silva, 2019; Pires, 2019, 2022).

Dentre os estudos que ensejam divulgar exemplos de mulheres cientistas, destacam-se os trabalhos de Pires (2022), intitulado “Jocelyn Bell Burnell e os pulsares: um estudo histórico-epistemológico para a educação científica”, de Maia Filho e Silva (2019) “A trajetória de Chien Shiung Wu e a sua contribuição à Física” e de Lima (2015) “Lise Meitner e a fissão nuclear: uma visão não eurocêntrica da Ciência”. Todos esses trabalhos fazem uso da História da Ciência como ferramenta de suporte às discussões sobre Ciência e sobre a presença de mulheres nas ciências.

Com base nos argumentos anteriores, delimita-se como temática de interesse desta pesquisa a exploração de um notável episódio da História da Ciência em uma análise baseada na HFC com reflexões sobre NdC. Atentando especialmente à investigação da história das mulheres na Ciência, como forma de divulgar as contribuições das mulheres para a comunidade científica e para a sociedade como um todo. À vista disso, este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) tem como recorte de pesquisa, o trabalho da astrônoma Vera Cooper Rubin (1928-2016) e define como objeto de estudo a descoberta da matéria escura, evento científico ligado à astrônoma estadunidense. No campo da Astronomia, Rubin mostrou, em sua pesquisa sobre a rotação de galáxias, evidências substanciais sobre a matéria escura no Universo, passando a ser reconhecida então como a “mãe da matéria escura” (Carnegie Science, 2023).

Diante do exposto, o objetivo geral deste trabalho é realizar um estudo histórico-epistemológico sobre o episódio de descoberta da matéria escura protagonizado pela pesquisa desenvolvida por Vera Rubin. Tendo a pretensão de responder ao seguinte problema de pesquisa: “Que discussões relativas à Natureza da Ciência podem ser evidenciadas por meio da análise dos elementos históricos relacionados à descoberta da matéria escura no Universo, episódio protagonizado pela astrônoma Vera Rubin?”. Para isso, foram definidos três objetivos específicos, a saber:

- apresentar conceitos de Física e de Astronomia que possibilitam a compreensão do conceito de matéria escura através de estudo bibliográfico;
- promover discussões acerca da Natureza da Ciência com base nos elementos históricos relacionados ao episódio de descoberta da matéria escura no Universo considerando o protagonismo de Vera Rubin, baseando-se em referenciais do campo da Epistemologia e Filosofia da Ciência;
- apresentar aspectos relacionados à trajetória acadêmica da astrônoma Vera Rubin, incluindo uma discussão sobre a presença de mulheres em carreiras científicas, recorrendo a referenciais de Gênero e Ciência.

A pesquisa desenvolvida tem natureza teórica e está estruturada no formato de dois artigos. A opção pela escrita de artigos visa, através da publicação em revistas e outros meios virtuais de circulação, alcançar de maneira mais rápida e

abrangente os pares, assim como aos professores que procuram amparar a prática docente nas pesquisas em ensino. Essa configuração permite ainda que cada texto possua metodologia e técnica própria, proporcionando uma maior variedade de métodos a pesquisa (Teixeira, 2010).

Cada um deles, como parte independente e integrante do trabalho, são conectados pelo mesmo eixo temático. De modo mais abrangente, irão indicar a potencialidade da discussão histórica dos resultados que contribuíram para a descoberta da matéria escura, considerando a perspectiva da NdC, bem como aspectos concernentes às relações de Gênero e Ciência que puderam ser evidenciados com a história de Rubin na Ciência.

No primeiro artigo “Além das galáxias brilhantes: a descoberta da matéria escura e o protagonismo de Vera Rubin” são trazidas questões de Física e de Epistemologia e Filosofia da Ciência associadas a descoberta da matéria escura, bem como sobre o impacto resultante de tal feito para a Astronomia, Astrofísica e Cosmologia modernas. Já no segundo artigo “O Universo escuro para as mulheres: Gênero e Ciência na trajetória de Vera Rubin na Astronomia” são levantadas as discussões sobre Gênero e Ciência, a partir dos aspectos associados a esse assunto que se manifestam na trajetória de Vera Rubin como cientista.

A narrativa histórica dos textos, a explicitação dos conceitos e das informações biográficas são embasadas em fontes bibliográficas. Assim como recomendado em estudos da historiografia da Ciência, a redação deste trabalho priorizou fornecer subsídios para que o professor/leitor possa exercer seu olhar crítico frente a consulta do material, selecionando os excertos adequados aos seus objetivos (Forato; Pietrocola; Martins, 2011). A literatura primária — obra de alguém que atuou de maneira direta no episódio estudado — escolhida como fonte principal para a pesquisa, corresponde a uma compilação de ensaios¹ escritos por Vera Rubin para revistas, jornais, entrevistas, periódicos populares e científicos (Godoy, 1995). Quanto à literatura secundária, foram utilizadas duas biografias produzidas por jornalista de ciência e astrônomos (Mitton; Mitton, 2021; Yager, 2021).

¹ O livro de ensaios, que faz parte da coleção *Masters of Modern Physics*, busca divulgar o trabalho e o pensamento de célebres físicos da atualidade, oferecendo subsídios para se compreender os processos da ciência, como ela afeta nossas vidas e o que significa para aqueles que a praticam. Os cientistas são selecionados por suas contribuições à ciência e capacidade de comunicação com o leitor em geral. A coleção, patrocinada pelo Instituto Americano de Física (AIP), traz um levantamento confiável das pessoas e ideias que moldaram a ciência e a sociedade do século XX.

Ao longo da pesquisa, como aporte teórico adotado na análise epistemológica, foram direcionados os estudos do físico e historiador Thomas Kuhn (1997, 2018). Para a fundamentação das discussões sobre Gênero e Ciência, usou-se os trabalhos da feminista e pesquisadora da História da Ciência, Londa Schiebinger (2001, 2008). Os materiais complementares que auxiliaram na construção dos textos, envolvem artigos e trabalhos acadêmicos.

Ao final, tem-se uma discussão sobre o alcance dos objetivos estipulados pelo trabalho, sua contribuição para as demais pesquisas na área, as barreiras teóricas que foram encontradas e propostas de caminhos e aprofundamentos que possam ser sondados em estudos futuros. Para cada artigo são feitas as considerações apropriadas, assim como o resultado sintético relativo ao possível impacto do trabalho em sua totalidade.

2 ALÉM DAS GALÁXIAS BRILHANTES: A DESCOBERTA DA MATÉRIA ESCURA E O PROTAGONISMO DE VERA RUBIN²

RESUMO

Desde a década de 1930 os cientistas já haviam se deparado com o problema de se calcular a massa de aglomerados de galáxias a partir da luminosidade. Verificava-se que os efeitos gravitacionais não eram compatíveis com a soma das massas visíveis. Esse ponto volta a ser uma questão em debate na comunidade científica, quando a astrônoma Vera Rubin e sua equipe de cientistas percebem, no estudo da rotação de galáxias, que as curvas de velocidades divergiam do que era previsto pela teoria. Atualmente, a explicação mais aceita é de que existe uma entidade, denominada de matéria escura, capaz de interagir apenas gravitacionalmente, que explica a constância das curvas de rotação das galáxias. E, ainda, existe em uma quantidade significativamente maior que a matéria ordinária. A determinação de Rubin, foi fundamental para que fosse estabelecida a presença de matéria escura no Universo. Diante disso, neste artigo pretende-se elaborar uma discussão histórico-epistemológica a respeito do processo de construção do conceito de matéria escura e, associado a isso, evidenciar a exemplar contribuição de Vera Rubin para a Ciência. Dentre os resultados da pesquisa, foram identificados diversos elementos para análise e interpretação, sob a perspectiva filosófica de Thomas Kuhn. Como bem indicado pela literatura especializada da educação em ciências, esses apontamentos podem contribuir substancialmente para uma maior compreensão sobre a Natureza da Ciência.

Palavras-chave: matéria escura; História e Filosofia da Ciência; Natureza da Ciência; Mulheres na Ciência.

2.1 INTRODUÇÃO

Após a aprovação por lei pelo presidente dos Estados Unidos, no dia 20 de dezembro de 2019, o projeto até então conhecido como *Large Synoptic Survey Telescope* passa a ser chamado de *Vera C. Rubin Observatory* (Congressional Record, 2019). Com a alteração oficial, o Congresso do país faz uma homenagem póstuma reconhecendo a notável contribuição de Vera Rubin à transformação que sua pesquisa causou na área da Astrofísica e o papel de ativismo da cientista em defesa da presença de mulheres na área. Reconhecendo os esforços de pesquisa de Rubin e seus colaboradores, declarando que

² O título deste artigo é inspirado no livro "*Bright Galaxies, Dark Matters*" (do inglês Galáxias Brilhantes, Matéria Escura), publicado em 1996 por Vera Rubin.

[...] usaram as suas observações, em conjunto com o trabalho de astrônomos anteriores sobre a rotação das estrelas em galáxias espirais, para fornecer algumas das melhores evidências da existência de matéria escura (Congressional Record, 2019, p. 133).

Reiterando ainda que Rubin “[...] foi uma defensora declarada da igualdade de tratamento e representação das mulheres na Ciência e serviu como mentora, apoiadora e modelo para muitas mulheres astrônomas ao longo de sua vida.” (Congressional Record, 2019, p. 133). Fatos que evidenciam a relevância da cientista para a construção de um campo de pesquisa específico, mas também para a construção da História da Ciência.

No âmbito da educação científica, por vezes o conteúdo científico é abordado de modo isolado a sua origem, história, lacunas e potencial para avanço em pesquisa. Segundo Neves (1998, p. 75), “a História da Ciência pode subsidiar não só o ensino em si, mas a pesquisa sobre conceituação espontânea e sobre os próprios rumos das pesquisas científicas”. De maneira consoante, os autores Vital e Guerra (2017, p. 3) expressam que a ênfase histórica no ensino

[...] pode contribuir para humanizar a Ciência, motivar os alunos, promover a reflexão sobre o papel da Ciência na sociedade contemporânea e a discussão sobre o seu processo de construção, facilitando a compreensão dos limites e possibilidades do conhecimento científico.

Na apresentação da prática científica como atividade humana, vale destacar a necessidade de que seja fomentado o sentimento de pertencimento e identificação ao grupo de pessoas capazes de efetuar contribuições para o conhecimento científico. Porém, o apagamento histórico da presença de mulheres na Ciência, acaba refletindo em uma escassez de estudos que a partir da abordagem da História da Ciência tratem de elucidar as contribuições das mulheres na área. Para contornar esse panorama, recentes trabalhos no campo da educação em ciências expõem narrativas históricas sobre eventos científicos cujas contribuições das cientistas exerceram papel fundamental para o progresso da Ciência (Lima, 2015; Maia Filho; Silva, 2019; Pires, 2019, 2022; Cordeiro, 2017).

Nesse sentido, como indicado pelas pesquisas em ensino, as abordagens em História e Filosofia da Ciência (HFC) possibilitam a apresentação dos

conhecimentos científicos e discussão da Natureza da Ciência (Peduzzi; Raicik, 2020). Revelando aspectos sobre Ciência, questões pertinentes como a mutabilidade das ideias científicas, a suscetibilidade a interpretações conflitantes dos seus objetos de estudo, a simbiose entre observação e expectativas prévias, sua relação com a cultura e a sociedade, que é uma atividade humana, entre outras, podem ser tratadas em sala de aula (Moura, 2014; Forato; Pietrocola; Martins, 2011).

Como bem mostram as pesquisas na área do ensino, reconhece-se o potencial das discussões sobre os assuntos tratados pela Física Moderna e Contemporânea (FMC) (Nascimento; Alvetti, 2006) e, de modo particular, o uso da História da Ciência no ensino dos conteúdos da Astronomia, Astrofísica e Cosmologia (Pires, 2022; Albuquerque; Leite, 2016; Bagdonas; Andrade; L'astorina, 2010; Henrique, 2011). Outrossim, a introdução de temas científicos atuais nas atividades de ensino de ciências e de divulgação científica é umas das possibilidades que pode propiciar o enriquecimento da cultura científica dos alunos (Teixeira; Souza, 2022).

Considerando-se a concepção de que cabe à historiografia da Ciência, além de apresentar os elementos históricos que envolvem os importantes eventos científicos, também dar visibilidade à participação e contribuição das mulheres que atuaram diretamente na evolução das suas áreas de estudo, o processo de pesquisa sobre a matéria escura fornece elementos que possibilitam a promoção de discussões sobre a História da Ciência e das mulheres na Ciência. Ademais, devido a sua complexidade, os desafios associados à compreensão da natureza da matéria escura e da elaboração desse conhecimento científico podem ser colocados em perspectiva com os referenciais da epistemologia da Ciência.

Em vista disso, neste artigo propõe-se realizar um relato histórico sobre o desenvolvimento conjunto da Astronomia, Astrofísica e Cosmologia no último século, sobretudo a respeito dos aspectos envolvidos no episódio de elaboração do conhecimento da matéria escura. Para isso tem-se a descrição de pesquisas marcantes que ajudaram na redefinição do que se compreendia até então sobre a composição do cosmos. Mostrando que sua maior parte é composta por um tipo de matéria não ordinária que ainda hoje não é compreendida totalmente.

De maneira associada à apresentação histórica de desenvolvimento do conceito de matéria escura, promove-se uma discussão histórico-epistemológica do

processo, com o intuito de encontrar soluções ao problema de pesquisa determinado: “Qual papel a pesquisa da astrônoma Vera Rubin exerceu no desenvolvimento conceitual da matéria escura? E, quais reflexões sobre Natureza da Ciência podem ser exploradas através da análise do processo histórico de elaboração desse conceito?”. Assim sendo, o referencial da Filosofia da Ciência de Thomas Kuhn, fundamentou o quadro de reflexões histórico-epistemológicas que puderam ser extraídas a partir da análise da narrativa histórica.

Sequencialmente, a organização do artigo inicia com a apresentação de uma narrativa histórica que contextualiza desde o princípio as pesquisas relativas à matéria escura. Apesar das premissas metodológicas, a presente pesquisa, de caráter bibliográfico, fundamenta-se em literatura primária, redigida pela própria Vera Rubin (1996) e/ou demais cientistas envolvidos, e secundária. Após a descrição da história de gênese conceitual da matéria escura, são evidenciados os elementos da Natureza da Ciência que podem ser elencados a partir da análise interpretativa dos fatos, apoiando-se em referenciais modernos selecionados da Filosofia da Ciência. Ao final, realiza-se uma síntese das discussões que puderam ser elencadas, bem como as expectativas quanto a novos temas de pesquisa que possam advir desses resultados.

2.2 IDEIAS INICIAIS SOBRE O UNIVERSO ESCURO

Há muito tempo se discute sobre a presença de coisas invisíveis no Universo. No século V a.C. o filósofo Filolau levantou a hipótese da existência de um planeta invisível oposto à Terra. Mais tarde, os atomistas argumentavam que o Universo continha um número infinito de mundos invisíveis e, de modo contrário, o filósofo Aristóteles afirmava que a matéria que não podia ser observada não existia (Yager, 2021). O astrônomo e físico Galileu Galilei contestou tal percepção ao utilizar seu telescópio para provar que o Universo era uma construção física, não apenas uma ideia filosófica. Suas observações mostraram que “o Universo pode conter matéria que não pode ser percebida por meios comuns [...] e que a introdução de novas tecnologias pode revelar-nos formas de matéria que antes eram invisíveis” (Bertone; Hooper, 2018, p. 2).

As ideias que inauguram a possibilidade de um Universo escuro remontam aos séculos XVIII e XIX, com a proposição da existência de estrelas escuras. A primeira previsão sobre objetos massivos e invisíveis no Universo, remonta a 1784, quando o reverendo John Michell imaginou que pudesse existir uma estrela cerca de 500 vezes maior que o Sol mas de igual densidade e nem mesmo a luz poderia escapar da sua atração gravitacional, assim como ocorre no que hoje conhecemos como buracos negros (Michell, 1784).

Apenas em 1844 os astrônomos começaram a compreender realmente que os objetos invisíveis no Universo poderiam ser identificados por sua influência gravitacional, quando o matemático e astrônomo Friedrich Wilhelm Bessel notou pequenas estranhezas nos movimentos das estrelas Sirius e Procyon, explicadas pela presença de um objeto escuro (Bessel, 1844). O mesmo aconteceu ao planeta Netuno, que pode ser identificado devido seu domínio gravitacional (Krajnovic, 2016).

Dentre os primeiros cientistas a pesquisarem sobre a matéria invisível, o físico William Thomson — conhecido como Lord Kelvin — foi o primeiro a se questionar se seria possível calcular sua quantidade na Via Láctea, que na época era considerada todo o Universo (Bertone; Hooper, 2018). Seus cálculos intrigaram o matemático Henri Poincaré, que em 1906 sugeriu que essa quantidade seria igual ou inferior à da matéria visível (Poincaré, 1906).

Os astrônomos já sabiam que as estrelas e nuvens de gás orbitam em torno do centro das galáxias. Mas a suposição de que poderia existir alguma substância invisível no Universo era tão incomum que por muito tempo foi ignorada. No início do século XX, o astrônomo Ernst Öpik discute pela primeira vez o problema da matéria invisível na vizinhança solar em nossa galáxia, averiguando por meio de cálculos que seu efeito era provavelmente devido as estrelas que só poderiam ser detectadas com equipamentos mais sofisticados (Öpik, 1915). O termo matéria escura foi introduzido pelo astrônomo Jacobus Kapteyn para denominar a matéria que não poderia ser observada, que também fez uma estimativa para a quantidade de matéria escura do Universo utilizando um modelo físico específico (Kapteyn, 1922).

Na década de 1920, o trabalho do astrônomo Harlow Shapley com o mapeamento de galáxias inspirou outros cientistas a estudarem sobre o assunto, despertando a ideia de que o Universo poderia ter mais matéria escura do que

aquela visível (Yager, 2021). Já em 1922, o físico e astrônomo James Jeans estimou que para cada estrela brilhante no Universo há cerca de três estrelas escuras (Jeans, 1920). Nota-se que a existência de algo não visível intriga cientistas ao longo dos séculos e é um campo fértil para discussões sobre a matéria escura.

2.3 A ORIGEM HISTÓRICA DAS PESQUISAS SOBRE A MATÉRIA ESCURA

Na contemporaneidade, a história dos esforços para se compreender a matéria invisível além das especulações sobre os entes invisíveis do Universo, começa na década de 1920, quando o astrônomo Jan Oort, sugere que a Via Láctea poderia ter uma quantidade de matéria extra, provinda de estrelas pouco luminosas, em sua explicação para as velocidades das estrelas (Rubin, 1996). Alguns anos depois, o astrônomo Fritz Zwicky, ao pesquisar sobre as galáxias e seus aglomerados, sugeriu, de modo semelhante, que as galáxias precisavam de mais matéria do que presumia-se. Em seus trabalhos, ambos os pesquisadores utilizaram equipamentos de espectroscopia.

Os espectrógrafos tiveram papel fundamental para o avanço das pesquisas em Astronomia, Astrofísica e Cosmologia. Cada elemento da tabela periódica pode absorver ou emitir uma série única de linhas de radiação eletromagnética. A espectroscopia, consiste na medida da intensidade dessa radiação em diferentes faixas de energia que, no estudo dos objetos celestes — estrelas e nuvens de gás nas galáxias, por exemplo — pode revelar a composição, temperatura e tamanho, bem como se estão se afastando ou se aproximando da Terra, no movimento chamado de velocidade radial (Hernández-Arboleda; Rodrigues, 2021). Nos estudos sobre o cosmos concebidos no século passado, foram utilizados principalmente dados espectrais da região da luz visível e das ondas de rádio.

Os trabalhos de Zwicky se sobressaem ao serem os primeiros a observarem as velocidades radiais das galáxias, e não apenas as velocidades das estrelas que as compõem individualmente. Em 1931, dois colegas de Zwicky, Edwin Hubble e Milton Humason, publicaram uma versão melhorada da relação simples entre distância e velocidade para galáxias distantes, incluindo detalhes das velocidades de sete dos objetos mais brilhantes do aglomerado de Coma — um aglomerado de

mais de mil galáxias situadas a cerca de 322 milhões de anos-luz da Terra (Zwicky, 2009).

Até a metade do século XX, devido à limitação dos instrumentos e técnicas disponíveis, pouco se estudava sobre as regiões mais externas das galáxias. Os astrônomos presumiam que — fazendo uma analogia com o sistema solar — as partes mais externas das galáxias eram controladas principalmente pela gravidade da concentração de estrelas massivas e nuvens de gás da região interna. Em 1619, o astrônomo Johannes Kepler, afirmava em sua Lei dos Períodos que, quanto maior a distância de um planeta ao seu Sol, mais lentamente ele iria se mover. Tendo em vista esse conhecimento estabelecido, entende-se que a velocidade orbital deve diminuir com a distância ao centro da órbita e, conseqüentemente, qualquer situação em que as velocidades dos corpos astronômicos estejam de acordo com essa lei, chama-se o movimento descrito de “Kepleriana” (Mitton; Mitton, 2021). De forma gráfica, a mudança da rotação geral com a distância ao centro da galáxia pode ser compreendida com a visualização da curva da velocidade média de rotação em função da distância ao centro galáctico. A análise desse modelo de gráfico, denominado de curva de rotação, permitiu que os pesquisadores fizessem importantes descobertas sobre o cosmos.

No entanto, a teoria desenvolvida por Kepler não fornece informações sobre a dinâmica desses movimentos. Tais aspectos são tratados pela Lei da Gravitação Universal, desenvolvida pelo físico e matemático Isaac Newton no ano de 1687. A teoria diz que os objetos se atraem com uma força diretamente proporcional ao produto das suas massas e inversamente proporcional à distância que os separa ao quadrado. Dentre as conseqüências que derivam dessa teoria, tem-se o teorema das cascas esféricas, mostrando que a atração gravitacional de uma esfera sobre algo fora dela é a mesma caso toda sua massa estivesse concentrada em seu centro. Além disso, a força gravitacional é efeito unicamente da massa contida entre a distância de um certo ponto e o centro da esfera, destarte, a soma das contribuições das porções mais distantes ao centro é nula (Mitton; Mitton, 2021). Na Astrofísica, o teorema pode determinar, por exemplo, como a massa de uma galáxia se distribui com a distância ao centro.

Em modelos físicos, combinando a teoria gravitacional com as curvas de rotação das galáxias, torna-se possível extrair dados sobre a distribuição de massa

na galáxia, bem como a quantidade total. Desse modo, os dados colhidos por Zwicky o permitiu analisar a dinâmica geral das cerca de oitocentas galáxias que compõem Coma, observando que 7 delas apresentavam diferenças de velocidade que não concordavam com a expectativa teórica – as variações chegavam a mais de 2.000 quilômetros por segundo – o que de acordo com os pressupostos teóricos, resultaria em desintegração, no entanto, as galáxias do aglomerado permaneciam juntas (Zwicky, 2009).

Contudo, Zwicky avaliou criticamente os métodos para se calcular as massas das galáxias, notando que aqueles baseados na luminosidade ou no movimento interno não eram confiáveis por conta da pequena quantidade de dados disponíveis, fazendo-se necessário um aperfeiçoamento da matemática empregada na análise dinâmica do aglomerado de Coma. Com isso em mente, Zwicky calculou o tamanho necessário para que Coma mantivesse seu aglomerado de galáxias, chegando a surpreendente conclusão de que

[...] a densidade média [de matéria] no sistema Coma teria que ser pelo menos 400 vezes maior do que aquela obtida com base em observações de luminosidade. Se isto fosse confirmado, obteríamos o resultado surpreendente de que a matéria escura está presente em quantidade muito maior do que a matéria luminosa [...] estas considerações mostram que a grande dispersão no sistema Coma (e outros densos aglomerados nebulares) abriga um problema que ainda não é compreendido (Zwicky, 2009, p. 222-223).

Portanto, para explicar as rápidas velocidades das galáxias, Zwicky argumentou que elas deveriam ter grandes quantidades de massa invisível, a qual denominou *dunkle Materie* (do alemão, matéria escura), que forneceria a força gravitacional suficiente para manter as galáxias unidas no aglomerado (Zwicky, 2009). Essa não foi a primeira menção ao termo matéria escura em um artigo científico, como mencionado anteriormente a autoria é atribuída a Kapteyn (1922).

Em 1936, o astrônomo Sinclair Smith, investigando o aglomerado de Virgem, deduziu, a partir da análise de galáxias em uma amostra seis vezes maior que a de Zwicky, que “o aglomerado não está se condensando nem se desintegrando, mas é um conjunto bastante estável, mais ou menos mantido unido por seu campo gravitacional” (Smith, 1936, p. 23). Com isso, Smith estimou uma massa 200 vezes

maior para o aglomerado de Virgem do que o valor estimado por Hubble — baseado no brilho da superfície das galáxias que compõem o aglomerado.

O próximo avanço no estudo do tema remonta ao ano de 1939 pelo astrônomo Horace Babcock que, em meio ao contexto da Segunda Guerra Mundial, desenvolveu um dos primeiros estudos em grande escala sobre os movimentos das galáxias. Em sua tese de doutorado, utilizando o registro de espectros, por meio dos comprimentos de onda de luz emitida, o cientista objetivava investigar o movimento no interior das galáxias para deduzir propriedades como a distribuição de massa e valor de massa total e extrair informações sobre seu processo de evolução (Vanderburgh, 2014). Os dados obtidos mostraram pela primeira vez grandes valores para a velocidade da nuvem de gás afastada do centro da galáxia M31 – também conhecida como galáxia de Andrômeda – contrariamente ao que era esperado (Rubin, 1996). As velocidades com que cinco nebulosas com emissão na região H II³ giravam, eram quase constantes para as partes externas de M31, o que resultava em uma massa muito maior do que o valor sugerido por Hubble (Vanderburgh, 2014).

Em 1940, durante o estudo da luminosidade e dinâmica da galáxia NGC 3115, Oort também menciona haver um excesso de massa, com uma proporção de massa e luz de 200 para 1 (Mitton; Mitton, 2021). A hipótese desenvolvida pelo cientista era de que 99,5% da população de estrelas da galáxia deveriam ser anãs pouco luminosas. Em 1937, Zwicky observou que para determinar a massa das galáxias a partir da luminosidade “devemos saber quanta matéria escura está incorporada nas nebulosas na forma de estrelas frias, corpos sólidos [...] e gases” (Zwicky, 1937, p. 218), reforçando a ideia de que a matéria escura consistia em corpos frios e, portanto, por serem pouco luminosos os astrônomos não conseguiam detectar. Na época, a comunidade científica deu pouca importância às intrigantes constatações de Zwicky, Smith e de Babcock. Mas novas evidências para a matéria escura surgiram nas décadas de 1950 e 1960, com o apoio de radioastrônomos.

Em 1954, o astrofísico Martin Schwarzschild reanalisou os dados das pesquisas de Zwicky e Smith e descartou suas investigações devido ao “valor desconcertantemente alto para a relação massa/luz do aglomerado Coma”

³ H II é uma abreviatura para átomos ionizados de hidrogênio, responsáveis pela maior parte da luz emitida por nebulosas brilhantes (Mitton; Mitton, 2021).

(Schwarzschild, 1954, p. 281) especulando que a presença de estrelas fracas e com baixa luminosidade explicariam o excesso de massa calculado, tomando como exemplo a hipótese de Oort. No ano de 1957, o astrônomo Geoffrey Burbidge corroborou a posição de Zwicky da existência de uma grande fração de matéria escura em regiões de galáxias, em uma distribuição bastante diferente daquela observada opticamente (Burbidge, 1957).

Em uma reunião da assembleia geral da União Astronômica Internacional (IAU) realizada no ano de 1961 o debate se concentrou nas diferentes estimativas das massas das galáxias (Yager, 2021). A discrepância dos dados para as velocidades, podia ser explicada pela presença de estrelas muito fracas ou outros objetos celestes que não podiam ser visualizados, ou então, de uma massa extra nos aglomerados. A última solução não era bem aceita, pois implicava que “[...] cerca de 99% da massa do Universo permaneceu invisível até agora, e talvez seja desagradável para os astrônomos e cosmólogos pensar que as suas teorias são com base em observações de menos de 1% da matéria que realmente existe!” (Neyman; Page; Scott, 1961, p. 533). O problema passa a ser chamado de instabilidade galáctica, uma vez que sem a presença da massa adicional e invisível as galáxias seriam instáveis.

No ano de 1962, a astrônoma Vera Cooper Rubin, em seu artigo para o periódico científico *The Astronomical Journal*, divulgou como resultado da sua pesquisa sobre a dinâmica estelar que a mais de vinte e seis mil anos-luz do centro da nossa galáxia, aproximadamente a distância que o Sol está localizado, a curva de rotação era praticamente plana, apontando que “A diminuição na velocidade de rotação esperada para as órbitas Keplerianas não foi encontrada. É mostrado que erros sistemáticos de observação não serão responsáveis pelo formato da curva.” (Rubin *et al.*, 1962, p. 530). Vera Rubin calculou que as estrelas da Via Láctea pareciam se mover mais rápido do que é determinado pela Lei da Gravitação de Newton. Essa constatação não teve grande impacto na época e após a publicação em artigo alguns astrônomos contestaram que o resultado não podia estar correto ou que os dados não eram suficientemente bons para fazer a afirmação (Rubin, 2011). Na época, como professora na Universidade de Georgetown, Vera Rubin utilizava principalmente dados de outros astrônomos em seus trabalhos, impossibilitando que ela pudesse contradizer de forma mais contundente as críticas

recebidas. Mais de duas décadas depois, um artigo considerou esse trabalho de Rubin como a primeira constatação de que a velocidade de rotação aumenta constantemente com a distância ao centro no disco galáctico (Rohlf; Chini; Wink; Böhme, 1986).

Nos anos de 1963 e 1964, ao analisar a dinâmica da galáxia M31, o radioastrônomo Morton Roberts constata a mesma anomalia, ao não identificar a diminuição da velocidade de rotação (Roberts, 1966). Ao traçar a curva de rotação para a galáxia, pôde ser afirmado que era “plana e não diminui como é esperado para as órbitas Keplerianas” (Rubin *et al.*, 1962, p. 530), reforçando com a observação: “o quão pobre era a nossa suposição do movimento Kepleriano, mesmo a distâncias de cerca de 20 kpc do núcleo.”⁴ (Roberts, 1966, p. 651).

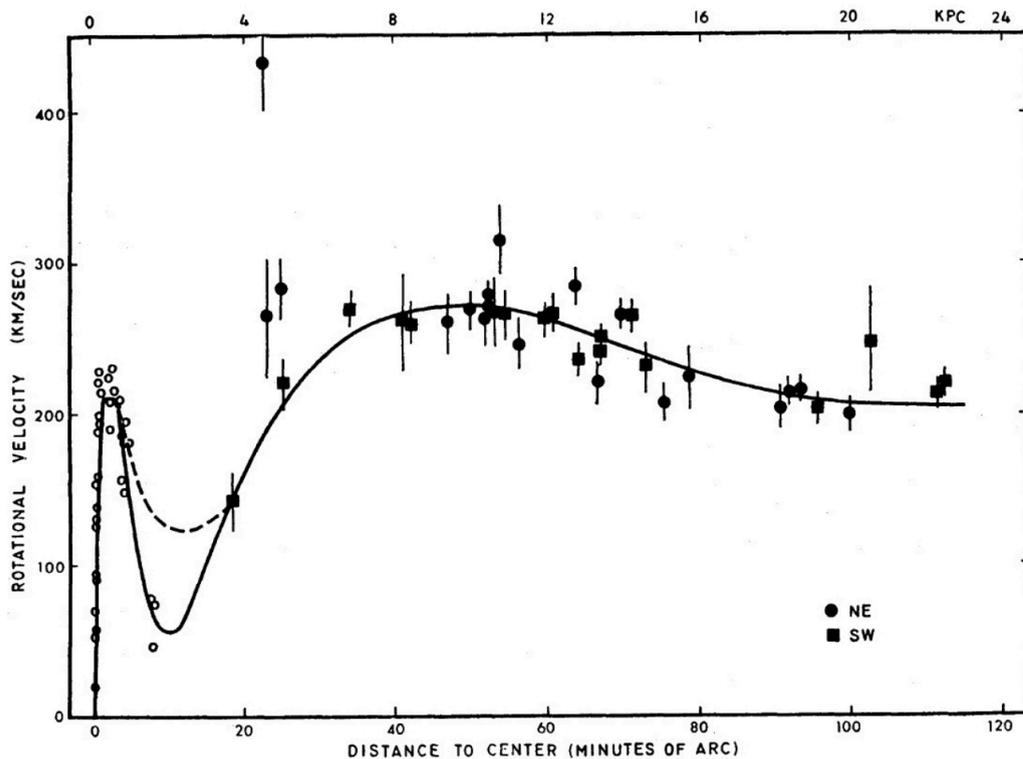
Nesse contexto, a cosmologia passava por uma profunda modificação causada pela evidência observacional da origem explosiva para a criação do Universo, denominada de teoria do Big Bang. O principal objetivo das pesquisas era determinar se o Universo continuava a se expandir, ou seja, se poderia ser considerado aberto ou fechado, caso caminhasse para uma expansão inversa. Para compreender a questão, os cientistas teóricos se questionavam se a massa total do Universo seria suficiente para promover a união das galáxias e se existia um valor de massa crítica para reverter a expansão cosmológica. Em 1967 os cosmólogos passaram a chamar de massa faltante aquela que não poderia ser visualizada mas era necessária para que o Universo fosse fechado (Mitton; Mitton, 2021). Nessa fase, acreditava-se que até três quartos da massa do Universo poderia ser invisível. Contudo, os sinais que apontavam para a necessidade da existência dessa matéria adicional no Universo não despertaram a atenção dos astrônomos.

Em 1968, Vera Rubin e o físico e astrônomo Kent Ford conseguiram traçar uma curva de rotação da galáxia M31, com dados mais distantes do que haviam sido feitos até então em comprimentos de onda ópticos. Assim como Roberts, concluíram que a curva de rotação para a galáxia era plana longe do seu núcleo, não havendo qualquer sinal de que as velocidades radiais diminuíssem com a distância, divergindo das velocidades Keplerianas. No centro da galáxia M31, a

⁴ O parsec (pc) é a unidade de distância astronômica para a qual 1 UA (unidade astronômica) subtende um ângulo de exatamente 1 segundo de arco e é equivalente a 3,26 anos-luz (Halliday, 2012). Para distâncias grandes, pode ser usado com o prefixo quiloparsecs (kpc), que são iguais a 1000 parsecs.

curva de velocidade de rotação (Figura 1) sobe abruptamente até um máximo de 225 km/s (eixo vertical esquerdo no gráfico) ao longo de 0,4 kpc (ou 1.300 anos-luz, eixo horizontal superior no gráfico), caindo em seguida para um mínimo próximo de 2 kpc (6.500 anos-luz) (Rubin; Ford, 1970). Essa ascensão e queda iniciais na distribuição das velocidades de rotação das estrelas no núcleo pode ser compreendida sabendo-se que o movimento estelar é proveniente da atração gravitacional exercida pela massa total localizada dentro da órbita (Rubin; Ford, 1970). Na região central da galáxia, sua massa aumenta com a distância do seu centro, pois mais estrelas e gás são abrangidos, mas além dos 0,4 kpc, há uma região onde “a densidade é muito baixa e as velocidades de rotação são muito pequenas” (Rubin; Ford, 1970, p. 379) aproximadamente 55 km/s.

Figura 1 – Curva de velocidade de rotação de M31 medida por Rubin e Ford



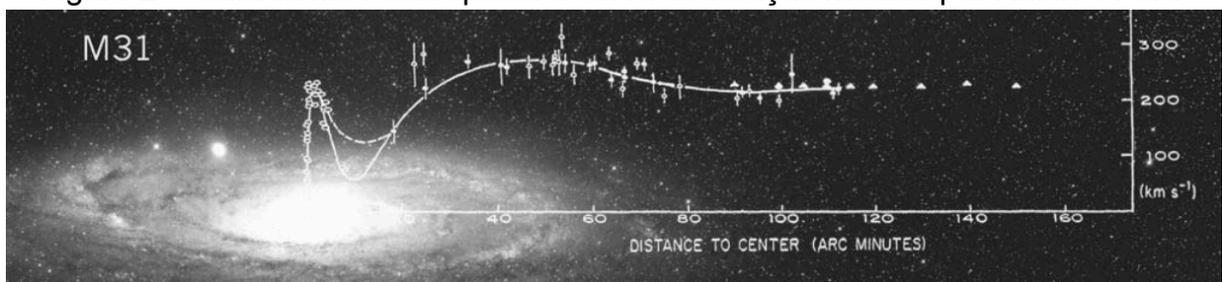
Fonte: Rubin; Ford (1970, p. 390).

Após o valor mínimo de 2 kpc, a curva de rotação sobe continuamente em direção a um máximo para a velocidade em 9 kpc, atingindo 270 km/s, para então decrescer durante algum tempo e permanecer plana com 250 km/s em 24 kpc, valor limite para a distância do conjunto de dados disponível. A forma da curva de rotação

entre 3 e 24 kpc do centro é ditada pela quantidade de material no disco além do centro da galáxia e estava em claro desacordo com a expectativa teórica de uma órbita Kepleriana, a qual previa a diminuição dos valores para as velocidades de rotação (Rubin; Ford, 1970). Em 1966 os astrônomos Stephen Gottesman, Rod Davies e Vincent Reddish, ao pesquisarem a galáxia M31, obtiveram uma curva de rotação semelhante a de Roberts e de Rubin e Ford (Gottesman; Davies; Reddish, 1966).

Vera Rubin elaborou um plano de estudo sistemático adequado aos telescópios que tinha à sua disposição objetivando compreender mais profundamente como as galáxias giram e comparar observações ópticas e de rádio, algo que poucos grupos de astrônomos tinham como interesse de pesquisa na época. As observações ópticas e de rádio em conjunto, realizadas por Rubin, levaram os teóricos a executarem simulações computacionais as quais mostravam que para as galáxias desenvolverem-se tinham de ter mais matéria do que aquela que poderia ser vista. Especificamente, precisaria existir matéria com luminosidade tão baixa que até poderia ser detectada pelos telescópios, mas isso seria em uma quantidade dez vezes maior do que da matéria visível. Nesse momento, fortalecia-se o argumento favorável à existência da matéria escura, contudo, alguns astrônomos ainda questionavam os dados rádio astronômicos. Acreditava-se que as estrelas mais próximas do núcleo de uma galáxia deveriam mover-se muito mais rápido do que as estrelas mais distantes, mas ao invés disso, as estrelas mais exteriores de M31 tinham velocidades semelhantes àsquelas mais próximas do núcleo — eram duas vezes mais rápidas do que o previsto teoricamente considerando-se apenas a matéria visível (Figura 2) (Teixeira; Souza, 2022).

Figura 2 – Galáxia M31 sobreposta à curva de rotação medida por Rubin e Ford



Fonte: Rubin (2006, p. 9).

Devido a limitação dos dados de rádio, que restringiam a informação a 26 kpc, os cientistas especularam sobre a quantidade de estrelas anãs, fracas demais para serem visíveis, que seriam necessárias para explicar a massa tão significativa, e em um grande raio que evitava a diminuição da velocidade. Através de cálculos, encontraram que precisariam estar distribuídas uniformemente por todo o disco estendido da galáxia. Mais tarde, Roberts estendeu sua análise às espirais M81 e M101, descobrindo que elas também tinham curvas de rotação planas (Rubin, 1996). À medida que os artigos mostrando as curvas de rotação planas eram publicados, Rubin e Ford começaram a colaborar com Roberts. Os três mediram as velocidades das estrelas e das nuvens de gás em outras galáxias além de M31 e puderam descrever curvas de rotação planas a cada uma (Ford; Rubin; Roberts, 1971).

Em 1973, o astrofísico Jeremiah Ostriker e o físico James Peebles, com o auxílio de modelos computacionais e cálculos relativos à forma como as galáxias se mantêm unidas a longo prazo, avançaram em defesa da matéria escura (Ostriker, Peebles, 1973). Eles descobriram, assim como outros pesquisadores suspeitavam, que um disco giratório de estrelas ou gás se tornaria extremamente instável, levando à formação de uma estrutura de barra⁵ gigante. Mas isso não ocorreu para a nossa galáxia, ou para qualquer espiral barrada média, onde a massa central é responsável apenas por um décimo da luz estelar total. Logo, embora os dados das curvas de rotação das galáxias indicassem haver uma grande quantidade de matéria invisível influenciando gravitacionalmente, ela não poderia se localizar no disco plano onde reside a matéria visível.

Os astrofísicos apresentaram como solução ao problema do disco giratório, a possibilidade de que a matéria escura se distribísse esfericamente, na forma de um halo de matéria pouco luminosa que garantiria estabilidade ao sistema galáctico (Ostriker, Peebles, 1973). Desse modo, tem-se uma reconstrução do que se compreendiam da estrutura das galáxias, devendo agora serem compostas por uma protuberância central brilhante (bojo); um disco de gás, poeira e estrelas; e um halo esférico de matéria que a envolve e permeia. Em um artigo sobre as massas das

⁵ As galáxias espirais barradas possuem uma estrutura central de estrelas dispostas na forma de barra retilínea que atravessa o centro e se estende por uma parcela do disco galáctico (IAG/USP, 2011). A Via Láctea é um exemplo de galáxia espiral barrada.

galáxias e do Universo, Ostriker, Peebles e o astrofísico Amos Yahil, escreveram que:

Existem razões, cada vez mais numerosas e qualitativas, para acreditar que as massas das galáxias comuns podem ter sido subestimadas por um fator de 10 ou mais. Uma vez que a densidade média do Universo é calculada multiplicando a densidade numérica observada das galáxias pela massa típica por galáxia, a densidade média da massa do Universo teria sido subestimada pelo mesmo fator (Ostriker; Peebles; Yahil, 1974, p. L1).

Os três autores perceberam que as curvas de rotação planas das galáxias espirais implicam em um aumento da massa com a distância do centro, em outras palavras, a massa contida numa esfera responde ao aumento da distância de modo diretamente proporcional ao raio. Esse resultado, mostrava o desacordo entre a distribuição de massa e de estrelas luminosas nas galáxias, reforçando a ideia de que halos galácticos massivos e invisíveis contribuem com pelo menos dez vezes mais massa do que as estrelas luminosas localizadas no disco plano e no núcleo (Ostriker; Peebles; Yahil, 1974). Fortalecia-se o argumento de que o nosso Universo contém enormes quantidades de matéria escura, embora ainda fosse insuficiente para bloquear sua expansão (Swart, 2019).

Quase simultaneamente, a equipe dos cosmólogos Jaan Einasto, Ants Kaasik e Enn Saar, ao revisitarem os dados de velocidades radiais e distâncias para mais de 100 pares de galáxias publicados por outros cientistas, construíram uma justificativa baseada na existência de coroas galácticas massivas, concluindo que a “massa das coroas galácticas excede a massa das populações de estrelas conhecidas numa ordem de grandeza” (Einasto; Kaasik; Saar, 1974, p. 310) e, isso significava que aglomerados de galáxias deveriam conter matéria escura.

No cenário de rápido desenvolvimento da cosmologia, a astrônoma Vera Rubin estudava galáxias espirais, produzindo sistematicamente curvas de rotação em uma maior quantidade do que qualquer outro astrônomo óptico antes dela havia conseguido, contribuindo imensamente para a avaliação das especulações teóricas (Mitton; Mitton, 2021). Rubin e sua equipe optaram por observar galáxias altamente inclinadas para que pudesse obter dados mais precisos para as velocidades rotacionais e das massas que eram deduzidas. Além disso, a seleção de galáxias a serem estudadas prezava abranger uma grande variedade de raios, massas e

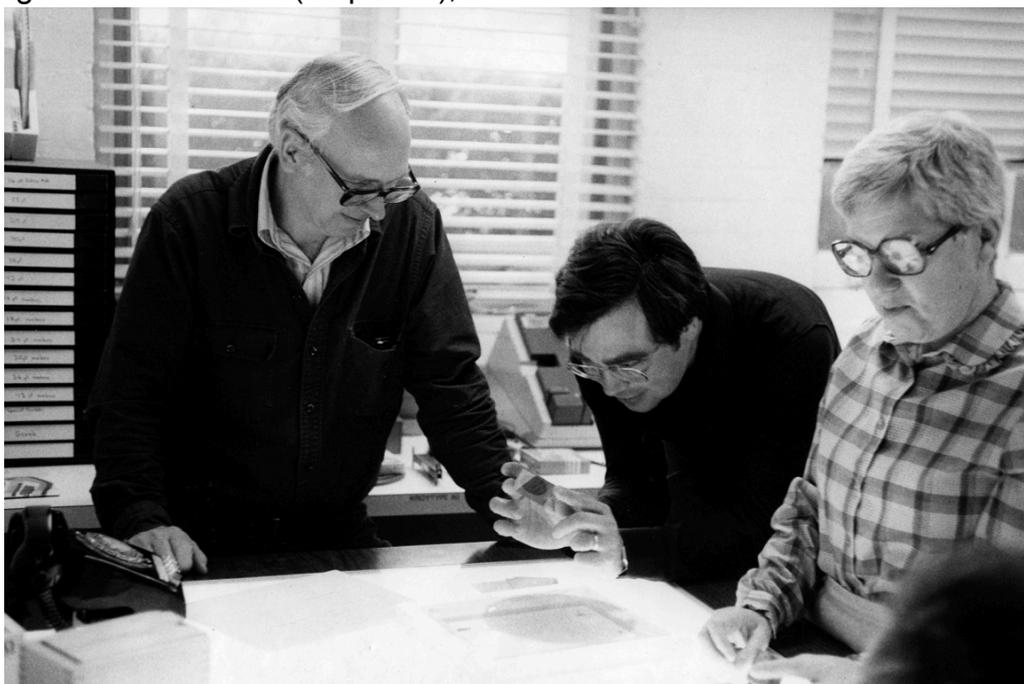
luminosidades. A criteriosa análise dos espectros galácticos feita por Rubin culminou na publicação de duas dúzias de artigos no *The Astrophysical Journal* (Mitton; Mitton, 2021).

Em 1978, Rubin, Ford e o físico Norbert Thonnard (Figura 3) — colegas de pesquisa do Departamento de Magnetismo Terrestre da Instituição Carnegie de Washington — a partir da observação telescópica, obtiveram um conjunto de dados de alta qualidade e credibilidade para os espectros de doze galáxias espirais de alta luminosidade, do tipo Sc⁶ da classificação de Hubble. Foram analisadas as massas e as relações de massa e luminosidade de duas maneiras diferentes. Em uma delas, adotou-se a imagem padrão da galáxia em forma de disco e na outra a abordagem de Ostriker, Peebles e Yahil, assumindo a distribuição esférica de massa. Tanto o modelo de disco quanto da esfera para a distribuição de massa reproduziam as curvas de rotação planas.

No artigo publicado foi escrita a seguinte nota ao final: “As observações aqui apresentadas são, portanto, uma condição necessária mas não suficiente para halos massivos” (Rubin; Ford; Thonnard, 1978, p. L111). Enfatizando o receio dos cientistas em se estabelecer conexões diretas entre as observações colhidas e a presença de matéria escura. Em retrospecto, pode-se considerar esse o primeiro agrupamento de evidências, fundamentadas em observações ópticas, da presença de matéria escura em halos galácticos, tal como os teóricos defendiam há pelo menos cinco anos.

⁶ Na classificação para o formato de galáxias desenvolvida por Edwin Hubble em 1926 as galáxias espirais são divididas em três classes, que representam suas etapas sequenciais de evolução, a saber: Sa (espirais fortemente enroladas), Sb (espirais mais fracamente ligadas) e Sc (espirais abertas). Ao longo do século percebeu-se que a evolução das galáxias era mais complexa do que prevista por tal sistema (Mitton; Mitton, 2021).

Figura 3 – Kent Ford (esquerda), Norbert Thonnard e Vera Rubin em 1984



Fonte: Mitton; Mitton (2021, p. 239).

No mesmo ano, houve mais um rápido avanço no estudo das curvas de rotação das galáxias: o radioastrônomo Albert Bosma ao pesquisar a presença de hidrogênio em 25 galáxias espirais, mapeando com a mais alta resolução até então as velocidades além da periferia do disco estelar visível, verificou que as curvas de rotação eram planas até o último ponto da medição (Bosma, 1978). Tais resultados indicavam fortemente a presença de uma quantidade abundante de matéria invisível nas galáxias.

Em 1980, novas observações realizadas por Rubin e seus colaboradores, tinham como amostra 21 galáxias do tipo Sc. Vera Rubin e Kent Ford foram pioneiros na investigação das regiões exteriores e da dinâmica da maioria dessas galáxias, assim como na publicação de um estudo sistemático das suas curvas de rotação. A grandes distâncias do centro das galáxias, a massa implícita continuava a aumentar cada vez mais, mesmo no limite onde nenhuma matéria podia ser vista (Rubin; Ford; Thonnard, 1980). O comentário de Vera no artigo de 1980 publicado no *The Astrophysical Journal* sobre essa constatação foi: “É inevitável a conclusão de que existe matéria não luminosa para além da galáxia óptica.” (Rubin; Ford; Thonnard, 1980, p. 485). A matéria escura parecia estar preferencialmente no entorno das galáxias, o que resultava em profundas consequências aos teóricos que

trabalhavam com a origem e formação de galáxias no início do Universo e com o próprio Universo.

Outro aspecto tratado por Vera Rubin na pesquisa, correspondia a quantidade de vezes que essas galáxias estudadas poderiam girar, comparando as semelhanças das curvas de rotação obtidas com seus dados. A maior galáxia espiral conhecida, a UGC 2885, “passou por menos de dez rotações nas suas partes exteriores desde a origem do Universo”, mantendo sua estrutura espiral simétrica (Rubin; Ford; Thonnard, 1980, p. 471). Ademais, pôde se perceber que a borda externa de um braço de uma galáxia espiral gira mais rapidamente que a borda interna do braço seguinte, sinalizando que o padrão espiral das galáxias é determinado por uma onda que gira e avança mais lentamente do que o movimento contínuo das estrelas (Rubin, 1996). Nos braços das galáxias há fluxos de gás interestelar, tanto neutros quanto eletricamente carregados, que se chocam e desencadeiam a formação das estrelas à medida que as ondas de poeira vagam por eles (Yager, 2021). Ou seja, a matéria escura é um ente fundamental para a existência e evolução das galáxias.

No ano de 1981, Rubin, Ford e Thonnard se uniram ao astrônomo e astrofísico David Burstein para fazer uma análise mais completa da distribuição de massa da mesma amostra de galáxias dos trabalhos anteriores e identificaram várias conexões entre propriedades fundamentais, como massa e luminosidade. O primeiro parágrafo do artigo que resultou dessa colaboração, apontava que a amostragem de “galáxias espirais normais tem relevância para os problemas maiores da matéria não luminosa no Universo e da massa do Universo” (Burstein; Rubin; Thonnard; Ford, 1982, p. 70). Já o parágrafo que encerra o trabalho, afirmava que

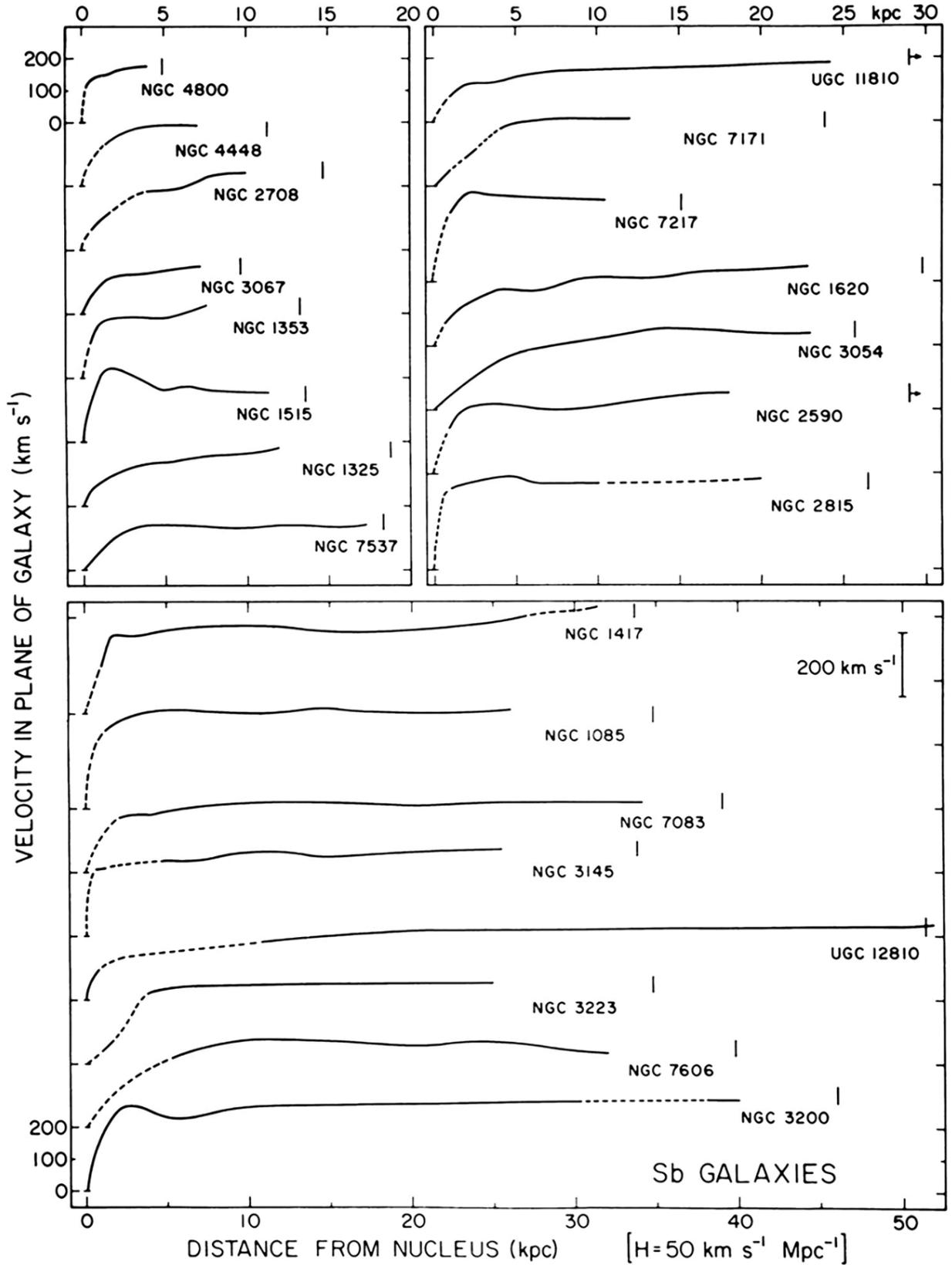
Uma vez que a maioria das galáxias Sc nesta amostra não estão em grandes aglomerados, todas estas conclusões são consistentes com a presença de halos massivos virtualmente não luminosos em galáxias Sc de campo. As distribuições de ambas as formas de matéria (luminosa e não luminosa) parecem estar fortemente acopladas na imagem óptica (Burstein; Rubin; Thonnard; Ford, 1982, p. 84).

Nesse momento, havia um entusiasmo geral pela ideia de haver uma grande quantidade de matéria escura abundante nos aglomerados de galáxias. Os artigos

de Vera Rubin publicados em 1978, 1980 e 1982 documentam sua posição a favor do argumento de que a matéria escura está aglomerada, na forma de halo, ao redor das galáxias.

Em 1982, dando continuidade a suas observações, Vera Rubin pôde determinar as propriedades rotacionais de 23 galáxias do tipo Sb (Figura 4). A investigação termina em 1985, quando galáxias do tipo Sa são adicionadas ao conjunto estudado. Os dados utilizados foram criteriosamente selecionados e a amostra observacional abrangia uma grande faixa de valores para a luminosidade. Com isso, pôde ser identificado que as curvas de rotação das galáxias eram semelhantes e não refletiam diferenças estruturais marcantes para as três classes. Rubin ponderou que: “As curvas de rotação que obtivemos para as galáxias Sa, Sb e Sc têm pouca relação com as curvas de rotação que seriam previstas a partir da distribuição da luminosidade óptica nestas galáxias.” (Rubin; Burstein; Ford; Thonnard, 1985, p. 92).

Figura 4 – Vinte e três curvas de rotação plana para galáxias Sb



Fonte: Rubin; Ford; Thonnard (1982, p. 449).

Os avanços atingidos até o final dos anos oitenta, a partir das teorias, observações e simulações computacionais que foram desenvolvidas e que poderiam explicar parte do intrigante movimento dos objetos celestes estimulava a confiança dos pesquisadores e interesse pelas surpresas que o Universo poderia revelar (Rubin, 1996). As descobertas provenientes do estudo de Vera Rubin sobre a dinâmica de galáxias de campo e de galáxias em aglomerados forneceram uma ampla evidência observacional da presença de matéria escura, sua distribuição no Universo e impacto no ambiente das galáxias. Os principais artigos publicados por Rubin sobre curvas de rotação fizeram uma contribuição significativa na determinação de uma teoria cosmológica capaz de explicar a dinâmica das galáxias.

2.5 O QUE SABEMOS SOBRE A MATÉRIA ESCURA

Por muito tempo acreditou-se que o que se chamava de matéria escura era apenas matéria pouco luminosa que os telescópios ainda não conseguiam detectar. Tinha-se como pensamento comum, de que os prováveis constituintes da matéria escura seriam estrelas pouco massivas ou remanescentes de estrelas grandes e super massivas mortas. Alguns cientistas até sugeriram que a matéria escura poderia ser formada por fragmentos que nunca se tornaram luminosos como planetas semelhantes a Júpiter e buracos negros do Universo primitivo (Rubin, 1996).

Os físicos conheciam razoavelmente a quantidade de matéria normal, ou bariônica, existente desde o instante seguinte ao Big Bang. Contudo, a maior parte da massa do Universo, pelo menos com base nas melhores estimativas dos cientistas na época, não poderia ser bariônica. Outro argumento favorável à existência de uma matéria não bariônica resultou das questões não respondidas da cosmologia. Após a sua definitiva aceitação pela comunidade científica, por volta dos anos 70, diversas especulações sobre a natureza peculiar da matéria escura circulavam na literatura científica. O primeiro candidato a partícula de matéria escura foram os neutrinos leves e pesados, mas logo a hipótese foi descartada (Rubin, 1996). Outras potenciais partículas foram criadas, o astrofísico e astrônomo Gary Steigman e o cosmologista Michael Turner eram defensores de uma partícula massiva de interação fraca, denominada WIMP (Steigman; Turner, 1985). Na década

de 1980 o áxion é apresentado como uma partícula de matéria escura (Ipser; Sikivie, 1983). Para todas essas partículas os físicos concebiam experiências na tentativa de confirmar se existiam de fato.

Ao invés de proporem novas partículas, alguns cientistas optaram pela modificação da teoria gravitacional como forma de explicar a matéria escura. O físico Mordehai Milgrom, sugeriu que as Leis de Newton, desenvolvidas no século XVII, não eram suficientes para a descrição da dinâmica das galáxias. A solução elaborada, em conjunto com o físico Jacob Bekenstein, para explicar a curva de rotação plana de uma galáxia, foi chamada de MOND (Dinâmica Newtoniana Modificada) (Milgrom, 1983). Ainda que a modificação fosse capaz de reconstruir a planicidade característica das curvas, poucos cientistas adotaram uma reavaliação tão radical das Leis de Newton na escala galáctica ou da existência da matéria escura (Rubin, 1996).

Nas últimas décadas, observações em diversas faixas espectrais não foram capazes de detectar a matéria escura, que não parece irradiar significativamente nas regiões do ultravioleta, da luz visível, infravermelha ou dos raios X, além disso, sabe-se que não é composta por gás ou estrelas com baixa luminosidade (Rubin, 1996). Atualmente, os cientistas da área da Física de partículas propõem, como constituinte da matéria escura, uma nova partícula fundamental, que ainda não descobrimos ou identificamos mas que é percebida através do efeito da sua atração gravitacional sobre a matéria comum (Teixeira; Souza, 2022). A assinatura da matéria escura é apenas o efeito da sua interação gravitacional, mas com estudos continuados em todas as regiões do espectro electromagnético, espera-se que mais respostas sobre as suas propriedades sejam delineadas (Rubin, 1996). Entretanto, devido à complexidade da sua natureza, não estamos tão mais perto de uma resposta para isso do que estavam os cientistas do século passado e sua origem misteriosa constitui um dos principais dilemas da Astrofísica, acentuado ao sabermos que cerca de 84% da massa total do Universo corresponde a matéria escura (Ferrerias, 2019).

2.4 REFLEXÕES EPISTEMOLÓGICAS SOBRE A DESCOBERTA DA MATÉRIA ESCURA

Durante o século XX, os astrônomos aprenderam que o Universo está cheio de galáxias, que o universo está se expandindo e que as galáxias estão se separando umas das outras. Mas talvez mais importante do que a compreensão dos novos fatos individuais, seja a percepção de que o Universo é mais complexo e mais misterioso do que haviam alguma vez imaginado (Rubin, 1996). Em vista disso, as reflexões epistemológicas podem auxiliar no melhor entendimento dos processos que geram conclusões como essas. Em particular, para a narrativa histórica do evento de descoberta da matéria escura é possível desenvolver uma análise interpretativa dos acontecimentos a partir de uma visão baseada na epistemologia da Ciência de Thomas Kuhn⁷ (1997, 2018).

Ao estudarem a dinâmica celeste, os problemas de pesquisas que motivaram os cientistas não intencionavam diretamente produzir alguma real modificação dos conteúdos da ciência. Nessa circunstância, entende-se que a produção científica para o estudo do Universo caracterizava-se pela execução da ciência normal, a qual Kuhn (2018, p. 71) denota como a

[...] pesquisa firmemente baseada em uma ou mais realizações científicas passadas. Essas realizações são reconhecidas durante algum tempo por alguma comunidade científica específica como proporcionando os fundamentos para sua prática posterior.

Logo, as ideias dos cientistas que pesquisavam sobre o movimento, forma e distribuição de matéria nas galáxias estavam firmemente atreladas ao compromisso com a ciência normal, que determina, por exemplo, tanto aquilo que compõe o Universo, quanto, de maneira implícita, o que ele não pode conter (Kuhn, 2018).

Em vista disso, os pesquisadores começaram suas investigações formulando perguntas de pesquisa a respeito da identificação das propriedades das galáxias, presumindo que os resultados observacionais, como por exemplo, as curvas de rotação e a quantidade de matéria calculada, estivessem de acordo com a teoria newtoniana. Os dados colhidos eram modelados a partir de analogias com os

⁷ O Ensaio Introdutório escrito pelo filósofo da Ciência Ian Hacking para o 50º aniversário da edição de “A Estrutura das Revoluções Científicas” de Thomas Kuhn também será utilizado como referencial na análise.

sistemas clássicos conhecidos e os resultados de pesquisa eram analisados a partir dos pressupostos estabelecidos pelo conhecimento científico aceito até então. Os pesquisadores, portanto, compartilhavam entre si uma série de regras e padrões para a prática científica previamente estabelecidos (Kuhn, 2018). Desse modo, nesse episódio, a ciência normal empreendida estava imersa em paradigmas que, em certa medida, determinavam quais eram as perguntas a serem feitas pelos cientistas e como as comunidades científicas deveriam trabalhar para respondê-las (Hacking, 2018).

Porém, o trabalho científico realizado na ciência normal foi abalado quando esses métodos — leis e instrumentos, por exemplo — legitimados pela tradição científica passaram a ser insuficientes para a explicação dos fatos (Hacking, 2018). Exemplificando esse quadro, o paradigma newtoniano e, por consequência, dos entes que compõem o Universo, foi desestabilizado pela divergência dos resultados para a velocidade de rotação das galáxias ao que era esperado, e deixaram de ser suficientes para a explicação das curvas nas várias pesquisas feitas. Ainda que, os instrumentos de pesquisa, como os espectrógrafos, que ofereceram uma maior quantidade de dados para os cientistas trabalharem, mostrassem o alcance das tecnologias que puderam ser concebidas com aporte no paradigma.

No acúmulo das evidências de vários estudos ao longo de décadas, concluiu-se que as curvas de rotação das galáxias eram planas, podendo até aumentar ligeiramente a grandes distâncias do centro delas. O Universo precisaria de mais matéria do que os cientistas pensavam para que fosse possível explicar as rápidas velocidades das estrelas e da nuvem de gás das galáxias. Os astrônomos não sabiam o que ela era ou onde realmente estava, mas a dinâmica celeste sugeria a existência de uma forma adicional de matéria. Essa matéria extra foi chamada de “matéria escura”, em homenagem aos primeiros astrônomos, das décadas de 1920 e 1930, que notaram pela primeira vez os movimentos anômalos das galáxias (Yager, 2021).

A percepção pelos cientistas desse novo fenômeno ao qual não era previsto, ou seja, uma anomalia no paradigma que governava a ciência normal, foi fundamental na trajetória da descoberta científica da matéria escura (Kuhn, 2018). Como explica Kuhn, a “consciência da anomalia inaugura um período no qual as categorias conceituais são adaptadas até que o que inicialmente era considerado

anômalo se converta no previsto. Nesse momento completa-se a descoberta.” (Kuhn, 2018, p. 142).

Neste artigo, optou-se por tratar o evento como uma descoberta. Distanciando-se de uma visão ingênua, empirista e socialmente neutra, como um acontecimento causado por um indivíduo isolado e genial que descobre algo, o significado atribuído ao termo está associado à noção de que as descobertas científicas são produto do trabalho coletivo dos cientistas ao longo de um período de tempo. Explicitando-se os esforços, percalços, dúvidas e controvérsias que envolvem o desenvolvimento de um novo conceito, indo de encontro ao sentido da palavra proposto por Kuhn (2018).

Contudo, deve-se advertir sobre o equívoco de que descobrir algo seja um ato simples e único, atribuído a um indivíduo em alguma uma época específica (Kuhn, 2018). Entende-se que descobrir algo corresponde “a um desenvolvimento complexo que se estende tanto no espaço como no tempo” (Kuhn, 1997, p. 165). A descoberta científica, semelhante a uma realização, surge em diferentes lugares e momentos através dos esforços de vários colaboradores, que após o compartilhamento de ideias e sua discussão crítica, organicamente se estabelece na consciência comunitária. As grandes descobertas sobre o cosmos no século passado até hoje em dia, exigiram o movimento articulado de observação, desenvolvimento de instrumentos, teoria, intuição e um pouco de acaso. Comumente vê-se nomes de cientistas atribuídos à descoberta da matéria escura, contudo, é incerto apontar apenas uma pessoa como a responsável por tal feito, seja por haver poucas evidências ou pela complexidade inerente à sua determinação. Na opinião do historiador e filósofo da Ciência William Vanderburgh, “Dado o tempo que a comunidade astronômica levou a aceitar a evidência da matéria escura, é razoável dizer que nenhum cientista foi o descobridor.” (Vanderburgh, 2014, p. 154).

Partindo de uma leitura não anacrônica da história do episódio, compreende-se que seja mais importante tentar destacar os cientistas que contribuíram à descoberta científica, ao invés de apontar indevidamente personagens específicos da História da Ciência como um único responsável pelo grande feito. Percebe-se ainda que as contribuições daqueles cujo trabalho foi injustamente negligenciado devam ser reconhecidas. No que diz respeito à história da descoberta da matéria escura, Vera Rubin teve papel fundamental para a

consolidação da sua existência como constituinte do Universo, assim como, nos estudos que buscavam entendê-la. Essas valiosas contribuições, fazem com que a cientista seja considerada como uma das personagens protagonistas do evento científico e, portanto, é essencial que suas contribuições sejam relatadas.

Após a identificação da anomalia — curvas de rotação planas e não Keplerianas para as galáxias — a matéria escura não foi aceita de modo imediato e unânime como ente que compõe o Universo. Os cientistas por muito tempo acreditaram que a apuração dos resultados das pesquisas que expunham as lacunas do arsenal teórico, seria decorrente dos instrumentos observacionais, que poderiam gerar incertezas nos dados espectrais. Essa opinião podia estar amparada no fato de que, além de não se poder observar diretamente o que estava acontecendo nas regiões de galáxias, a radioastronomia era uma disciplina científica relativamente nova, fazendo com que os cientistas se sentissem inseguros com os próprios dados. Embora as evidências tenham sido construídas durante anos e em frentes de pesquisa diferentes, muitos investigadores acreditavam que não faltava massa alguma no Universo, seguindo seus precedentes e comprometidos com o paradigma.

Durante o evento de descoberta da matéria escura proliferaram diferentes versões de teorias que buscavam explicar o que era verificado. Isto evidencia que a Ciência tem em sua essência “problemas” sem soluções imediatas e abordados de diferentes maneiras ao longo do tempo, e cujas “soluções” provisórias são construídas pelos esforços dos cientistas em abordá-los. Esses conhecimentos provisórios ou que sabemos que sofrem modificações com o tempo possibilitaram que os cientistas prosseguissem em suas pesquisas sobre a matéria escura. Ao se depararem com a anomalia no paradigma, o raciocínio de alguns dos cientistas embasava-se no argumento teórico de que algo — matéria escura — deveria existir para explicar a inexistência de outra coisa — a instabilidade do disco galáctico, por exemplo — mas por não haverem provas contundentes que corroborassem a hipótese, a comunidade científica no geral, exigia a apresentação de maiores evidências para que fosse então confirmada. Outros grupos de cientistas apresentaram como solução a possibilidade de que houvesse uma grande quantidade de objetos celestes — estrelas pouco massivas ou remanescentes de estrelas grandes e super massivas mortas — que exerciam influência gravitacional

mas não podiam ser visualizados. Mas com o tempo, a hipótese foi descartada por não constituir a melhor explicação à anomalia.

Quando a matéria escura é adicionada à lista de elementos que compõem o Universo, modifica-se o que se sabia até então sobre o conceito basilar de matéria. O processo de aceitação dos resultados das pesquisas, exigiu tempo e ainda mais evidências para que os cientistas se convencessem. Como sumariza Rubin, “Pensávamos que estávamos estudando o Universo [...] Agora sabemos que estávamos estudando apenas uma pequena fração disso.” (Rubin, 1986, p. 27). Essa pequena fração era aquela iluminada por estrelas, gás e poeira, a outra parte, constitui-se de algo totalmente diferente, que não pode ser observado. Do final da década de 1930 até os anos de 1950 houve um período de hiato na pesquisa sobre a matéria escura. Em 1940, o astrônomo e cosmólogo Erik Holmberg expressou dúvidas quanto a sua existência

Não parece ser possível aceitar as altas velocidades [nos aglomerados de galáxias de Virgem e Coma] como pertencentes a membros do aglomerado, a menos que suponhamos que uma grande quantidade de massa — a maior parte da massa total do aglomerado — é proveniente de um material escuro distribuído entre os membros do aglomerado — uma suposição improvável (Holmberg, 1940, p. 21).

Nesse cenário, os cientistas podiam apresentar explicações errôneas frente aos resultados de pesquisa, com o tempo e amadurecimento das ideias, isso pôde ser mais facilmente esclarecido. Vera Rubin relata que no ano de 1967, ao se deparar com os resultados da curva de rotação plana para as galáxias, teve o pensamento precipitado que: “deve haver algum mecanismo para acelerar estrelas que se moviam muito lentamente ou desacelerar estrelas que se moviam muito rápido” (Rubin, 2011, p. 13), porém, essa primeira opinião rapidamente foi descartada pela cientista.

Nota-se, portanto, a dificuldade em promover o convencimento na comunidade científica, principalmente para a aceitação de algo que existe, mas não pode ser observado. Esses aspectos certamente influenciaram no tempo em que a dúvida da presença ou não da matéria escura no Universo persistiu na Ciência. Segundo Kuhn, as características dos episódios de descobertas incluem

a consciência prévia da anomalia, a emergência gradual e simultânea de um reconhecimento tanto no plano conceitual como no plano da observação e a consequente mudança das categorias e procedimentos paradigmáticos — mudança muitas vezes acompanhada por resistência (Kuhn, 2018, p. 140).

Sobre o que finalmente fez os cientistas se convencerem da existência da matéria escura, na opinião de Rubin

A mudança veio de muitas direções [...] Quando o conceito de um potencial gravitacional diferente (não definido pela luz) surgiu, foi meio chocante. A ideia de que quando pensávamos que estávamos estudando o universo, estávamos apenas estudando 5% do universo era incrível. Demorou um pouco para que todos aceitassem o fato de que praticamente tudo o que aprendemos em Astronomia foi aprendido por meio de fótons. Há algumas exceções – raios cósmicos, alguns neutrinos, algumas coisas que passam e que não são fótons. Mas praticamente tudo o que aprendemos sobre o universo, aprendemos através dos fótons. De repente, tivemos de compreender que ninguém jamais nos prometeu que toda a matéria irradiaria fótons – que grande parte do cosmos poderia ser escura. Isso amplia sua visão (Rubin, 1996, p. 160).

Lentamente, a comunidade científica ligada às áreas da Astronomia, Astrofísica e Cosmologia, passaram a reconhecer que o Universo poderia conter mais elementos do que aparentava, ao adotar a existência da matéria escura ao paradigma newtoniano. A quantidade inegável de dados e o amplo estudo sobre as inesperadas velocidades obtidas para as galáxias e seus componentes exigiam uma explicação que, finalmente, pôde ser encontrada ao admitir-se a presença de uma grande quantidade de matéria escura no Universo. No entanto, esse reconhecimento está atrelado aos seus efeitos gravitacionais, que não podem ser explicados pela matéria ordinária e, não fornecem informações sobre a sua natureza, que ainda é desconhecida.

A matéria escura não advém de meras suposições e sim dos seus observáveis efeitos gravitacionais sobre a matéria visível, o que a diferencia diametralmente do famoso episódio do éter no século XIX — meio hipotético no qual a luz se propagava. Destarte, os avanços nas pesquisas sobre matéria escura também possibilitaram o progresso de outros assuntos como a maior compreensão sobre a composição, evolução e processo de formação do cosmos. A astrônoma

Sandra Faber afirma que o trabalho desenvolvido por Rubin e Ford e demais colaboradores de pesquisa

abriu corajosamente o assunto, as grandes irregularidades na expansão cósmica fazem agora parte da tradição cósmica padrão. Na verdade, são induzidos pelas massas muito maiores dos superaglomerados de galáxias devido aos seus grandes componentes de matéria escura (Faber, 2016, n.p).

Os trabalhos de Rubin foram imprescindíveis para a redefinição do que se compreendia do cosmos. Mesmo quando não recebeu o reconhecimento externo dos seus resultados, Rubin continuou seus estudos sobre as galáxias, evidenciando um fator inerentemente científico mas que nem sempre é reconhecido como tal, a persistência do cientista. A escolha e análise crítica dos dados observacionais feita pela cientista durante sua pesquisa, certamente fazem dela uma personagem fundamental no episódio de descoberta. Seus dados espectrais revelaram a onipresença das curvas de rotação planas para as galáxias, corroborando a hipótese da existência da matéria escura. O fato de que as estrelas e o gás galáctico girarem com velocidade semelhante mesmo a distâncias variadas do núcleo foi descrito como uma descoberta genuína por Peebles, — laureado com o prêmio Nobel de Física em 2019 — acrescentando que “Foram Rubin e Ford que descobriram a universalidade, ou quase universalidade, das curvas de rotação planas.” (Peebles, 2019, n.p).

Com o tempo, cada vez mais espectros obtidos traziam os mesmos resultados inegáveis, fazendo com que os teóricos passassem a aderir à matéria escura como solução para explicá-los. Como discorreu Rubin, “as pessoas compreenderam que se quiséssemos salvar as Leis de Newton, teríamos de ter muito mais matéria que não fosse luminosa.” (Rubin, 2007, n.p). Ainda assim, os problemas de pesquisa não foram suplantados, outras questões estão em aberto.

Sobre a constituição da matéria escura, ainda permanecem dúvidas e uma grande variedade de teorias. A hipótese das partículas fundamentais, por exemplo, é frequentemente contestada por ser postulada sem apoio à detecção experimental. Isto posto, escancarar as concepções errôneas na imagem da Ciência é um dos papéis relevantes dos episódios de descoberta, que muitas vezes têm sua importância medida pela métrica do impacto e extensão que a sua anomalia

prelúdio (Kuhn, 2018). Como comentou Faber em conjunto com o astrônomo James Gallagher em 1979 na *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, apesar das incertezas, dos erros e outros problemas a serem resolvidos, “é provável que a descoberta da matéria invisível perdure como uma das principais conclusões da Astronomia moderna.” (Faber; Gallagher, 1979, p. 182).

2.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As pesquisas de Rubin, assim como de outros pesquisadores que investigaram a matéria escura ao longo do século XX abrangem muito mais do que um catálogo de artigos. No caso da astrônoma, sua contribuição no desenvolvimento desse conhecimento científico foi elencada de diferentes formas. A organização *American Physical Society* em 2013 fez uma homenagem “Em reconhecimento à pesquisa pioneira de Vera C. Rubin e W. Kent Ford Jr., cujas medições das curvas de rotação galáctica forneceram evidências da existência de matéria escura.” (APS, 2013, n.p). Após o falecimento de Vera Rubin em dezembro de 2016, sua pesquisa foi reconhecida pela revista *Nature* e pelo jornal *Washington Post*, como responsável pela confirmação da existência da matéria escura (Bahcall, 2017; Schudel, 2016). No entanto, o jornal *Los Angeles Times*, optou por dizer que “encontrou evidências” de matéria escura distribuída em halos ao redor das galáxias (Blume, 2016, n.p). O *New York Times*, cita a explicação de Ostriker de que o trabalho de Vera certificou a maioria dos astrônomos da existência da matéria escura, embora “ajudasse o fato de que, ao mesmo tempo, a Física teórica estava explodindo com novas ideias.” (Overbye, 2016, n.p).

Sabe-se que as evidências observacionais de Vera Rubin não foram únicas, contudo, as pesquisas desenvolvidas pela cientista ao longo de pelo menos três décadas foram fundamentais para que aqueles que duvidavam da existência da matéria escura passassem a se convencer dela. O evento científico de descoberta da matéria escura ofereceu ricas discussões sobre elementos epistemológicos a partir da análise e interpretação dos fatos a partir dos pressupostos de Thomas Kuhn, logo, pode se considerar que a introdução do tema nessa perspectiva é uma possibilidade para que seja desenvolvida uma melhor compreensão da NdC. Alguns dos principais conceitos da teoria kuhniana — “ciência normal”, “paradigma”,

“anomalia” e “descoberta científica” — puderam ser elencados realizando-se um paralelo com os acontecimentos envolvidos no obstáculo ao conhecimento científico pela experiência dos cientistas que se incubiram de estudá-lo.

Sabendo-se que as atividades de educação e divulgação científica podem ser subsidiadas pela investigação da história da Astronomia, Astrofísica e Cosmologia, acredita-se que o material desenvolvido possa contribuir como suporte à discussão histórica sobre o desenvolvimento dos conhecimentos acerca da matéria escura — como conceito estudado pela Física mais atual, para as discussões sobre Natureza da Ciência no ambiente escolar e ilustração exemplar de uma mulher que através de suas pesquisas contribui imensamente para o progresso científico na sua área de estudo, o que é tão caro à educação em ciências.

Por ter sido um longo processo de construção de conhecimento e que ainda está em aberto, compreende-se que os aspectos sobre a NdC presentes nesse evento científico não são estanques aqueles apontados nas reflexões epistemológicas deste trabalho. Sugere-se como elemento de discussão complementar sobre o evento: demonstrar a importância das comunidades científicas na manutenção e reavaliação do paradigma; a interação, robustez e atuação das comunidades científicas; disposição e resistência em reconhecer as deficiências do paradigma vigente; relevância dos problemas na Ciência; o papel do desenvolvimento das simulações nas pesquisas sobre matéria escura e o peso dos resultados que foram inferidos delas em comparação aos dados rádio astronômicos; e a possibilidade de reconstrução da compreensão sobre a estrutura das galáxias.

Outrossim, na interpretação exposta neste trabalho, entende-se que a matéria escura é coerente com o paradigma newtoniano e sua proposição surge como solução aos resultados anômalos para o movimento, distribuição de massa, forma, entre outras propriedades das galáxias, ao passo que acaba afetando o paradigma da composição de matéria no Universo que pode agora ser invisível. Reconhece-se ainda que a revolução científica, na definição de Kuhn, é algo duradouro na História da Ciência. Como indicado por Max Planck, “uma nova verdade científica não triunfa convencendo seus oponentes e fazendo com que vejam a luz, mas porque seus oponentes finalmente morrem e uma nova geração cresce familiarizada com ela” (Kuhn, 2018, p. 250). Em outras palavras, mesmo imersos às evidências e ao ambiente de estruturação de um novo paradigma, nem

sempre os cientistas aceitam o conhecimento científico proveniente da transformação na estrutura conceitual da Ciência. A revolução científica é um processo longo que, por sua magnitude e impacto nas comunidades científicas, ocorre poucas vezes na História da Ciência. Contudo, Vanderburgh (2014) reconhece o episódio de descoberta da matéria escura como o propulsor de uma revolução científica. O filósofo e historiador parte da elaboração de duas classes possíveis de soluções gerais para a matéria escura:

(1) há muito mais massa em sistemas astrofísicos de grande escala do que pode ser detectada por qualquer meio direto; ou (2) nossa melhor teoria da gravidade, a Teoria Geral da Relatividade⁸ de Einstein, não se aplica a esses sistemas e portanto precisa ser substituída. Na primeira opção, o excesso de massa fica "escuro" no sentido que não emite nem absorve radiação eletromagnética em qualquer comprimento de onda. Esta é uma das razões para pensar que o excesso de massa provavelmente não é qualquer forma de matéria com a qual já estamos familiarizados (prótons, nêutrons, etc.). Na segunda opção, alguma nova teoria será necessária para substituir a Relatividade Geral como a teoria descrevendo interações gravitacionais que ocorrem em distâncias iguais ou superiores do que o raio de uma galáxia (Vanderburgh, 2014, p. 142).

Para concluir que

Ambas as opções (1) e (2) são excitantes: seja qual for o caminho que a discrepância dinâmica seja finalmente resolvida, encontramos-nos potencialmente agora no limiar da uma revolução científica kuhniana, seja na física da matéria ou na teoria da gravidade. Historiadores, sociólogos e filósofos da ciência estão, portanto, em condições de assistir a uma revolução científica tal como acontece — se apenas o mundo natural e a engenhosidade humana conspirarem para apresentar uma solução viável para a discrepância dinâmica (Vanderburgh, 2014, p. 142).

Como indicado na defesa supracitada, a resposta sobre se passamos por uma revolução científica ou se uma está para acontecer, dependerá além dos esforços intelectuais humanos, de tempo e disposição da natureza em esclarecer as questões ainda em aberto sobre a matéria escura. Kuhn declara que “a descoberta de um novo tipo de fenômeno é necessariamente um acontecimento complexo, que

⁸ A Teoria da Relatividade Geral de Einstein (1915) surge como uma generalização da Teoria da Relatividade Especial (ou Restrita) — que introduz a hipótese revolucionária da velocidade da luz constante. A teoria geral inclui a gravitação às ideias da relatividade, e a partir de um conjunto de equações do campo gravitacional, possibilitou a percepção de que a matéria do Universo estabelece como que sua geometria espaço-tempo deve se curvar (Moreira, 2005).

envolve o reconhecimento tanto da existência de algo, como de sua natureza” (2018, p. 132). Apesar de não sabermos do que é feita a matéria escura, sua natureza é percebida por sua ação gravitacional sobre a matéria bariônica/visível/ordinária.

No sentido de promover discussões sobre a NdC, atentando a uma visão mais crítica sobre as relações de Gênero e Ciência, apesar de ter sido reconhecida por diversos prêmios ao longo de sua trajetória como pesquisadora, Vera Rubin, tal qual a astrônoma Jocelyn Bell Burnell e a física Chien-Shiung Wu, cientistas que também fizeram contribuições inestimáveis para a Ciência, foi relegada à láurea do Prêmio Nobel (Pires, 2022; Maia Filho; Silva, 2019).

Como observou a física Lisa Randall “De todos os grandes avanços na Física durante o século XX, este certamente deveria estar no topo, tornando-o merecedor do prêmio mais proeminente do mundo nesta área.” (Randall, 2017, n.p). Os que se opunham a sua nomeação justificaram que a cientista não o merecia por não ter sido a primeira astrônoma a mostrar as curvas de rotação planas das galáxias, sendo esta a principal evidência indireta da existência de matéria escura (Yager, 2021). De fato, Rubin foi apenas uma dentre os muitos cientistas que trabalharam para solucionar o enigma da matéria escura, porém, seu papel de destaque esteve em oferecer os resultados suficientemente completos para convencer a comunidade de astrônomos de que as curvas de rotação planas eram reais. Outro motivo apresentado seria por conta da matéria escura ser um conceito postulado, cuja natureza exata ainda é desconhecida (Yager, 2021).

Porém, pela descoberta da energia escura, que explica a expansão acelerada do Universo, foi atribuído o prêmio Nobel em 2011, mesmo os cientistas não a compreendendo completamente. Ainda que, os dados observacionais que forneceram evidências da existência de matéria escura, sejam análogos àqueles que mostraram a expansão acelerada do Universo, indicando a existência de energia escura, nenhum pesquisador recebeu a honraria por sua descoberta. Longe de ser um acontecimento isolado, a negligência⁹ da instituição do Prêmio Nobel, principalmente com as mulheres cientistas, é algo já apontado em pesquisas sobre a História da Ciência (Cordeiro, 2017; Pires, 2019). Isto posto, uma investigação futura

⁹ Segundo a historiadora da Ciência Margaret Rossiter (1993) esse fenômeno é chamado de “Efeito Matilda” e explica os casos em que a participação das mulheres na atividade científica tem seu mérito diminuído ou atribuído a um homem em publicações e premiações, por exemplo (Rossiter, 1993).

que busque problematizar, analisar e compreender como cientistas que se destacaram em suas áreas de pesquisa, em particular a astrônoma Vera Rubin, transformam esse contexto de subrepresentação das mulheres nos resultados das ciências, salientando suas contribuições para as discussões de Gênero e Ciência, parece frutífera (Schiebinger, 2008).

Aos cientistas contemporâneos cabe a ambiciosa tarefa de desenvolver tecnologias de detecção capazes de mapear e estudar essa matéria onipresente que não se revela facilmente, reconhecendo que terão como subsídio dados de apenas 5% ou 10% do Universo que é luminoso (Rubin, 1996). Uma das homenagens a Vera Rubin, o recente telescópio que leva o seu nome — *Vera C. Rubin Observatory* — têm como objetivo primordial responder muitas das questões que foram iluminadas pelo seu trabalho, como: O que é matéria escura? Onde está a matéria escura? E, como a matéria escura está distribuída no Universo?. Nas próprias palavras de Rubin, parafraseando o escritor Marcel Proust, “As verdadeiras descobertas astronômicas vêm de olharmos com novos olhos e de fazermos novas perguntas.” (Rubin, 1996, p. 82).

REFERÊNCIAS

APS. **Carnegie Institution**: Department of Terrestrial Magnetism. 08 nov. 2013. Disponível em:

<https://www.aps.org/programs/honors/history/historicsites/carnegie.cfm>. Acesso em: 22 jan. 2024.

BAHCALL, N. A. Vera Rubin (1928-2016). **Nature**, v. 542, 2 fev. 2017. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/542032a>. Acesso em: 22 jan. 2024.

BERTONE, G.; HOOPER, D. History of Dark Matter. American Physical Society: **Review of Modern Physics**, v. 90, ed. 045002, p. 1-32, 15 out. 2018.

BESSEL, F. W. On the Variations of the Proper Motions of Procyon and Sirius. **Royal Astronomical Society**, v. 6, p. 136-141, ago. 1844. Disponível em:

<https://articles.adsabs.harvard.edu/full/1844MNRAS...6R.136B/0000141.000.html>. Acesso em: 19 jan. 2024.

BLUME, H. Pioneering Astronomer Vera Rubin Dies at 88; She Helped Find Evidence of Dark Matter. **Los Angeles Times**, 26 dez. 2016. Disponível em:

<https://www.latimes.com/local/obituaries/la-me-vera-rubin-20161226-story.html>. Acesso em: 22 jan. 2024.

BOSMA, A. **The Distribution and Kinematics of Neutral Hydrogen in Spiral Galaxies of Various Morphological Types**. Tese de Doutorado. Universidade de Groningen, 1978. Disponível em: <https://ned.ipac.caltech.edu/level5/March05/Bosma/frames.html>. Acesso em: 20 jan. 2024.

BURBIDGE, G. R. Acceleration of Cosmic-Ray Particles among Extragalactic Nebulae. **Physical Review**, v. 107, no. 1, p. 269-271, 01 jul. 1957.

BURSTEIN, D.; RUBIN, V. C.; THONNARD, N.; FORD, W. K. The Distribution of Mass in Sc Galaxies. **The Astrophysical Journal**, v. 253, p. 70–85, 01 fev. 1982. Disponível em: <https://adsabs.harvard.edu/full/1982ApJ...253...70B>. Acesso em: 20 jan. 2024.

CONGRESSIONAL RECORD. **PUBLIC LAW n° 116–97**, de 11 de janeiro de 2024. To designate the Large Synoptic Survey Telescope as the “Vera C. Rubin Observatory”. 20 dez. 2019. Disponível em: <https://www.congress.gov/116/plaws/publ97/PLAW-116publ97.pdf>. Acesso em: 11 jan. 2024.

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. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2017v34n3p669/35427>. Acesso em: 10 jan. 2024.

EINASTO, J.; KAASIK, A.; SAAR, E. Dynamic Evidence on Massive Coronas of Galaxies. **Nature**, v. 250, no. 5464, p. 309–310, 1974.

FABER, S. M.; GALLAGHER, J. S. Masses and Mass-to-Light Ratios of Galaxies. **Annual Review of Astronomy and Astrophysics**, v. 17, p. 135–187, 1979. Disponível em: <https://www.annualreviews.org/doi/abs/10.1146/annurev.aa.17.090179.001031>. Acesso em: 22 jan. 2024.

FABER, S. Vera Rubin’s Contributions to Astronomy. In: **Scientific American: Guest Blog**. dez. 2016. Disponível em: <https://blogs.scientificamerican.com/guest-blog/vera-rubins-contributions-toastronomy/>. Acesso em: 22 jan. 2024.

FERRERAS, I. **Fundamentals of Galaxy Dynamics**: Formation and Evolution. Londres, Inglaterra: UCL Press, 2019, 200 p.

FORD, K.; RUBIN, V. C.; ROBERTS, M. S. A Comparison of 21-cm Radial Velocities and Optical Radial Velocities of Galaxies. **Astronomical Journal**, v. 76, p. 22–24, 1971. Disponível em: <https://adsabs.harvard.edu/full/1971AJ.....76...22F>. Acesso em: 31 jan. 2024.

GOTTESMAN, S. T.; DAVIES, R. D.; REDDISH, V. C. A Neutral Hydrogen Survey of the Southern Regions of the Andromeda Nebula. **The Royal Astronomical Society**,

v. 133, p. 359–387, 1966. Disponível em:
<https://adsabs.harvard.edu/full/1966MNRAS.133..359G>. Acesso em: 01 fev. 2024.

HACKING, I. Ensaio Introdutório. *In*: KUHN, T. S. **A estrutura das revoluções científicas**. São Paulo: Perspectiva, 2018.

HALLIDAY, D. **Fundamentos da Física, volume 1**: mecânica. Rio de Janeiro: LTC, 2012, 355 p.

HOLMBERG, E. On the clustering tendencies among the nebulae. **Contributions from the Mount Wilson Observatory**: Carnegie Institution of Washington, v. 633, p. 1-35, 1940. Disponível em:
<https://articles.adsabs.harvard.edu//full/1940CMWCI.633....1H/0000021.000.html>. Acesso em: 22 jan. 2024.

IAG/USP. **A estrutura da galáxia**. São Paulo: IAG - Departamento de Astronomia, 2011. Disponível em: <http://www.astro.iag.usp.br/~aga5739/>. Acesso em: 21 jan. 2024.

IPSER, J.; SIKIVIE, P. Can Galactic Halos Be Made of Axions? **Physical Review Letters**, v. 50, no. 12, 21 mar. 1983.

JEANS, J. H. The Motions of Stars in a Kapteyn Universe. **Royal Astronomical Society**, v. 52, p. 122-132, 1920. Disponível em:
<https://adsabs.harvard.edu/full/1922MNRAS..82..122J>. Acesso em: 19 jan. 2024.

KAPTEYN, J. C. First Attempt at a Theory of the Arrangement and Motion of the Sidereal System. **The Astrophysical Journal**, v. 55, p. 302-328, 1922. Disponível em: <https://articles.adsabs.harvard.edu//full/1922ApJ....55..302K/0000302.000.html>. Acesso em: 19 jan. 2024.

KRAJNOVIC, D. The Contrivance of Neptune. **Astronomy and Geophysics**, v. 57, no. 5, p. 1-17, 2016. Disponível em:
<https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1610/1610.06424.pdf>. Acesso em: 19 jan. 2024.

KUHN, T. S. **A estrutura das revoluções científicas**. 13. ed. São Paulo: Perspectiva, 2018. 323 p.

KUHN, T. S. **The Essential Tension**: Selected Studies in Scientific Tradition and Change. United States of America: The University of Chicago Press, 1997. 366 p.

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. Disponível em:
<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2019v36n1p135/39935>. Acesso em: 10 jan. 2024.

MICHELL, J. M. On the Means of Discovering the Distance, Magnitude, &c. of the Fixed Stars. **Philosophical Transactions of the Royal Society**, London, v. 74, p. 35–57, 1784.

MILGRON, M. A Modification of the Newtonian Dynamics as a Possible Alternative to the Hidden Mass Hypothesis. **The Astrophysical Journal**, v. 270, p. 365-370, 15 jul. 1983. Disponível em: <https://adsabs.harvard.edu/full/1983ApJ...270..365M>. Acesso em: 21 jan. 2024.

MITTON, J.; MITTON, S. **Vera Rubin: A Life**. Londres, Inglaterra: Belknap Press of Harvard University Press, 2021. 383 p.

MOREIRA, Ildeu de Castro. Einstein e seus Trabalhos de 1905 e 1915. In: **Educação Pública**. 31 dez. 2005. Disponível em: <https://educacaopublica.cecierj.edu.br/artigos/2/1/einstein-e-seus-trabalhos-de-1905-e-1915>. Acesso em: 2 fev. 2024.

NEYMAN, J.; PAGE, T.; SCOTT, E. Conference on the Instability of Systems of Galaxies. **The Astronomical Journal**, v. 66, no. 1293, p. 533-535, dez. 1961. Disponível em: <https://adsabs.harvard.edu/full/1961AJ.....66..533>. Acesso em: 20 jan. 2024.

ÖPIK, E. The question of selective absorption of light in space viewed from the viewpoint of the dynamics of the universe. **Moscow University**, v. 21, 30 abr. 1915. Disponível em: <https://arxiv.org/pdf/2203.14871.pdf>. Acesso em: 19 jan. 2024.

OSTRIKER, J. P.; PEEBLES, P. J. E. A Numerical Study of the Stability of Flattened Galaxies: Or, Can Cold Galaxies Survive?. **The Astrophysical Journal**, v. 186, p. 467–480, 1973. Disponível em: <https://articles.adsabs.harvard.edu//full/1973ApJ...186..467O/0000479.000.html>. Acesso em: 20 jan. 2024.

OSTRIKER, J. P.; PEEBLES, P. J. E.; YAHIL, A. The Size and Mass of Galaxies, and the Mass of the Universe. **The Astrophysical Journal**, v. 193, p. L1–L4, 1974. Disponível em: <https://articles.adsabs.harvard.edu//full/1974ApJ...193L...1O/L000001.000.html>. Acesso em: 20 jan. 2024.

OSTRIKER, J.; MITTON, S. **Heart of Darkness: Unraveling the Mysteries of the Invisible Universe**. Princeton: Princeton University Press. 2013. 299 p.

OVERBYE, D. Vera Rubin, 88, Dies; Opened Doors in Astronomy, and for Women. **New York Times**, 28 dez. 2016. Disponível em: <https://www.nytimes.com/2016/12/27/science/vera-rubin-astronomist-who-made-the-case-for-dark-matter-dies-at-88.html>. Acesso em: 22 jan. 2024.

PIRES, L. N. **As mulheres e o prêmio Nobel**: As pesquisas de Maria Goeppertmayer e Donna Strickland e suas implicações no ensino de Física. 2019. Monografia (Licenciatura em Física) - Instituto Federal de Santa Catarina – Câmpus

Araranguá, 2019. Disponível em:

https://repositorio.ifsc.edu.br/bitstream/handle/123456789/1302/monografia.larissa_d_o_nascimento_pires.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 18 nov. 2023.

PIRES, L. N. **Jocelyn Bell Burnell e os pulsares**: Um estudo

histórico-epistemológico para a educação científica. 2022. Dissertação (Mestre em Educação Científica e Tecnológica) - Universidade Federal de Santa Catarina, 2022.

Disponível em:

<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/236851/PECT0508-D.pdf?sequence=-1&isAllowed=y>. Acesso em: 18 nov. 2023.

POINCARÉ, H. The Milky Way and the Theory of Gases. **Popular Astronomy**, v. 14, p. 475-488, set. 1906. Disponível em:

https://articles.adsabs.harvard.edu/cgi-bin/nph-iarticle_query?bibcode=1906PA.....14..475P&db_key=AST&page_ind=0&data_type=GIF&type=SCREEN_VIEW&classic=YES. Acesso em: 19 jan. 2024

RANDALL, Lisa. Why Vera Rubin Deserved a Nobel. In: **The New York Times**. 04 jan. 2017. Disponível em:

<https://www.nytimes.com/2017/01/04/opinion/why-vera-rubin-deserved-a-nobel.html>. Acesso em: 24 jan. 2024.

ROBERTS, M. S. A High-Resolution 21-cm Hydrogen-Line Survey of the Andromeda Nebula. **The Astrophysical Journal**, v. 144, p. 639–656, 1966. Disponível em:

<https://adsabs.harvard.edu/pdf/1966ApJ...144..639R>. Acesso em: 20 jan. 2024.

ROHLFS, K; CHINI, R.; WINK, J. E.; BÖHME, R. The Rotation Curve of the Galaxy.

Astronomy and Astrophysics, v. 158, p. 181–190, 1986. Disponível em:

<https://adsabs.harvard.edu/full/1986A%26A...158..181R>. Acesso em: 01 jan. 2024.

ROSSITER, M.W. The Matthew Matilda Effect Science. **Social Studies of Science**, v. 23, ed. 2, p. 325-341, 1993. Disponível em:

<https://citinde.ei.udelar.edu.uy/uploads/bibliografia/1af1b29e9bacb93c40f1ab475dce140c0cbea7a7.pdf>. Acesso em: 01 fev. 2024.

RUBIN, V. C. An Interesting Voyage. **The Annual Review of Astronomy and Astrophysics**, v. 49, ed. 1, p. 1-28, 2011. Disponível em:

<https://www.annualreviews.org/doi/pdf/10.1146/annurev-astro-081710-102545>. Acesso em: 22 jan. 2024.

RUBIN, V. C. **Bright Galaxies, Dark Matters**. New York: Springer, 1996. v. 7. 236 p.

RUBIN, V. C. Dark Matter In The Universe. **Highlights of Astronomy**, p. 27-38, 1986.

RUBIN, V. C. Seeing dark matter in the Andromeda galaxy. **Physics Today**, v. 59, no. 12, p. 8-9, 2006.

RUBIN, V. C. Vera Rubin: interview by David DeVorkin and Ashley Yeager. **American Institute of Physics**, 20 jul. 2007. Disponível em: <https://www.aip.org/history-programs/niels-bohr-library/oral-histories/44082>. Acesso em: 22 jan. 2024.

RUBIN, V. C.; BURLEY, J.; KIASATPOOR, A.; KLOCK, B.; PEASE, G.; RUTSHEIDT, E.; SMITH, C. Kinematic Studies of Early Type Stars. I. Photometric Survey, Space Motions, and Comparison with Radio Observations. **The Astronomical Journal**, v. 67, n. 8, p. 491–531, 1962. Disponível em: <https://articles.adsabs.harvard.edu/full/1962AJ.....67..491R/0000491.000.html>. Acesso em: 20 jan. 2024.

RUBIN, V. C.; BURSTEIN, D.; FORD, W. K.; THONNARD, N. Rotation Velocities of 16 Sa Galaxies and a Comparison of Sa, Sb and Sc Rotation Properties. **The Astrophysical Journal**, v. 289, p. 81–98, 1985. Disponível em: <https://adsabs.harvard.edu/full/1985ApJ...289...81R>. Acesso em: 20 jan. 2024.

RUBIN, V. C.; FORD, W. K. Rotation of the Andromeda Nebula from a Spectroscopic Survey of Emission Regions. **The Astrophysical Journal**, v. 159, no. 494, fev. 1970. Disponível em: <https://adsabs.harvard.edu/full/1970ApJ...159..379R>. Acesso em: 20 jan. 2024.

RUBIN, V. C.; FORD, W. K.; THONNARD, N. Extended Rotation Curves of High-Luminosity Galaxies IV. Systematic Dynamical Properties, Sa–Sc. **The Astrophysical Journal**, v. 225, p. L107–L111, 01 nov. 1978. Disponível em: <https://adsabs.harvard.edu/full/1978ApJ...225L.107R>. Acesso em: 20 jan. 2024.

RUBIN, V. C.; FORD, W. K.; THONNARD, N. Rotational Properties of 21 Sc Galaxies with a Large Range of Luminosities and Radii, from NGC 4605 (4 kpc) to UGC 2885 (122 kpc). **The Astrophysical Journal**, v. 238, p. 471–487, 1980. Disponível em: <https://adsabs.harvard.edu/full/1980ApJ...238..471R>. Acesso em: 20 jan. 2024.

RUBIN, V. C.; FORD, W. K.; THONNARD, N.; BURSTEIN, D. Rotational Properties of 23 Sb Galaxies. **The Astrophysical Journal**, v. 261, p. 439–456, 15 out. 1982. Disponível em: <https://adsabs.harvard.edu/full/1982ApJ...261..439R>. Acesso em: 20 jan. 2024.

SCHIEBINGER, L. Mais mulheres na ciência: questões de conhecimento. Apresentação de Maria Margaret Lopes. **História, Ciências, Saúde** – Manguinhos, Rio de Janeiro, v.15, supl., jun. 2008, p.269-281. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/hcsm/a/LZcRqYbsQR4cxYkgfCGyjyr/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 10 jan. 2024.

SCHUDEL, M. Vera Rubin, Astronomer Who Proved Existence of Dark Matter, Dies at 88. **Washington Post**, 26 dez. 2016. Disponível em: https://www.washingtonpost.com/national/vera-rubin-astronomer-who-verified-existence-of-dark-matter-dies-at-88/2016/12/26/545e617c-cb9d-11e6-a747-d03044780a02_story.html. Acesso em: 22 jan. 2024.

SCHWARZSCHILD, M. Mass Distribution and Mass-Luminosity Ratio in Galaxies. **The Astronomical Journal**, v. 59, p. 274–284, 1954. Disponível em: <https://articles.adsabs.harvard.edu//full/1954AJ.....59..273S/0000284.000.html>. Acesso em: 20 jan. 2024.

SMITH, S. The Mass of the Virgo Cluster. **Astrophysical Journal**, v. 83, no. 532, p. 23-30, 1936. Disponível em: <https://articles.adsabs.harvard.edu//full/1936ApJ....83...23S/0000023.000.html>. Acesso em: 19 jan. 2024.

STEIGMAN, G.; TURNER, M. S. Cosmological constraints on the properties of weakly interacting massive particles. **Nuclear Physics B**, v. 253, p. 375-386, 1985.

SWART, J. Closing in on the Cosmos: Cosmology's Rebirth and the Rise of the Dark Matter Problem. In: Blum AS, Lalli R., Renn J. The Renaissance of General Relativity in Context. **Einstein Studies**, v. 16, p. 1-28, 2019. Disponível em: <https://arxiv.org/pdf/1903.05281.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2024.

VANDEBURGH, W. L. Putting a New Spin on Galaxies: Horace W. Babcock, the Andromeda Nebula and the Dark Matter Revolution. **Journal for the History of Astronomy**, v. 45, p. 141–159, 2014.

VERA'S Challenge to Modern Cosmology. **James Peebles**, 2019. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=qhBdgX71uHk>. Acesso em: 22 jan. 2024.

YEAGER, A. J. **Bright Galaxies, Dark Matter, and Beyond**: The Life of Astronomer Vera Rubin. Londres, Inglaterra: The MIT Press, 2021. 212 p.

ZWICKY, F. On the Masses of Nebulae and of Clusters of Nebulae. **The Astrophysical Journal**, v. 86, p. 217–246, 1937. Disponível em: <https://articles.adsabs.harvard.edu//full/1937ApJ....86..217Z/0000217.000.html>. Acesso em: 20 jan. 2024.

ZWICKY, F. Republication of: The Redshift of Extragalactic Nebulae. **General Relativity and Gravitation**, v. 41, p. 207–224, 2009.

3 O UNIVERSO ESCURO PARA AS MULHERES: GÊNERO E CIÊNCIA NA TRAJETÓRIA DE VERA RUBIN NA ASTRONOMIA

RESUMO

Na historiografia tradicional da Ciência, elaborada a partir de uma visão androcêntrica e eurocêntrica, percebe-se a falta de relatos sobre as contribuições e trajetórias das mulheres cientistas. A recorrente ausência das mulheres nas narrativas mais “ingênuas” da História da Ciência acaba reforçando a visão amplamente difundida de que a produção intelectual é resultado dos esforços apenas de cientistas homens. Para contornar esse cenário, os estudos de Gênero e Ciência indicam a exploração de narrativas históricas que tenham como foco mulheres cientistas, como forma de apresentar suas contribuições e trajetórias científicas. No contexto da educação em ciências, o reconhecimento das identidades dessas personagens que protagonizaram a construção da Ciência ao longo do tempo possibilita que professores e alunos compreendam o papel da diversidade de pessoas no empreendimento científico. Nesse sentido, colaborando com as pesquisas em ensino de Física e Astronomia que se propõem em divulgar exemplos de mulheres cientistas cujas contribuições tiveram grande impacto para o progresso da Ciência, este artigo busca expor aspectos das relações de gênero que se manifestam na trajetória acadêmica da astrônoma estadunidense Vera Rubin, reconhecida por seus estudos sobre galáxias que forneceram evidências para a existência da matéria escura no Universo. A pesquisa biográfica é fundamentada em literatura primária, constituindo textos e entrevistas, e secundária como biografias sobre a cientista. A principal referência para o direcionamento das discussões sobre Gênero e Ciência é a historiadora Londa Schiebinger. Almeja-se, portanto, destacar e analisar criticamente as dificuldades estruturais que as mulheres enfrentam para se manterem no meio acadêmico e científico, indicando também possibilidades de caminhos para a reversão desse cenário.

Palavras-chave: História da Ciência; Mulheres na Ciência; Gênero e Ciência; Vera Rubin; matéria escura.

3.1 INTRODUÇÃO

Na historiografia tradicional da Ciência, elaborada a partir de uma visão androcêntrica e eurocêntrica, verifica-se que há uma ausência de relatos sobre as contribuições e trajetórias das mulheres (Chassot, 2004). O mundo da Ciência, como construto histórico-cultural, se estruturou em uma perspectiva quase exclusivamente masculina, através de discursos e práticas de exclusão ou negação do trabalho científico das mulheres (Silva, 2012). Os mecanismos para exclusão das mulheres ao longo do tempo consistiam sobretudo nos

processos formais que impediam por leis ou regulamentos o acesso das mulheres às universidades, pelos discursos científicos que, ao “naturalizarem” as diferenças entre homens e mulheres, determinavam os lugares sociais que os sujeitos deveriam ocupar de acordo com suas características biológicas, ou até mesmo pelos processos culturais de invisibilização de mulheres cientistas (Silva, 2012, p. 20).

As mulheres, mesmo que em maior ou menor representatividade, participaram ativamente da História da Ciência. De acordo com Rossiter (1982, p. 15), “o lugar subordinado historicamente às mulheres na ciência — e, portanto, a sua invisibilidade para até mesmo historiadores experientes da ciência — não foi uma coincidência e não foi devido a qualquer falta de mérito por parte delas”. Entretanto, a Ciência é ainda influenciada por estereótipos que se mostram na visão amplamente difundida de que a produção intelectual é resultado dos esforços apenas de cientistas homens (Chassot, 2004).

Os estudos sobre a história das mulheres na Ciência se tornaram mais frequentes ao longo da década de 1970 (Schiebinger, 2001). Estas pesquisas historiográficas forneciam relatos sobre os desafios enfrentados pelas mulheres para garantir o lugar de destaque na História da Ciência, de modo a aprofundar e ampliar o que se sabia das suas contribuições para o empreendimento científico. A inserção das mulheres no debate histórico aconteceu “em meio a um movimento das mulheres em maturação e numa época em que cada vez mais feministas assumiam posições de poder na História e na Ciência” (Schiebinger, 2001, p. 58). Logo, os Estudos Feministas foram determinantes para que houvesse a possibilidade de modificação da concepção tradicional para a História da Ciência.

Segundo Schiebinger (2001), a história das mulheres na Ciência evidencia que as instituições científicas, formadas através dos séculos, podem encorajar ou desencorajar a participação das mulheres; o sucesso das pesquisadoras é afetado por fatores interdependentes, como as oportunidades de estudo disponíveis e as circunstâncias históricas, políticas e econômicas; e, salienta que o processo pelo qual as mulheres passaram a fazer parte da História da Ciência foi marcado por ciclos de avanço e recuo, influenciados pelas condições sociais e pensamento em cada época.

As relações de Gênero e Ciência direcionam as pesquisas a evidenciarem as dinâmicas de opressão de gênero existentes nas práticas, ambientes e nos resultados científicos. A categoria de gênero permite não somente “entender a ciência e a história de determinada mulher cientista, mas também é uma ferramenta útil para escapar de escritas anedóticas e hagiográficas” (Santana, 2021, p. 64) sobre mulheres. Os autores García e Sedeño¹⁰ (2002, p. 4) salientam que, dessa forma, evita-se a propagação da ideia de que apenas mulheres "excepcionais" e "geniais" podem ingressar em carreiras científicas. Portanto, é essencial destacar que os fatores “sociais, econômicos, institucionais, culturais e políticos” (Schiebinger, 2001, p. 96) determinam as oportunidades e possibilidades de transposição de barreiras e restrições para as mulheres em cada época. Desse modo, deve-se escrever narrativas históricas nas quais os papéis significativos das mulheres na Ciência sejam destacados e como as relações de gênero, enquanto dinâmica de poder, influenciaram as experiências das mulheres cientistas, a formação do campo científico e a concepção da Ciência como corpo de conhecimento (Santana, 2021).

No Brasil, o debate sobre as mulheres nas ciências teve seu início nos anos 1970 – período que marca o início do movimento feminista brasileiro e maior acesso das mulheres no Ensino Superior no país – e permanece em pauta até hoje. Apesar da ampla disponibilidade de dados, ainda são insuficientes os indicadores sobre as relações de gênero (Aquino, 2006; Sarti, 2004; Schiebinger, 2008). Dentre as resistências à adoção dos estudos de Gênero e Ciência, pode-se citar as opiniões calcadas nas idealizações sobre a universalidade, neutralidade e objetividade da Ciência (Schiebinger, 2008).

Ademais, os estudos “desenvolveram-se em torno do problema de como aumentar o número de mulheres trabalhando em ciência” (Schiebinger, 2001, p. 40). O diferente número de homens e mulheres na Física e nas outras áreas da Ciência no país é um fato que, conseqüentemente, acarreta a escassez da

¹⁰ Os autores chamam atenção para o “Efeito Curie”, fenômeno que toma o exemplo da célebre família Curie, detentora da maior quantidade de prêmios Nobel = 5 membros foram laureados = para explicar que os estudos históricos devem considerar as circunstâncias familiares, sociais e econômicas que possibilitaram a ascensão das mulheres na Ciência (García; Sedeño, 2002). Para que as personagens não sejam sobrecarregadas com o peso do rótulo de gênios inalcançáveis, é importante destacar que muitas delas possuíam oportunidades extraordinárias, algo inacessível para a maioria das mulheres em suas épocas. Muitas eram filhas e esposas de cientistas, pertenciam à classe alta e contavam com uma série de outros fatores que facilitaram o envolvimento nas atividades científicas (García; Sedeño, 2002).

representatividade feminina na pesquisa científica (Cordeiro, 2017). Explicitar as raízes do problema da disparidade de gênero nas disciplinas das ciências atualmente é fundamental para a manutenção do interesse feminino e para se compreender as obrigações sociais implícitas na área.

Nesse sentido, conhecer a história de mulheres que contribuíram fortemente para as disciplinas científicas, bem como expor as adversidades a que foram submetidas é uma forma substancial de aproximar mulheres à Ciência, pois dessa maneira é possível estabelecer o reconhecimento e o sentimento de pertencimento ao grupo de pessoas que contribuíram ao desenvolvimento do conhecimento científico, e também, que haja o maior interesse feminino em fazer parte desse grupo. Em especial, na História da Ciência, existem vários exemplos de mulheres astrônomas que desempenharam papéis significativos para o avanço dos seus campos de estudo.

Em vista disso, Matthews (1995) argumenta a favor da promoção de discussões sobre Gênero e Ciência articuladamente à apresentação da História e da Filosofia da Ciência para que se tenha uma maior compreensão da Natureza da Ciência. Sabe-se que os conteúdos da Ciência são apresentados majoritariamente como produção do indivíduo “branco-heterossexual civilizado-do-Primeiro-Mundo, deixando-se de lado todos aqueles que escapam deste modelo de referência. Da mesma forma, as práticas masculinas são mais valorizadas e hierarquizadas em relação às femininas” (Rago, 1998, p. 4). Essa percepção evidencia um processo histórico que desconsidera o trabalho colaborativo de mulheres, latinos, africanos, orientais, entre outros no desenvolvimento científico e tecnológico, o que pode ser uma das causas para o distanciamento desses grupos das carreiras científicas (Lima, 2015).

Na educação em ciências, a redação de narrativas históricas que reforçam a identidade das personagens constitui uma importante ferramenta para que professores e alunos reconheçam os conteúdos da Ciência como produtos dos esforços da diversidade de pessoas envolvidas ao longo do tempo (Sepulveda; Silva, 2021). Em outras palavras, “a Ciência pode ser considerada como uma linguagem construída pelos homens e pelas mulheres para explicar o nosso mundo natural.” (Chassot, 2002, p. 91). Desse modo, em consonância com recentes pesquisas em ensino de Física e Astronomia (Pires, 2019, 2022; Lima, 2015; Maia

filho; Silva, 2019; Santana; Pereira, 2021; Vieira; Massoni; Alves-Brito, 2021) que trazem à tona histórias de mulheres nas disciplinas científicas e discutem as situações de sexismo; as discriminações; dificuldades e obstáculos experienciados pelas cientistas, este artigo tem o objetivo de promover discussões sobre Gênero e Ciência a partir da trajetória científica da astrônoma estadunidense Vera Rubin. A história de Vera Rubin se distingue pelo fato de que a cientista protagonizou um dos episódios mais importantes para a Astronomia ao longo do último século: a descoberta da matéria escura. Além disso, Rubin sempre manteve-se firme quanto ao seu ativismo pela igualdade das mulheres na Ciência. Em um de seus ensaios, Vera (1996, p. 176) escreveu que “Existem estilos extremamente diversos de fazer ciência, e a variedade aumentará à medida que a Ciência se tornar mais igualitária”. Portanto, define-se como problema de pesquisa: “Quais discussões sobre os desafios enfrentados pelas mulheres no meio acadêmico e científico podem ser levantadas a partir de aspectos da trajetória de Vera Rubin na Astronomia?”.

A redação do texto que traz os aspectos da vida acadêmica de Vera Rubin baseou-se em literatura primária, na forma de um livro de ensaios autobiográfico, e literatura secundária, consistindo em duas biografias sobre a astrônoma. Adotando como principal fonte para a investigação das relações de gênero a obra da historiadora da Ciência Londa Schiebinger (2001, 2008). A escolha pelos estudos do campo de Gênero e Ciência da autora Schiebinger é motivada pelo quadro de referência que ela propõe para a análise da teoria e prática no mundo da Ciência no contexto norte-americano no sentido de desenvolver mecanismos para a igualdade das mulheres. Para tanto, são adotados três níveis de análise, a saber: participação das mulheres na Ciência; gênero nas culturas da Ciência; e gênero nos resultados da Ciência (Schiebinger, 2008).

Em um de seus trabalhos, Schiebinger (2008) reflete sobre o cenário das políticas de incentivo à igualdade para as mulheres no mundo da Ciência nos Estados Unidos e os desafios ao estudo feminista sobre o papel do gênero nas ciências, tendo como premissa compreender de modo aprofundado como o gênero se expressa na Ciência e na sociedade. Levando em conta que a cientista Vera Rubin é estadunidense e está inserida mais no contexto de produção científica no país de origem, vê-se oportuno recorrer às informações levantadas pela historiadora

para elucidar pontualmente a situação das mulheres intelectuais contemporâneas à Rubin nos Estados Unidos.

3.2 BREVES ASPECTOS BIOGRÁFICOS DE VERA RUBIN

Vera Cooper Rubin (1928-2016) nasceu na cidade de Filadélfia, nos Estados Unidos. Foi uma criança curiosa com o Universo, que aos 15 anos construiu seu próprio telescópio e admirava a astrônoma Maria Mitchell¹¹ (Rubin, 1996). Fez seu Ensino Médio no colégio *Coolidge High School* e seguiu carreira na Astronomia, obtendo em 1948 o diploma de licenciatura pela *Vassar College*¹², em 1951 o mestrado pela Universidade Cornell e o doutorado em 1954 pela Universidade de Georgetown. Em 1965, no pós-doutorado, começou a fazer parte do Departamento de Magnetismo Terrestre da Instituição Carnegie de Washington, onde em conjunto com seus colegas de pesquisa, pôde investigar aspectos do Universo que resultaram em descobertas surpreendentes (Rubin, 1996).

Figura 5 – Vera Rubin no Vassar College em 2005 em frente a um busto de Maria Mitchell



Fonte: Mitton; Mitton (2021, p. 295).

¹¹ Maria Mitchell foi a primeira astrônoma profissional dos Estados Unidos. Quando o *Vassar Female College* foi inaugurado em 1865, Mitchell foi a primeira professora de Astronomia e diretora do Observatório, embora não tivesse diploma universitário. Para Vera Rubin a história de Maria Mitchell era uma parte emocionante da tradição do passado científico do seu próprio país, tornando-se um símbolo da emergência das mulheres no mundo público da Ciência (Rubin, 1996).

¹² Faculdade de ensino e de artes liberais para mulheres, localizada em Poughkeepsie nas proximidades da cidade de Nova York.

No ano de 1965, Rubin foi a primeira mulher a possuir autorização para fazer suas observações no Observatório Palomar¹³. No decorrer da sua carreira científica, participou de diversos conselhos editoriais e científicos e escreveu quase 200 artigos na área da Astronomia (Rubin, 1996). Vera Rubin é reconhecida principalmente por seus estudos pioneiros sobre a estrutura das galáxias, movimentos dentro das galáxias e movimentos em grande escala no Universo, bem como pelos seus resultados surpreendentes que ajudaram a convencer os astrônomos de que a matéria escura é um ente real que compõe o Universo. A primeira pessoa a sugerir a existência da matéria escura como forma de explicar a dinâmica das galáxias nos aglomerados foi o astrônomo Fritz Zwicky ao longo da década de 1930. Por volta de 1960, Rubin e seu colaborador de pesquisa, o físico e astrônomo Kent Ford, iniciaram uma investigação semelhante, na busca pela compreensão do movimento das estrelas e das nuvens de gás que giram ao redor do centro das galáxias (Mitton; Mitton, 2021).

A intenção da pesquisa não era oferecer provas da existência da matéria escura, mas como consequência dos resultados, os cientistas encontraram fortes evidências de que as galáxias estão imersas em halos de matéria escura em uma quantidade maior¹⁴ que de todas as partículas de matéria comum em estrelas e nuvens de gás juntas. A credibilidade dos resultados observacionais e o que eles implicavam fizeram que até os cientistas mais críticos à possibilidade da existência desse novo tipo de matéria se convencessem, especialmente em meio aos avanços da Astrofísica teórica e da radioastronomia que aconteciam quase na mesma época. Atualmente a matéria escura é indetectável aos instrumentos disponíveis, mas sabe-se que seus efeitos gravitacionais agem sobre o tipo comum de matéria e que é um dos componentes essenciais para a compreensão da natureza, origem e evolução do Universo.

Prêmios importantes foram entregues à pesquisadora como forma de reconhecer suas contribuições para a Ciência. Alguns deles foram: o Prêmio

¹³ O Observatório Palomar está localizado em San Diego e pertence ao Instituto de Tecnologia da Califórnia (Caltech). Rubin foi a primeira mulher legalmente autorizada a realizar suas observações no local, que proibia as cientistas de realizarem suas pesquisas alegando que não possuía instalações sanitárias adequadas para a presença de mulheres (Rubin, 1996).

¹⁴ Hoje em dia sabe-se que a proporção é cerca de 9 vezes mais matéria escura no Universo que matéria ordinária, visível ou bariônica (Ferrerias, 2019).

Dickson de Ciência da Universidade Carnegie Mellon e o Prêmio Weizmann Mulheres e Ciência em 1994 e 1996, respectivamente; e a Medalha de Ouro da *Royal Astronomical Society* de Londres em 1996 (Rubin, 1996). Em 1993 o Presidente dos Estados Unidos, Bill Clinton, concedeu-lhe a Medalha Nacional de Ciência e nomeou-a membro do comitê da honraria dois anos depois.

Além das imensas contribuições de Vera Rubin para o conhecimento científico, durante toda a sua vida profissional, a cientista foi ativista no que se refere ao avanço da causa das mulheres na Ciência. Nas palavras da astrônoma Jocelyn Bell Burnell, “ela foi pioneira em dois aspectos: detectando a presença de matéria escura através da forma como as galáxias giram; e defendendo o reconhecimento e a inclusão das mulheres na Astronomia.” (Burnell, 2021, p. 7).

3.3 DISCUSSÕES SOBRE GÊNERO E CIÊNCIA A PARTIR DA TRAJETÓRIA ACADÊMICA DE RUBIN

Em uma conferência intitulada “O Recrutamento e Retenção de Mulheres na Física” e patrocinada pela Associação Americana de Professores de Física, pelo Instituto Americano de Física e pela Sociedade Americana de Física nos anos de 1990, a astrônoma Vera Rubin foi convidada para discursar aos 148 físicos presentes, dos quais apenas 19 eram mulheres. O evento tinha como propósito discutir questões sobre a experiência das mulheres que estudam Física nas universidades (Forman, 1991). Rubin compartilhou ao público três pressupostos que exprimem sua visão sobre o tema: não há problema na ciência que possa ser resolvido por um homem mas que não possa ser resolvido por uma mulher; em todo o mundo, metade de todos os cérebros pertencem às mulheres; todos precisamos de permissão¹⁵ para fazer ciência, mas por razões profundamente enraizadas na História, esta permissão é concedida mais frequentemente aos homens do que às mulheres (Rubin, 1996).

Rubin expõe que, para uma pessoa ascender em sua carreira profissional, ela precisará de apoio ao longo da sua trajetória, seja por: pais, professores, funcionários da academia, responsáveis por financiamento, mentores e colegas. Os

¹⁵ A palavra em língua inglesa “*permission*”, como proferido no discurso da cientista, foi traduzida para “permissão”, contudo, cabe ao leitor deste artigo refletir sobre o uso do termo.

estímulos ao acesso e permanência das mulheres no campo científico envolvem além do interesse pessoal pela Ciência, as influências das pessoas próximas, os valores familiares favoráveis à educação e o apoio concedido às mulheres pelas instituições. Ao longo de suas vidas, as mulheres cientistas se deparam com determinadas expectativas culturais que podem propiciar seu afastamento do ambiente científico e assim “mesmo mulheres que se distinguiram na Ciência sofrem às vezes de uma forma de auto-dúvida” (Schiebinger, 2001, p. 124).

Destacar a disparidade de gênero em ambientes profissionais foi uma das esferas nas quais ela se envolveu ativamente, exercendo uma pressão implacável. Rubin, assim como inúmeras outras mulheres que foram desencorajadas quando alunas, ainda no Ensino Médio, escutou do seu professor de Física: “Enquanto você ficar longe da Ciência, você deve se sair bem” (Rubin, 1989, n.p). Comentários como esse escancaram a consequência de que “por serem submetidas a cerrado escrutínio, as mulheres desenvolvem padrões extremamente altos como um pré-requisito para ingressar e permanecer na Ciência, sentindo às vezes que devem ser mais brilhantes que os homens.” (Schiebinger, 2001, p. 126). Na tentativa de entrar no programa de pós-graduação da Universidade de Princeton, recebeu como resposta “Não admitimos mulheres na pós-graduação em Astronomia” (Rubin, 1996, p. 183). A universidade só passou a aceitar mulheres na pós-graduação em Física em 1971 e em Astronomia no ano de 1975.

Desde os tempos de Guerra Fria, os Estados Unidos buscam aumentar a participação da população de homens e mulheres na Ciência. Entre as décadas de 1960 e 1970 foram criadas leis para a igualdade das mulheres, como: a Lei da Remuneração Igual; a Lei da Oportunidade Igual de Emprego e a tentativa de aplicação do Título IX — que protege as pessoas contra a discriminação de gênero — das emendas para a educação à Ciência, para aumentar o número de mulheres e minorias na área (Schiebinger, 2008). Com a posterior admissão ao ingresso em faculdades e universidades, percebeu-se, ao longo dos anos, uma crescente participação das mulheres na Ciência, o que é uma forte motivação para o estudo das relações de gênero nesse contexto e remete ao nível de análise da participação das mulheres na Ciência.

Por volta da década de 1960, ao longo do seu estudo das galáxias no Observatório Palomar, Rubin experienciou de perto os efeitos da discriminação de

gênero. A cúpula do telescópio em que trabalhou continha apenas um banheiro exclusivamente para homens. Na forma de protesto, Rubin desenhou uma mulher de saia e colou na porta do mesmo banheiro¹⁶ (Yager, 2021). Tal ocorrido foi apenas o início das acontecimentos que culminaram no seu ativismo pela equidade das mulheres na Astronomia.

Em 1964, Rubin foi convidada pelo Instituto Americano de Física a realizar visitas às escolas como forma de convencer jovens alunos de que as mulheres poderiam ter sucesso na Física. Embora a cientista tenha comparecido a algumas escolas para apresentar sua pesquisa sobre a Via Láctea, ela observou que nessas ocasiões “nunca houve qualquer contato com professores ou diretores, ou qualquer discussão sobre Ensino de Ciências, Mulheres na Ciência, ou algo semelhante” (Mitton; Mitton, 2021, p. 272). No início da década de 1970, a Sociedade Astronômica Americana (AAS), a partir de uma coleta de indicadores de gênero na Sociedade, identificou que tinha-se a menor porcentagem de mulheres até então; que nenhuma mulher alguma vez havia assumido sua presidência; que apenas duas mulheres foram vice-presidentes, em comparação com cinquenta e oito homens no cargo, e o único prêmio que as mulheres haviam recebido até então era o prêmio Annie Jump Cannon¹⁷, concedido especificamente às mulheres (Yager, 2021).

A presença das mulheres nas premiações científicas é um importante indicador para a problematização das relações de Gênero e Ciência. Na História da Ciência são vários os exemplos de mulheres notáveis que foram reconhecidas apenas tardiamente, décadas após suas realizações (Rossiter, 1982). O reconhecimento e as premiações científicas garantem poder e prestígio na comunidade, o que leva ao reflexo da segregação hierárquica pela sub-representação das mulheres nas áreas científicas e tecnológicas (Santana, 2021). As relações de gênero se manifestam, em última análise, nos resultados da Ciência e implicam na necessidade de reformulação atitudinal da sociedade e das instituições científicas, que por tanto tempo não reconheceram devidamente ou forneceram oportunidades adequadas às mulheres. Isso porque, as ações baseadas

¹⁶ O desenho permaneceu na porta nos quatro dias em que ela esteve no observatório, mas quando voltou um ano depois já não estava mais.

¹⁷ A astrônoma estadunidense Annie Jump Cannon (1863-1941) estabeleceu o sistema espectral de Harvard (1912) com o qual classificou os espectros de mais de 350 mil estrelas e revolucionou a forma como os cientistas as classificavam (Lee, 2020).

no gênero há muito tempo vêm estruturando o conhecimento e, por consequência, perpetuam a exclusão das mulheres de diferentes maneiras das disciplinas científicas.

As diferenças de gênero historicamente atribuídas às mulheres não podem servir de base epistemológica a novas teorias e práticas nas ciências [...] não existe um “estilo feminino” nem “maneiras de conhecimento das mulheres”, mulheres não fazem ciência de um modo diferente (Schiebinger, 2008, p. 275). Apesar de ser importante a existência de prêmios que reconheçam o mérito das pesquisas das cientistas e que talvez de outra forma — em premiações para homens e mulheres — não fossem concedidos à elas, devemos nos fundamentar em uma vertente feminista que não acabe reproduzindo os estereótipos convencionais de homens e mulheres, como é o caso do “feminismo da diferença”. Difundido na década de 1980, e expressando a noção de que a necessidade de inclusão de mais mulheres na pesquisa é decorrente delas fazerem ciência de uma maneira diferente, por possuírem valores e por pensarem de forma diferente, o que caracteriza uma ideia abertamente sexista, que acaba romantizando a atribuição de feminilidade imposta às mulheres. Se queremos de fato avançar, essa não pode ser a base epistemológica de uma nova teoria e prática na ciência.

Em 1972, Rubin foi convidada a dar uma palestra à Sociedade Filosófica de Washington, organização de educação científica que promovia eventos para os pesquisadores compartilharem seus trabalhos recentes, no prestigiado *Cosmos Club*¹⁸. No local, as mulheres não podiam entrar pela porta da frente, apenas pela porta lateral do local, demonstrando um fator de exclusão aos espaços pelo simples fato de serem mulheres. Mesmo indignada com essa condição, Rubin apresentou seu trabalho “*More than you ever wanted to know about the Andromeda Galaxy*” — do inglês “Mais do que você jamais quis saber sobre a Galáxia de Andrômeda” — sobre galáxias aos pares (Yager, 2021). Mais tarde, ao lembrar o ocorrido, ela disse que “não aceitaria mais a prática discriminatória de ser forçada a usar uma entrada especial” (Mitton; Mitton, 2021, p. 280). O clube passou a admitir as mulheres efetivamente somente após ameaça por ação legal da Lei

¹⁸ O clube social privado “*Cosmos Club*”, fundado em 1878, era o local de encontro para o compartilhamento de estudos, conversas e cultura pelas comunidades acadêmicas, profissionais e políticas na capital federal dos Estados Unidos (Cosmos Club, 2022).

antidiscriminação de Washington em 1988¹⁹. Isso fez com que Rubin passasse a assumir a postura em público, por meio de discursos e palestras, de falar repetidamente sobre o sexismo e falta de representatividade de mulheres, especialmente na Ciência.

Em 1973, Rubin participou da elaboração de um relatório²⁰ para a AAS que apresentava dados estatísticos detalhados para evidenciar que “as mulheres astrônomas enfrentam maiores obstáculos em quase todos os aspectos [quantidade de membros na AAS; cargos e salários; produtividade em pesquisa; presença em cursos de pós-graduação] das suas carreiras profissionais do que os seus colegas homens” (Cowley *et al.*, 1974, p. 422). Constatando ainda que, as nomeações femininas para o corpo docente das 28 universidades investigadas era consideravelmente inferior às dos homens; os salários das mulheres casadas eram mais baixos; a maior parte das que possuíam doutorado em Astronomia ocupavam cargos de menor prestígio e sem estabilidade em comparação com os membros homens, reflexo provavelmente da discriminação sexual na contratação. Somam-se a isso diferenças no acesso à publicação de artigos nas melhores revistas, mesmo que as mulheres tivessem a mesma produtividade que os homens, provavelmente por se sentirem desencorajadas a tentarem a submissão ou por pensarem que seus estudos eram insuficientemente relevantes para o aceite.

O Conselho da AAS reconheceu esses resultados, aceitando o relatório por unanimidade, endossando publicamente a opinião de que “a comunidade astronômica só pode ser enriquecida pelo emprego e aceitação de mulheres como colegas” (Cowley *et al.*, 1974, p. 422). Uma grande conquista para as mulheres astrônomas nessa conjuntura. Esses resultados reforçam que o gênero nas culturas da Ciência também se faz presente nas práticas de contratação e de retenção nas universidades e nas carreiras no meio acadêmico (Schiebinger, 2008). É necessário, portanto, que sejam promovidas culturas acadêmicas em que as mulheres possam ser atuantes e que assumam papéis de destaque.

¹⁹ A Lei, reconhecida e declarada como um direito civil, assegura as pessoas de estarem livres de discriminação por causa de raça, credo, cor, origem, sexo, orientação sexual ou presença de qualquer deficiência (Washington State Legislature, 1988).

²⁰ O relatório intitulado “*Report to the council of the AAS from the working group on the status of women in astronomy - 1973*” — do inglês, “Relatório ao conselho da AAS do grupo de trabalho sobre a situação da mulher na Astronomia - 1973” — pode ser acessado pelo link: <https://adsabs.harvard.edu/full/1974BAAS...6..412C>.

Rubin salienta que um dos obstáculos enfrentados pelas mulheres é a própria linguagem utilizada como discurso estruturante na Ciência. Em uma carta²¹ ao editor da revista *Physics Today* publicada em 1978, ela escreveu que embora os esforços para incluir as mulheres aumentassem, a linguagem utilizada refletia que a Ciência era uma área com clara demarcação de gênero (Rubin, 1978). Constatando que a linguagem deveria ser mais inclusiva, para demonstrar que qualquer pessoa, independentemente do seu gênero, poderia fazer Ciência. A cientista concluiu que para uma Ciência mais inclusiva “mudanças na linguagem podem ter que liderar o caminho” (Rubin, 1978, p. 15). Para a mesma revista, alguns anos mais tarde, Vera Rubin comentou um artigo²² que instruía os investigadores sobre como dar palestras, dirigindo as instruções apenas aos homens. Aparentando que, quando o pronome feminino aparece no texto refere-se especificamente a uma bailarina caindo de cara no chão (Figura 5), em inglês:

Male world of Physics? I would hope that if Karl Darrow were addressing the APS today, he would recognize that not all physicists are male. After seven paragraphs of instructions to male speakers to a male audience, he finally introduces a female pronoun: ‘It may be instructive to see a dancer fall on her face, pick herself up, and resume her part in the ballet, but for practically everyone else it is acutely embarrassing.’ In the male world of Physics of Darrow, presumably only females fall on their faces. And even the editorial comment accompanying the article calls his instructions ‘as appropriate today as they were when they were written.’ At least the falling dancer could have been male (Rubin, 1982, p. 121).²³

Criticando o artigo, Vera comentou que “no mundo masculino da Física [...] presumivelmente apenas as mulheres caem de cara no chão” (Rubin, 1982, p. 121).

²¹ A carta intitulada “Sexism in Science” — do inglês “Sexismo na Ciência” — publicada na revista *Physics Today* em 1978 pode ser acessada pelo link: <https://pubs.aip.org/physicstoday/article-abstract/31/1/15/431745/Electron-beam-fusion?redirectedFrom=fulltext>.

²² O artigo “How to Address the American Physical Society” — do inglês, “Como discursar à Sociedade Americana de Física” — do físico Karl Darrow, publicado na revista *Physics Today* em 1951 e republicado em 1961 e 1981, pode ser acessado pelo link: <https://users.physics.ox.ac.uk/~lvovsky/597/Darrow.pdf>.

²³ “Mundo masculino da Física? Espero que, se Karl Darrow discursar hoje na APS, reconheça que nem todos os físicos são homens. Depois de sete parágrafos de instruções de oradores masculinos para um público masculino, ele finalmente introduz um pronome feminino: ‘pode ser instrutivo ver uma bailarina cair de cara no chão, levantar-se e retomar seu papel no balé, mas para praticamente todo mundo é extremamente embaraçoso.’. No mundo masculino da Física de Darrow, presumivelmente apenas as mulheres caem de cara no chão. E mesmo o comentário editorial que acompanha o artigo chama suas instruções de ‘tão apropriadas hoje quanto eram quando foram escritas.’. Pelo menos o bailarino que caiu poderia ser um homem.” (Rubin, 1982, p. 121, tradução própria).

Figura 6 – Trecho do comentário crítico feito por Vera Rubin para a revista *Physics Today* publicada em 1982

Male world of physics?

I would hope that if Karl Darrow were addressing the APS today, he would recognize that not all physicists are male. After seven paragraphs of instructions to male speakers to a male audience, he finally introduces a female pronoun: "It may be instructive to see a dancer fall on her face, pick herself up, and resume her part in the ballet, but for practically everyone else it is acutely embarrassing." In the male world of physics of Darrow, presumably only females fall on their faces. And even the editorial comment accompanying the article calls his instructions

"as appropriate today as they were when they were written." At least the falling dancer could have been male.

VERA C. RUBIN

Carnegie Institution of Washington

1/82

Washington, D. C.

Fonte: Rubin (1982, p. 121).

Em vista disso, pode-se discutir como a cultura de consumo dos Estados Unidos valoriza as imagens que, de modo geral, projetam expectativas sobre como a sociedade imagina que deve ser um cientista. Como resultado de uma pesquisa iconográfica feita no final dos anos 1990 no país, percebeu-se que quando estimulados a "desenhar um cientista", 70% dos alunos desenhavam homens, cerca de 16% desenhavam cientistas que eram claramente mulheres e 14% faziam desenhos ambíguos com relação ao sexo, sendo que os cientistas foram majoritariamente descritos como caucasianos (Schiebinger, 2008). As suposições e valores não declarados pelos seus membros, ainda que reclamem para si uma suposta objetividade e neutralidade científica são expressões de gênero nas culturas da Ciência. Ao contrário disso, as culturas são identificáveis e trazem costumes e hábitos que se desenvolveram ao longo do tempo, não contando com a participação das mulheres e até mesmo se opondo à participação delas. As culturas da Ciência

foram elaboradas por profissionais em sua maioria homens e estabeleceram os rituais cotidianos, os códigos que regem a linguagem, os modos de interação, as hierarquias de valores e as práticas, entre outros aspectos (Schiebinger, 2008).

Desse modo, levando em conta o poder das imagens para a projeção de sonhos e esperança, aparências e comportamentos, vê-se ainda mais necessário tornar evidentes aquelas mulheres cientistas que trouxeram grandes contribuições para a Física e até hoje são invisibilizadas. O cientista em nossa sociedade é imaginado com características específicas que são influenciadas pelas concepções dos papéis de gênero, assim como, tradicionalmente, quando estimulados a “desenhar um cientista”, a grande maioria dos alunos o representa como homem, a imagem do cientista para o autor do artigo — considerando-se os pronomes que ele optou por utilizar — também é de um homem, enquanto de quem cometeria o erro de cair com a cara no chão seria de uma mulher, uma suposição de cunho notoriamente sexista.

No início dos anos 1980, a Academia Nacional de Ciência (NAS) e a Academia Nacional de Engenharia (NAE) fundaram programas que visavam impulsionar as carreiras das mulheres nessas áreas por meio da alocação de verbas extraordinárias para pesquisa (Schiebinger, 2008). Rubin tornava-se cada vez mais influente após a sua eleição para a NAS, passando a fazer parte da pequena minoria de mulheres membros da organização científica de maior prestígio dos Estados Unidos, foi convidada para participar de painéis, comitês e conselhos, e intensificou a sua luta pela igualdade de gênero (Mitton; Mitton, 2021).

As preocupações de Vera iam além da Astronomia e abrangiam toda a Ciência e sua relação com a sociedade em geral. No ano de 1981 o Congresso dos Estados Unidos aprovou uma lei que exigia que a *National Science Foundation* enviasse a cada dois anos um relatório estatístico sobre a participação de mulheres e minorias nas Ciências e Engenharias. Como parte da resposta que essa importante agência de financiamento federal deu à crescente pressão política e social, foi criado o programa de Professora Visitante para Mulheres em Ciência e Engenharia. Rubin se candidatou ao cargo de professora visitante e informou que além da docência “também estaria disponível para fornecer aconselhamento e orientação para mulheres em todos os níveis.” (Mitton; Mitton, 2021, p. 287). Essa ação sinalizou a compreensão gradual das organizações de que a desigualdade

entre homens e mulheres era um problema para a própria Ciência e não apenas para os indivíduos afetados.

Em 1982, Rubin se juntou a uma multidão de mulheres na *Lafayette Square*, em frente à Casa Branca para um comício patrocinado pela Organização Nacional para Mulheres, exigindo a ratificação como lei da proposta da 27ª emenda à Constituição dos Estados Unidos, conhecida como Emenda de Direitos Iguais, que declarou intransigentemente que “a igualdade de direitos perante a lei não deve ser negada ou restringida pelos Estados Unidos ou por qualquer estado por causa do sexo” (Paul, 2018, n.p). À primeira vista, trazia-se um apelo de urgência à justiça social mas ainda havia muitas pessoas que temiam as consequências de perturbar as convenções estabelecidas e, por isso, o número de Estados ratificantes foi abaixo do total necessário para tornar a emenda como lei (ERA, 2018). A AAS estava entre as muitas organizações profissionais que se recusaram a realizar reuniões em estados que não tinham ratificado a proposta (Burbidge, 1978). Alguns opositores a essa decisão protestavam que a sociedade estava se desviando muito longe de assuntos astronômicos para assuntos políticos e sociais.

A criação de leis é um importante mecanismo para a equidade entre homens e mulheres, bem como, a distribuição de verbas extraordinárias de agências de fomento para as pesquisas desenvolvidas por mulheres, para que se tornassem mais competitivas no mundo masculino (Schiebinger, 2008). Pois a competitividade é uma característica normalmente associada a homens dentro da cultura científica em que as mulheres também fazem parte.

As instituições voltadas para o avanço da Ciência estadunidenses demoraram a perceber de maneira equivalente as questões levantadas pelas mulheres. Dentre elas, a União Astronômica Internacional (IAU), que em 1990 seu Secretário Geral Derek McNally discorreu explicitamente “se considera um órgão dedicado à promoção da ciência astronômica e, nesta medida, tem tentado não ultrapassar os limites das questões de interesse social”, completando que o estatuto das mulheres na astronomia era um “problema essencialmente social” (Mitton; Mitton, 2021, p. 288). A hesitação da IAU em abandonar sua postura conservadora provavelmente foi decepcionante para Vera Rubin, que participou da instituição por muitos anos, incluindo a presidência da sua Comissão sobre Galáxias entre 1982 e 1985. Além disso, ela ajudou a organizar uma sessão especial intitulada “Mulheres

em todo o mundo na Astronomia” durante a Assembleia Geral da IAU de 1988 (Rubin, 1988).

A proposta de Rubin foi apresentada ao comitê executivo pleno da IAU, com a exigência de que “não houvesse interferência entre esta sessão 'especializada' e qualquer uma das reuniões científicas.” (Mitton; Mitton, 2021, p. 288). O relatório formal da sessão não foi incluído nas publicações oficiais da IAU, mas Vera Rubin e o presidente da comissão foram coautores de um relato dela na revista da Sociedade Astronômica do Pacífico. O relatório documentava que as mulheres enfrentavam muitos problemas em comum, como: discriminação, que mesmo não sendo mais tão evidente como no passado ainda persistia; tinham suas capacidades, responsabilidades e contribuições subestimadas quando comparado aos seus colegas homens; e os preconceitos da sociedade seguiam sendo perpetuados através do sistema científico e educacional (Rubin, 1988). E ainda, que a sessão contou com uma boa quantidade de participantes e que os organizadores ficaram satisfeitos com o sucesso, sondando a possibilidade de que fosse realizado um evento semelhante numa outra Assembleia Geral da IAU.

A justificativa dada pela IAU ao não aderir ativamente à luta pela igualdade das mulheres astrônomas, baseia-se numa visão positivista ingênua da Ciência ocidental, admitida por expressiva parcela da população, que a atribui universalidade, acima da diversidade cultural humana. Todavia, a Ciência não é uma atividade neutra e imparcial, ao contrário disso, as “desigualdades de gênero construídas das instituições científicas influenciaram o conhecimento nelas produzido.” (Schiebinger, 2008, p. 174). De um modo geral, há uma certa dificuldade em aderir a análise de gênero às ciências físicas, que resistiram e ainda resistem. Diversos são os motivos para que isso aconteça. Tal desinteresse pode ser causado pelo fato de que, à primeira vista, os objetos e os processos que concernem à Física não serem explicitamente sustentados no gênero, parecendo não desempenhar nenhum papel na disciplina (Schiebinger, 2008). Mas para que isso seja realmente compreendido, deve-se aliar a análise de gênero às rotinas científicas.

No caminho para isso, há uma série de ações às quais os cientistas podem se dedicar. É essencial que os alunos e professores sejam treinados a integrar a análise de gênero em suas pesquisas desde a etapa de planejamento e que continuem sendo reunidos exemplos de como a análise de gênero transformou a

teoria e a prática em subcampos da ciência (Schiebinger, 2008). Diante do exposto, são depreendidos alguns dos motivos das narrativas históricas sobre mulheres cientistas serem pouco exploradas em disciplinas relacionadas às Ciências, especialmente na Física e que mudanças nesse cenário são urgentes.

As discussões sobre o papel das mulheres na Astronomia por muito tempo foram desprezadas pela IAU, que argumentava serem questões pertencentes ao campo da política e não científicas. Essa busca por assegurar um caráter aparentemente apolítico das sociedades científicas internacionais acabava culminando no descaso às ações que poderiam proteger os direitos do grupo de astrônomas. Em uma Assembleia Geral, desafiando a posição da IAU, Rubin juntamente a outros dois colegas declararam que: “Nós acreditamos que as medidas que aumentarão o número de mulheres na Astronomia e suas participações em atividades astronômicas em todo o mundo são assuntos legítimos de preocupação para a IAU.” (Mitton; Mitton, 2021, p. 289).

Por volta do final da década de 1980, Vera Rubin agia ativamente em campanhas com o objetivo de tornar as mulheres na Ciência visíveis e influentes aos mais altos níveis de cargos em suas carreiras. Em 1989, Rubin foi nomeada membro do Conselho Nacional de Pesquisa (NRC) para Física e Astronomia, parte operacional da NAS. Como única mulher membro, Rubin enviou uma carta ao presidente do conselho na qual anexava um artigo citando dados que apoiavam seu argumento de que os comitês, exclusivamente masculinos, perpetuavam a baixa participação das mulheres e as consequências do fracasso da NAS em fazer algo a respeito (Mitton; Mitton, 2021). Por conseguinte, incitando o conselho de Física e Astronomia a liderar uma mudança de comportamento a respeito do assunto, mas sua intervenção não produziu o resultado que esperava.

No ano seguinte, Rubin redigiu novamente uma carta sobre o assunto e convocou as outras mulheres membros da NAS a fazerem o mesmo. A resposta que recebeu foi a entrega da carta aos vários conselhos e comissões, e aos presidentes de seção, para que o tema fosse colocado na agenda de discussões da reunião mais próxima. Apesar disso, poucas mudanças ocorreram. Na contexto da época, por volta dos anos 1990 nos Estados Unidos, o Comitê das Academias sobre Mulheres na Ciência e na Engenharia (CWSE) colaborou em parceria com o Congresso e as universidades na formulação de uma política direcionada para

apoiar as carreiras das mulheres; aumentar a representatividade feminina na Ciência; ampliar o financiamento para pesquisas lideradas por mulheres e oferecer orientação para reivindicação de salários mais justos (Schiebinger, 2008).

Como forma de protesto à indiferença às suas várias tentativas de contestação aos números sobre a participação das mulheres, em 1996, ela recusou o convite para ser membro do comitê da NAS intitulado Mulheres na Ciência e na Engenharia. Sua opinião era de que:

Enquanto os problemas das “Mulheres em...” forem problemas das mulheres, duvido que melhorem. Tem que ser um problema de todos. Mas em todos os comitês em que sirvo, é apenas a mulher que levanta os problemas das mulheres. Então, se você puder transformar isso em um problema da NAS, que certamente é liderada por um homem que realmente se importa, algum progresso poderá ser feito (Mitton; Mitton, 2021, p. 294).

Quando Vera Rubin estava estava com quase 80 anos, em 2007, as Academias Nacionais finalmente abordaram a questão de forma categórica ao apresentarem um extenso relatório elaborado pelo comitê para a Maximização do Potencial das Mulheres nas Ciências Acadêmicas e na Engenharia (National Academy of Sciences *et al.*, 2007). A conclusão de Vera com o feito foi que “As mudanças políticas só serão sustentáveis se criarem uma 'nova normalidade', uma nova forma de fazer as coisas [...] A situação atual é insustentável e inaceitável.” (Mitton; Mitton, 2021, p. 295). Algumas mudanças realmente ocorreram, aumentou em número recorde o percentual de novos membros e associados mulheres na Academia Ciências em 2019, mas ainda não em paridade de gênero.

Na trajetória de Rubin na Ciência, ela sempre apresentou uma posição indagadora frente à situação discriminatória em que as mulheres se encontravam ao trabalharem na área, e ainda, formulava alternativas com os recursos que tinha a disposição para que outras mulheres cientistas fossem capazes de exercerem seus potenciais nas mesmas condições que seus colegas homens. Aliando a isso, o sentimento de indignação àquela realidade, que a manteve persistente e com um claro senso de propósito em suas ações. A gratidão daquelas mulheres que de alguma forma foram impactadas diretamente, pode ser resumida pelo que disse a astrônoma Wendy Freedman em uma carta destinada a Rubin em 1986: “Obrigado por falar. Muitas vezes tenho a sensação de que se as coisas são mais fáceis para

mulheres como eu, é porque mulheres como você dedicaram tempo e energia para ajudar a tornar isso assim.” (Mitton; Mitton, 2021, p. 296).

3.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A Ciência moderna se originou ao longo de séculos de exclusão feminina. Dado que as disciplinas científicas se desenvolveram simultaneamente à sub-representação das mulheres e demais minorias, rigorosamente excluídas dos ambientes acadêmicos e, conseqüentemente, não podendo participar da construção pública e institucionalizada da Ciência. Ou seja, as “desigualdades de gênero, construídas nas instituições científicas, influenciaram o conhecimento nelas produzido” (Schiebinger, 2008, p. 274).

A cultura em que estamos inseridos, ultrapassa as instituições, regulações legais e documentos, pois está repleta de suposições e valores não declarados, que influenciam ideias e comportamentos. Já os métodos, técnicas e epistemologias da ciência ocidental a fazem ser admirada, como produtora de um conhecimento objetivo e universal, transcendendo esses preceitos culturais. Porém, claramente a ciência não é um valor neutro no que tange as relações de gênero, e uma percepção feminista orienta o reconhecimento desse aspecto. Portanto, nota-se a importância de se desenvolver ferramentas para a análise de gênero, principalmente naquelas áreas que resistiram e ainda resistem a isso, o que requer mudanças substanciais nas estruturas culturais, métodos, resultados e conteúdo científico.

Schiebinger (2001, p. 293), ao indicar a insuficiência de materiais na Física que abrangem os quadros de referência de gênero, indaga “O fato de que os elétrons não têm gênero à maneira de certos objetos de inquirição nas ciências da vida e sociais torna a Física imune à análise feminista?”. Para responder esse questionamento, deve-se entender que as disciplinas acadêmicas modernas são maneiras arbitrárias de selecionar o conhecimento, historicamente criadas pelo homem e não naturais, portanto, a Física é certamente suscetível à análise feminista de gênero. Abrir espaço para a participação e incentivar a permanência das mulheres na Ciência almejando a plena participação, tem o poder de provocar mudanças consideráveis no conhecimento humano (Schiebinger, 2008).

O estudo biográfico de aspectos da trajetória acadêmica de uma notável cientista na área da Astronomia, Vera Rubin, como discutido neste artigo, permite que sejam destacados vários pontos relacionados à prática, à formação e ao trabalho das cientistas nesses campos. A título de exemplo, a partir de uma perspectiva feminista de análise dos fatos, pôde-se evidenciar as consequências da divisão sexual de trabalho científico, como o descaso ao acolhimento das mulheres nos ambientes de produção de Ciência; a discriminação entre homens e mulheres no que concerne ao reconhecimento de suas contribuições intelectuais; a necessidade de apoio para ingresso e permanência nas instituições acadêmicas; a criação de políticas públicas que incentivem e fomentem as pesquisas lideradas pelas cientistas, entre outros pontos.

Destarte, a História da Ciência se apresenta como um dos caminhos para o enfoque na promoção da equidade de gênero na Ciência, além de constituir-se de uma alternativa para a reparação de uma invisibilização histórica e para o rompimento da estrutura de desigualdade de gênero. Percebe-se então a importância de que sejam desenvolvidos mais trabalhos sobre a História da Ciência que articulem a categoria de gênero à Natureza da Ciência. Ainda que, homens e mulheres pesquisadores não constituam grupos homogêneos e unitários, como salientam os estudos de interseccionalidade, deve-se ressaltar que as relações de gênero perpassam fatores como raça, classe e sexualidade (Harding, 1993; Costa, 2010).

Considerando as ideias expostas, a Ciência, como corpo de conhecimento, traz consigo problemas associados à reprodução das opressões sociais, como a de gênero, portanto, ressalta-se que cada vez mais discussões sobre Gênero e Ciência sejam levantadas no âmbito da educação em ciências. Em vista disso, compete aos pesquisadores, propositores de políticas científicas, professores em ciências e para as ciências refletirem a respeito da normalização da escassa presença feminina em carreiras científicas e no que isso se relaciona com as nossas expectativas em relação à Ciência, à sociedade e às interações entre homens e mulheres, na intenção de revelar os motivos subjacentes a esse fenômeno (Cordeiro, 2017).

Além da reivindicação da maior presença feminina na Ciência, é preciso que reconheçamos “Quem são as grandes mulheres cientistas? Quais são as suas realizações? Quais são as experiências das mulheres nos laboratórios das

universidades, das indústrias e do governo?” (Schiebinger, 2008, p. 272). Nesse sentido, percebe-se a importância dos trabalhos que se comprometem em destacar as contribuições das mulheres na História da Ciência e aprofundam as discussões de gênero que permeiam as trajetórias acadêmicas dessas mulheres. Na Astronomia, tal qual Vera Rubin, existem diversos outros exemplos de astrônomas notáveis, como: Elisabeth Hevelius (1647-1693), Caroline Herschel (1750-1848), Annie Jump Cannon (1863-1941) e Cecilia Payne-Gaposchkin (1900-1979).

Em uma perspectiva futura, aprofundando as discussões sobre a astrônoma Vera Rubin, a leitura do artigo permite destacar a oportunidade de avaliação do ambiente no qual Rubin trabalhava — se haviam outras mulheres cientistas, se elas recebiam apoio dos colegas e como era esse relacionamento pessoal — como forma de se movimentar uma análise de gênero às interações que ocorrem dentro das comunidades científicas.

Por fim, é imperativo dar destaque àquelas cientistas que, à semelhança de Rubin, contribuíram no sentido de apoiar, auxiliar e encorajar as demais gerações de mulheres em seus campos de pesquisa. Levando em conta que, estabelecer uma rede de apoio e atuar como um modelo para inspiração são ações que ajudam a promover a permanência e o sucesso das mulheres na Ciência. Em uma entrevista realizada em 1992, quando questionada sobre o que seria necessário para que houvesse uma melhora no cenário desigual entre os gêneros nas ciências, Rubin respondeu que “serão necessárias pessoas que queiram que isso mude. Ou será necessário um clima político que realmente acredite na ação afirmativa, que realmente acredite que as oportunidades devem ser disponibilizadas igualmente para todos.” (Rubin, 1996, p. 161).

REFERÊNCIAS

AQUINO, Estela M. L. Gênero e Ciência no Brasil: contribuições para pensar a ação política na busca da equidade. In: ENCONTRO NACIONAL DE NÚCLEOS E GRUPOS DE PESQUISA. **Pensando Gênero e Ciências**. Brasília: Secretaria Especial de Políticas para as Mulheres, 2006. p. 11-24. Disponível em: <https://www.gov.br/mdh/pt-br/navegue-por-temas/politicas-para-mulheres/arquivo/arquivos-diversos/publicacoes/publicacoes/encontro-genero.pdf#page=11>. Acesso em: 31 jan. 2024.

BURBIDGE, E. M. Entrevista de E. Margaret Burbidge por David DeVorkin. In: AIP. **Niels Bohr Library & Archives**. 13 jul. 1978. Disponível em: <https://www.aip.org/history-programs/niels-bohr-library/oral-histories/25487>. Acesso em: 27 jan. 2024.

BURNELL, J. B. Prefácio. In: MITTON, J.; MITTON, S. **Vera Rubin: A Life**. Londres, Inglaterra: Belknap Press of Harvard University Press, 2021.

CHASSOT, A. A ciência é masculina? É, sim senhora!... **Revista Contexto e Educação**, v. 19, n. 71, p. 9–28, 2004.

_____. Alfabetização científica: uma possibilidade para a inclusão social. **Revista Brasileira de Educação**, ed. 21, dez. 2002. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbedu/a/gZX6NW4YCy6fCWFQdWJ3KJh/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 31 jan. 2024.

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. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2017v34n3p669/35427>. Acesso em: 10 jan. 2024.

COSMOS CLUB: Washington D.C. **About the Club**, 2022. Disponível em: <https://www.cosmosclub.org/the-club/about-the-club/>. Acesso em: 1 fev. 2024.

COSTA, C. de L. Feminismo, tradução cultural e a descolonização do saber. **Fragmentos**, n. 39, p. 045–059, dez. 2010.

COWLEY, A. et al.. Report to the Council of the AAS from the Working Group on the Status of Women in Astronomy - 1973. **American Astronomical Society**, v. 6, p. 412–423, 1974. Disponível em: <https://adsabs.harvard.edu/full/1974BAAS....6..412C>. Acesso em: 01 jan. 2024.

ERA. **History of the Equal Rights Amendment**. 2018. Disponível em: <https://www.equalrightsamendment.org/the-equal-rights-amendment>. Acesso em: 27 jan. 2024.

FERRERAS, I. **Fundamentals of Galaxy Dynamics: Formation and Evolution**. Londres, Inglaterra: UCL Press, 2019, 200 p.

FORMAN, M. Recruitment and retention of women in physics conference held. **CSWP Gazette**, v. 11, fev. 1991. Disponível em: <https://www.aps.org/programs/women/reports/gazette/upload/winter91.pdf>. Acesso em: 26 jan. 2024.

GARCÍA, Marta I. González; SEDEÑO, Y Eulalia Pérez. Ciencia, Tecnología y Género. **Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología, Sociedad e Innovación**, abr. 2002. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/36021308.pdf>. Acesso em: 31 jan. 2024.

HARDING, S. A instabilidade das categorias analíticas na teoria feminista. **Revista Estudos Feministas**, v. 1, n. 1, p. 7–31, 1993. Disponível em: <http://www.legh.cfh.ufsc.br/files/2015/08/sandra-harding.pdf>. Acesso em: 31 jan. 2024.

LEE, A. K. **Annie Jump Cannon**. Museu Nacional de História da Mulher. 2020. Disponível em: <https://www.womenshistory.org/education-resources/biographies/annie-jump-cannon>. Acesso em: 27 jan. 2024.

LIMA, I. P. C. Lise Meitner e a fissão nuclear: uma visão não eurocêntrica da ciência. **Revista Gênero**, v. 16, n. 1, p. 51–65, 2.sem. 2015. Disponível em: <https://periodicos.uff.br/revistagenero/article/view/31224/18313>. Acesso em: 31 jan. 2024.

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. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2019v36n1p135/39935>. Acesso em: 31 jan. 2024.

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. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/7084/6555>. Acesso em: 10 jan. 2024.

MITTON, J.; MITTON, S. **Vera Rubin: A Life**. Londres, Inglaterra: Belknap Press of Harvard University Press, 2021. 383 p.

NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES et al. Beyond Bias and Barriers: Fulfilling the Potential of Women in Academic Science and Engineering. **The National Academies**, p. 1-12, 2007. Disponível em: https://nap.nationalacademies.org/resource/11741/bias_and_barriers_summary.pdf. Acesso em: 27 jan. 2024.

PIRES, L. N. **As mulheres e o prêmio Nobel**: As pesquisas de Maria Goeppertmayer e Donna Strickland e suas implicações no ensino de Física. 2019. Monografia (Licenciatura em Física) - Instituto Federal de Santa Catarina – Câmpus Araranguá, 2019. Disponível em: https://repositorio.ifsc.edu.br/bitstream/handle/123456789/1302/monografia.larissa_d_o_nascimento_pires.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 18 nov. 2023.

PIRES, L. N. **Jocelyn Bell Burnell e os pulsares**: Um estudo histórico-epistemológico para a educação científica. 2022. Dissertação (Mestre em Educação Científica e Tecnológica) - Universidade Federal de Santa Catarina, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/236851/PECT0508-D.pdf?sequence=-1&isAllowed=y>. Acesso em: 18 nov. 2023.

RAGO, M. Epistemologia Feminista, Gênero e História. *In*: PEDRO, J.; GROSSI, M. (Orgs.). **Masculino, Feminino, Plural**. Florianópolis: Editora Mulheres, 1998.

ROSSITER, M. W. **Women Scientists in America: Struggles and Strategies to 1940**. London: The Johns Hopkins University Press, 1982. 399 p.

RUBIN, V. C. **Bright Galaxies, Dark Matters**. New York: Springer, 1996. v. 7. 236 p.

RUBIN, V. C. Male World of Physics? **Physics Today**, v. 35, n. 5, p. 121-122, maio 1982.

RUBIN, V. C. Sexism in Science. **Physics Today**, v. 31, n. 13, ed. 1, p. 13-15, jan. 1978. Disponível em:
<https://pubs.aip.org/physicstoday/article-abstract/31/1/15/431745/Electron-beam-fusion?redirectedFrom=fulltext>. Acesso em: 01 fev. 2024.

RUBIN, V. C. Vera Rubin: interview by Alan Lightman. **American Institute of Physics**, 03 abr. 1989. Disponível em:
<https://www.aip.org/history-programs/niels-bohr-library/oral-histories/33963>. Acesso em: 22 jan. 2024.

RUBIN, V. C. Women Worldwide in Astronomy. **IAU Today**, v. 1, p. 1-72, 10 ago. 1992. Disponível em:
https://www.iau.org/static/publications/ga_newspapers/19880801.pdf. Acesso em: 31 jan. 2024.

SANTANA, C. Q. **Gênero, Ciência e História: Reflexões para escrita de história de mulheres nas ciências**. 2021. Dissertação (Mestre) - Universidade Federal da Bahia e Universidade Estadual de Feira de Santana, 2021. Disponível em:
<https://repositorio.ufba.br/bitstream/ri/33637/1/Disserta%20a7%20a3o%20-%20Carolina%20Queiroz%20Santana.pdf>. Acesso em: 31 jan. 2024.

SANTANA, C. Q.; PEREIRA, L. S. O caso Alice Ball: uma proposta interseccional para o Ensino de Química. **Química Nova na Escola**, v. 43, n. 4, p. 380–389, nov 2021. Disponível em: http://qnesc.s bq.org.br/online/qnesc43_4/08-EQF-55-20.pdf. Acesso em: 31 jan. 2024.

SARTI, Cynthia Andersen. O feminismo brasileiro desde os O feminismo brasileiro desde os anos 1970: revisitando uma trajetória. **Estudos Feministas**, Florianópolis, v. 12, ed. 2, p. 35-50, 24 ago. 2004. Disponível em:
<https://www.scielo.br/j/ref/a/QVnKzsbHFngG9MbWCFFPPCv/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 31 jan. 2024.

SCHIEBINGER, L. **O feminismo mudou a ciência**. Bauru: EDUSC, 2001. 375 p.

_____. Mais mulheres na ciência: questões de conhecimento. Apresentação de Maria Margaret Lopes. **História, Ciências, Saúde** – Manguinhos, Rio de Janeiro, v.15, supl., jun. 2008, p.269-281. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/hcsm/a/LZcRqYbsQR4cxYkgfCGyjyr/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 10 jan. 2024.

SEPULVEDA, C.; SILVA, I. Narrativas dissidentes: contribuições da história das mulheres para uma educação anti-opressão. *In*: GALIETA, T. (Org.). **Temáticas Sociocientíficas na Formação de Professores**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2021. p. 93-112.

SILVA, F. F. **Mulheres na ciência**: Vozes, tempos, lugares e trajetórias. 2012. Tese (Doutorado em Educação em Ciências) - Universidade Federal do Rio Grande, 2012. Disponível em: <http://repositorio.furg.br/handle/1/9582>. Acesso em: 31 jan. 2024.

VIEIRA, P. C.; MASSONI, N. T.; ALVES-BRITO, A. O papel de Cecilia Payne na determinação da composição estelar. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 43, p. 1-11, 2021. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/hYmtbhfpNmyKrDXGwjpCg3b/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 31 jan. 2024.

WASHINGTON STATE LEGISLATURE. **Freedom from discrimination nº 49.60.030**, 1988. Declaration of civil rights. 1988. Disponível em: <https://apps.leg.wa.gov/rcw/default.aspx?cite=49.60.030>. Acesso em: 1 fev. 2024.

YEAGER, A. J. **Bright Galaxies, Dark Matter, and Beyond**: The Life of Astronomer Vera Rubin. Londres, Inglaterra: The MIT Press, 2021. 212 p.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em 2008, com oitenta anos de idade, Vera Rubin fez uma de suas últimas investigações observacionais da sua carreira no Departamento de Magnetismo Terrestre em Washington. Em colaboração com quatro outros astrônomos, publicou um artigo sobre a distribuição de matéria escura na galáxia chamada ESO 323-G064, um aglomerado difuso de estrelas, gás e poeira (Cocato *et al.*, 2008). Durante as décadas de 1990 e 2000 esses tipos de galáxias eram vastamente estudadas na Astronomia numa tentativa de se compreender como a matéria escura se espalha pelo Universo (Yager, 2021). Pois já se sabia que as galáxias mais difusas, com pouca luminosidade, estão repletas de matéria escura, em uma quantidade maior do que as brilhantes galáxias espirais, como Andrômeda. Em certos casos, os astrônomos puderam observar que elas podem ser constituídas quase que inteiramente por matéria escura.

Quanto ao legado de Rubin à Ciência, o conhecimento científico proveniente de suas pesquisas e as novas perguntas que surgiram desses resultados fazem com que seja reconhecida como uma das principais personagens da Astronomia do século XX. A uma de suas galáxias favoritas UGC 2885 — uma das maiores espirais conhecidas no Universo — atribui-se o apelido de “galáxia de Rubin”. Outras homenagens foram feitas motivadas por suas contribuições à Astronomia e conduta ativista em defesa das mulheres e das minorias na Ciência. Para que fosse sempre lembrada, uma cordilheira em Marte, um asteroide, uma galáxia e, mais recentemente, um telescópio recebem seu nome. Além dos vários prêmios de prestígio que ganhou, Rubin foi a segunda mulher honrada pela *Royal Society*, 168 anos depois que a também astrônoma, Caroline Herschel reivindicou a honra pela primeira vez em 1828 e, foi ainda, a segunda mulher astrônoma eleita para a Academia Nacional de Ciências (NAS).

Como discutido ao longo deste estudo, os aspectos biográficos associados ao desenvolvimento do trabalho intelectual de uma personagem tão cara à História da Ciência, como a astrônoma Vera Rubin, proporcionaram pertinentes discussões sobre as relações de gênero na Ciência, do mesmo modo que o conteúdo científico pelo qual seu trabalho ficou mais popularmente conhecido, a matéria escura, ofereceu profícuas discussões, numa perspectiva da Natureza da Ciência (NdC).

Tendo em mente que a completa compreensão de um conhecimento científico envolve um longo processo, desenvolvido em contextos de ideias suscetíveis a conflitos e mudanças, ideias essas determinadas por expectativas preconcebidas, culturas científicas e sujeitos diversos, tem-se uma variedade de pontos de discussão que poderiam ser movimentados em uma análise epistemológica do episódio científico de descoberta da matéria escura. No domínio da educação em ciências, o objetivo geral deste trabalho foi “realizar um estudo histórico-epistemológico sobre o episódio de descoberta da matéria escura protagonizado pela pesquisa desenvolvida por Vera Rubin”.

Para contemplar o objetivo geral do estudo, recorreu-se a referenciais da epistemologia da Ciência, como Thomas Kuhn (1997, 2018) e Londa Schiebinger (2001, 2008). Definido o objetivo geral, foram especificados três objetivos específicos a serem explorados através dos dois artigos que integram este trabalho, os quais são intitulados:

- Além das galáxias brilhantes: a descoberta da matéria escura e o protagonismo de Vera Rubin;
- O Universo escuro para as mulheres: Gênero e Ciência na trajetória de Vera Rubin na Astronomia.

No primeiro artigo mobilizou-se dois dos objetivos específicos estipulados para o presente trabalho, a saber: “apresentar conceitos de Física e de Astronomia que possibilitam a compreensão do conceito de matéria escura através de estudo bibliográfico” e “promover discussões acerca da Natureza da Ciência com base nos elementos históricos relacionados ao episódio de descoberta da matéria escura no Universo considerando o protagonismo de Vera Rubin, baseando-se em referenciais do campo da Epistemologia e Filosofia da Ciência”. Para tanto, elaborou-se uma apresentação historiográfica do episódio de descoberta da matéria escura e posterior análise de caráter epistemológico dos fatos decorrentes. Na construção da narrativa utilizou-se fonte documental primária, como a autobiografia de Vera Rubin e excertos de artigos publicados pelos próprios cientistas, e documentos secundários.

O texto desenvolvido abrange desde as primeiras discussões sobre a possibilidade de um Universo escuro, perpassando pela origem das pesquisas sobre matéria escura até a explanação de algumas das linhas de pesquisa atuais que

buscam compreender esse ente da Física. Isto posto, puderam ser elencadas as categorias para o processo epistemológico de um episódio de descoberta, como “ciência normal”, “paradigma” e “anomalia”, baseando-se na fundamentação teórica tal qual concebida por Thomas Kuhn. No que tange os conceitos de Astronomia, Astrofísica e Cosmologia apresentados para o entendimento da matéria escura, foram abordadas as teorias para a descrição do movimento celeste de Johannes Kepler e Isaac Newton, conteúdos da espectroscopia, sistemas de classificação e componentes estruturais das galáxias. E, em particular, pôde-se evidenciar que o protagonismo de Vera Rubin no episódio de descoberta da matéria escura se encontra na forte evidência que seus estudos sistemáticos dos resultados observacionais das galáxias proporcionaram à aceitação do novo conhecimento, mesmo que isso tenha sido um processo gradual para a comunidade científica.

Diante da importância de se enfatizar o papel da colaboração na Ciência, do episódio da matéria escura emerge a figura de Rubin, astrônoma com uma trajetória científica que merece visibilidade, especialmente no domínio da educação em ciências. Por conseguinte, o segundo artigo buscava abranger o objetivo específico de “apresentar aspectos relacionados à trajetória acadêmica da astrônoma Vera Rubin, incluindo uma discussão sobre a presença de mulheres em carreiras científicas, recorrendo a referenciais de Gênero e Ciência”. O estudo biográfico da trajetória de vida acadêmica Vera Rubin, em uma perspectiva feminista, pôde revelar aspectos das relações de gênero na participação, na cultura e nos resultados da Ciência. Frisando-se que as mulheres não constituem um grupo homogêneo e, portanto, os recortes de raça, classe e sexualidade atravessam essas relações.

O material elaborado por este trabalho no formato de artigos e a grande variedade de materiais disponíveis para consulta sobre o episódio de descoberta da matéria escura — episódio extenso na História da Ciência que ainda possui questões em aberto — e também sobre a história biográfica de Vera Rubin na Astronomia, propiciam a sugestão das seguintes pesquisas futuras:

- Propor uma sequência didática sobre a descoberta da matéria escura para a educação em ciências no contexto das disciplinas de Física e Astronomia, considerando as discussões histórico-epistemológicas indicadas pelo primeiro artigo;

- Investigar a percepção da comunidade científica mais próxima à Vera Rubin quanto a sua presença nos ambientes de pesquisa, os trabalhos que desenvolveu e as atitudes em prol dos direitos das mulheres, baseando-se nos relatos e memórias de pessoas que conviveram com ela;
- Elaborar um produto educacional, utilizando como fonte os dois artigos, na forma de um livro de divulgação científica a nível de trabalho de mestrado em ensino de Física.

Em suma, tem-se a expectativa de que este trabalho, que destaca uma das grandes descobertas para área da Astronomia e a contribuição significativa de uma mulher cientista para isso, possa estimular outros pesquisadores a explorarem a matéria escura na educação em ciências. Adicionalmente, almeja-se que o trabalho sirva de incentivo para a documentação e divulgação das histórias de outras mulheres notáveis no campo científico.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, V. N.; LEITE, C. O caso plutão e a natureza da ciência. **Revista Latino-Americana de Educação em Astronomia**, n. 21, p. 31–44, 11 jan. 2016. Disponível em: <https://www.relea.ufscar.br/index.php/relea/article/view/233/322>. Acesso em: 11 jan. 2024.
- BAGDONAS, A.; ANDRADE, V. F. P.; L'ASTORINA, B. Discussões sobre a Natureza da Ciência em um curso sobre a história da astronomia. **Revista Latino-Americana de Educação em Astronomia**, n. 9, p. 17–31, jul. 2010. Disponível em: <https://www.relea.ufscar.br/index.php/relea/article/view/147/188>. Acesso em: 11 jan. 2024.
- CHASSOT, A. A ciência é masculina? É, sim senhora!... **Revista Contexto e Educação**, v. 19, n. 71, p. 9–28, 2004.
- CITELI, M. T. et al. Mulheres nas ciências: mapeando campos de estudo. **Cadernos Pagu**, n. 15, 2000. Disponível em: <https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/cadpagu/article/view/8635362/3159>. Acesso em: 10 jan. 2024.
- COCCATO, L. et al. VIMOS-VLT Integral Field Kinematics of the Giant Low Surface Brightness Galaxy ESO 323-G064. **Astronomy & Astrophysics**, 2008. Disponível em: <https://arxiv.org/pdf/0809.1785.pdf>. Acesso em: 2 fev. 2024
- 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. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2017v34n3p669/35427>. Acesso em: 10 jan. 2024.
- FABRICIO, C. M.; AIRES, Joanez Aparecida. Concepções de Ciência e desenvolvimento científico nos Livros Didáticos de Química. **XVIII Encontro Nacional de Ensino de Química**, Florianópolis, 25 jul. 2016. Disponível em: <https://www.eneq2016.ufsc.br/anais/resumos/R2352-1.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2024.
- FORATO, T. C. M.; PIETROCOLA, M.; MARTINS, R. A. Historiografia e Natureza da Ciência na sala de aula. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 28, n. 1, p. 27–59, 2011. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2011v28n1p27/18162>. Acesso em: 10 jan. 2024.
- GIL PÉREZ, D. et al. Para uma imagem não deformada do trabalho científico. **Ciência & Educação**, v. 7, n. 2, p. 125–153, 2001. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ciedu/a/DyqhTY3fY5wKhzFw6jD6HFJ/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 10 jan. 2024.
- GODOY, A. S. Pesquisa qualitativa: tipos fundamentais. **Revista de Administração de Empresas**, São Paulo, v. 35, n. 3, p. 20–29, 1995. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rae/a/ZX4cTGrqYfVhr7LvVyDBgdb/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 10 jan. 2024.

GOMES, Luciano Carvalhais; BELLINI, Luzia Marta. Uma revisão sobre aspectos fundamentais da teoria de Piaget: possíveis implicações para o ensino de física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 31, n. 2301, ed. 2, p. 1-10, 26 set. 2009. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/BcZM87LJggMKFvbBPHPth4C/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 14 jan. 2024.

GUERRA, A.; MOURA, C. B. História da Ciência no ensino em uma perspectiva cultural: revisitando alguns princípios a partir de olhares do sul global. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 28, ed. 22018, 4 jan. 2022. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ciedu/a/bWhSbbF6pV86bwxThtZVs6F/?lang=pt&format=pdf>. Acesso em: 10 jan. 2024.

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. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2020v37n2p333/4332>. Acesso em 10 jan. 2024.

HEERDT, B.; BATISTA, I. L. Questões de gênero e da natureza da ciência na formação docente. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 21, ed. 2, p. 30–51, 2016. Disponível em: <https://ienci.if.ufrgs.br/index.php/ienci/article/view/7/188?fbclid=IwAR2wQ7tJoJQN96YgyiuKiASGvIOmuOylq6rpk3ogalB164jsYN9vptjPAg>. Acesso em: 10 jan. 2024.

HENRIQUE, A. B. **Discutindo a natureza da ciência a partir de episódios da história da cosmologia**. 2011. p. 261. Dissertação de mestrado (Mestre em Ensino de Ciências) - Universidade de São Paulo, 2011. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/81/81131/tde-19072011-112602/publico/Alexandre_Bagdonas_Henrique.pdf. Acesso em: 11 jan. 2024.

HERNÁNDEZ-ARBOLEDA, Alejandro; RODRIGUES, Davi C. Rotação de galáxias e matéria escura. **Cadernos de Astronomia**, v. 2, ed. 1, p. 6-33, 2021. Disponível em: <https://periodicos.ufes.br/astrologia/article/download/33939/22899/103564>. Acesso em: 19 jan. 2024.

KUHN, T. S. **A estrutura das revoluções científicas**. 13. ed. São Paulo: Perspectiva, 2018. 323 p.

KUHN, T. S. **The Essential Tension: Selected Studies in Scientific Tradition and Change**. United States of America: The University of Chicago Press, 1997. 366 p.

LIMA, I. P. C. Lise Meitner e a fissão nuclear: uma visão não eurocêntrica da ciência. **Revista Gênero**, v. 16, n. 1, p. 51–65, 2.sem. 2015. Disponível em: <https://periodicos.uff.br/revistagenero/article/view/31224/18313>. Acesso em: 10 jan. 2024.

LOPES, M. M.; COSTA, M. C. Problematizando ausências: mulheres, gênero e indicadores na História das Ciências. **Gênero nas fronteiras do sul**, p.75–83, 2005.

- 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. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2019v36n1p135/39935>. Acesso em: 10 jan. 2024.
- 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. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/7084/6555>. Acesso em: 10 jan. 2024.
- MOREIRA, M. A.; MASSONI, N.T.; OSTERMANN, F. "História e epistemologia da física" na licenciatura em física: uma disciplina que busca mudar concepções dos alunos sobre a natureza da ciência. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, Porto Alegre, v. 29, ed. 1, p. 127–134, 5 fev. 2007. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/cd5vNDSYR76vCLJt8QpfJPh/?lang=pt&format=pdf>. Acesso em: 10 jan. 2024.
- MOURA, B. A. O que é Natureza da Ciência e qual sua relação com a História e Filosofia da Ciência. **Revista Brasileira de História da Ciência**, v. 7, n. 1, p. 32–46, 2014. Disponível em: <https://rbhciencia.emnuvens.com.br/revista/article/view/237/189>. Acesso em: 10 jan. 2024.
- NASCIMENTO, T. G.; ALVETTI, M. A. S. Temas científicos contemporâneos no ensino de biologia e física. **Ciência & Ensino**, v. 1, ed. 1, p. 29–39, dez. 2006. Disponível em: http://www.nebad.uerj.br/publicacoes/artigos_em_periodicos/temas_cientificos_contemporaneos.pdf. Acesso em: 11 jan. 2024.
- NEVES, M. C. D. A história da ciência no ensino de física. **Revista Ciência & Educação**, v. 5, ed. 1, p. 73–81, 1998. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ciedu/a/rKsDtRRhWKsfzd59RPVRgPv/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 11 jan. 2024.
- PEDUZZI, L. O. Q.; RAICIK, A. C. Sobre a Natureza da Ciência: asserções comentadas para uma articulação com a história da ciência. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 25, n. 2, p. 19–55, ago. 2020. Disponível em: <https://ienci.if.ufrgs.br/index.php/ienci/article/view/1606/pdf>. Acesso em: 11 jan. 2024.
- PIRES, L. N. **As mulheres e o prêmio Nobel**: As pesquisas de Maria Goeppertmayer e Donna Strickland e suas implicações no ensino de Física. 2019. Monografia (Licenciatura em Física) - Instituto Federal de Santa Catarina – Câmpus Araranguá, 2019. Disponível em: https://repositorio.ifsc.edu.br/bitstream/handle/123456789/1302/monografia.larissa_d_o_nascimento_pires.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 18 nov. 2023.

PIRES, L. N. **Jocelyn Bell Burnell e os pulsares: Um estudo histórico-epistemológico para a educação científica.** 2022. Dissertação (Mestre em Educação Científica e Tecnológica) - Universidade Federal de Santa Catarina, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/236851/PECT0508-D.pdf?sequence=-1&isAllowed=y>. Acesso em: 18 nov. 2023.

SCHIEBINGER, L. **O feminismo mudou a ciência.** Bauru: EDUSC, 2001. 375 p.

_____. Mais mulheres na ciência: questões de conhecimento. Apresentação de Maria Margaret Lopes. **História, Ciências, Saúde** – Manguinhos, Rio de Janeiro, v.15, supl., jun. 2008, p.269-281. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/hcsm/a/LZcRqYbsQR4cxYkgfCGyjr/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 10 jan. 2024.

TEIXEIRA, E. S. **Argumentação e abordagem contextual no ensino de Física.** nov. 2010. Salvador. 148 p. Tese (Doutorado em Ensino, Filosofia e História das Ciências) - Universidade Federal da Bahia, Universidade Estadual de Feira de Santana, 2010. Disponível em: https://ppgefhc.ufba.br/sites/ppgefhc.ufba.br/files/elder_teixeira_2010.pdf. Acesso em: 10 jan. 2024.

TEIXEIRA, R. R. P.; SOUZA, D. C. P. Matéria escura, energia escura e história da ciência na educação científica. **ACTIO: Docência em Ciências**, Curitiba, v. 7, ed. 2, p. 1–22, 2022. Disponível em: <https://periodicos.utfpr.edu.br/actio/article/view/14046>. Acesso em: 11 jan. 2024.

THE 'MOTHER of Dark Matter' Honored in Art: Vera Rubin Call Box Revealed. In: **Carnegie Science: Earth & planets laboratory.** 18 ago. 2023. Disponível em: <https://epl.carnegiescience.edu/mother-dark-matter-honored-art-vera-rubin-call-box-revealed>. Acesso em: 9 jan. 2024.

VITAL, A.; GUERRA, A. A implementação da história da ciência no ensino de física: uma reflexão sobre as implicações do cotidiano escolar. **Revista Ensaio**, Belo Horizonte, v. 19, ed. 2780, p. 1–21, 2017. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/epec/a/Sz7pLxFjRLn7bxD8VqgztZd/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 11 jan. 2024.