

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”
Faculdade de Ciências
Câmpus Bauru - SP

LARISSA CABRAL LIMA

TRAJETÓRIA PESSOAL E CIENTÍFICA DE IRÈNE JOLIOT-CURIE
E SUA INSERÇÃO NA EDUCAÇÃO QUÍMICA HISTÓRICO-
CRÍTICA

Bauru
2024

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”
Faculdade de Ciências
Câmpus Bauru - SP

LARISSA CABRAL LIMA

TRAJETÓRIA PESSOAL E CIENTÍFICA DE IRÈNE JOLIOT-CURIE
E SUA INSERÇÃO NA EDUCAÇÃO QUÍMICA HISTÓRICO-
CRÍTICA

Dissertação de mestrado apresentada à Faculdade de Ciências da Universidade Estadual Paulista (UNESP), Câmpus de Bauru, Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência como requisito para obtenção do título de Mestre em Educação para a Ciência.

Orientadora: Prof^ª Dr^ª Luciana Massi

Linha de pesquisa: História, Filosofia e Sociologia da educação

Bolsa: CAPES

Bauru
2024

L732t Lima, Larissa Cabral
 Trajetória pessoal e científica de Irène Joliot-Curie e sua inserção
 na Educação Química Histórico-Crítica / Larissa Cabral Lima. --
 Bauru, 2024
 112 p.

 Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP),
 Faculdade de Ciências, Bauru
 Orientadora: Luciana Massi

 1. História da Química. 2. Irène Joliot-Curie. 3. Mulher na Ciência.
 4. Ensino de Química. 5. Pedagogia Histórico-Crítica. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências, Bauru. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”
Faculdade de Ciências
Câmpus Bauru - SP

LARISSA CABRAL LIMA

TRAJETÓRIA PESSOAL E CIENTÍFICA DE IRÈNE JOLIOT-CURIE E SUA
INSERÇÃO NA EDUCAÇÃO QUÍMICA HISTÓRICO-CRÍTICA

Dissertação de mestrado apresentada à Faculdade de Ciências da Universidade Estadual Paulista (UNESP), Câmpus de Bauru, Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência como requisito para obtenção do título de Mestre em Educação para a Ciência.

Orientadora: Prof^a Dr^a Luciana Massi

Linha de pesquisa: História, Filosofia e Sociologia da educação

Bolsa: CAPES

Data da defesa: 4 de março de 2024

MEMBROS COMPONENTES DA BANCA EXAMINADORA:

Presidente e Orientadora: Professora Doutora Luciana Massi

Departamento de Educação, Faculdade de Ciências e Letras, UNESP, Araraquara.

Membro Titular: Professora Doutora Letícia dos Santos Pereira

Departamento de Química Geral e Inorgânica, UFBA, Salvador.

Membro Titular: Professor Doutor Rafael Moreira Siqueira


Departamento de Química Geral e Inorgânica, UFBA, Salvador.

Local: Banca remota.

ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE LARISSA CABRAL LIMA, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO PARA A CIÊNCIA, DA FACULDADE DE CIÊNCIAS - CÂMPUS DE BAURU.

Aos 04 dias do mês de março do ano de 2024, às 14:00 horas, por meio de Videoconferência, realizou-se a defesa de DISSERTAÇÃO DE MESTRADO de LARISSA CABRAL LIMA, intitulada **Trajetória pessoal e científica de Irène Joliot-Curie e sua inserção na Educação Química Histórico-Crítica**. A Comissão Examinadora foi constituída pelos seguintes membros: Profa. Assoc. LUCIANA MASSI (Orientador(a) - Participação Virtual) do(a) Departamento de Educação / Faculdade de Ciências e Letras - Unesp Araraquara, Prof. Dr. RAFAEL MOREIRA SIQUEIRA (Participação Virtual) do(a) Departamento de Química Geral e Inorgânica / Universidade Federal da Bahia, Profa. Dra. LETÍCIA DOS SANTOS PEREIRA (Participação Virtual) do(a) Departamento de Química Geral e Inorgânica / Universidade Federal da Bahia. Após a exposição pela mestrande e arguição pelos membros da Comissão Examinadora que participaram do ato, de forma presencial e/ou virtual, a discente recebeu o conceito final: __ __ __ aprovada __ __ __. Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que após lida e aprovada, foi assinada pelo(a) Presidente(a) da Comissão Examinadora.

Profa. Assoc. LUCIANA MASSI

Documento assinado digitalmente
 LUCIANA MASSI
Data: 04/03/2024 15:56:31-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço à minha mãe, Anissa, à minha avó, Venerina, e à minha tia, Patrícia, as pessoas que me deram a vida, que me inspiraram desde o início desta pesquisa e nas quais eu me vejo todos os dias por sermos todas, mulheres.

Agradeço ao meu irmão, Gabriel, e ao meu padrasto, Gustavo, pela companhia que me faz compreender o significado de ter um lar: apoio que permite criar asas para ir com a segurança de ter para onde voltar.

Agradeço ao meu namorado, amigo e confidente, Vitor, que me permitiu falar diversas vezes sobre os rumos desta pesquisa e sempre me encorajou a me manter firme aos meus ideais.

Agradeço aos meus colegas do grupo de pesquisa, Rafaela, Gabriela, Bruno, Giovana, Fernanda, Lucas B., Andriel, Carlos H., Carlos M., Lucas N. e Thiago, que compartilharam comigo seus conhecimentos e experiências, mas também seus lares e conversas fiadas.

Agradeço à minha orientadora, Luciana, que me apresentou ao universo acadêmico e me deu condições para transformar minhas inquietações pessoais em temas de pesquisa.

Agradeço aos professores membros da banca examinadora da qualificação e da defesa, Letícia, José Otávio e Rafael, que dispuseram de seu tempo e espaço para contribuir com esta pesquisa.

Agradeço, por fim, às instituições que permitiram a realização deste mestrado: a Faculdade de Ciências de Bauru da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” e o Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência pela estrutura e apoio administrativo, e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior pelo financiamento.

“A caça às bruxas nunca terminou, mas as
mulheres também nunca deixaram de resistir.”

(Silvia Federici)

RESUMO

Os estudos sobre a relação entre as questões de desigualdade de gênero e a ciência encontram-se em desenvolvimento no país desde a década de 1980. Tal relação tem se dado de diferentes formas e as pesquisas sobre trajetórias de cientistas com análises que utilizam categorias específicas da área surgiram nos últimos anos. O efeito Camille Claudel é uma dessas categorias que permitem discutir carreiras de mulheres sob a influência de maridos que trabalham na mesma área. Essa linha de pesquisa também apresenta poucos estudos que utilizam perspectivas críticas. Por isso, nesta pesquisa foi adotada uma concepção de história marxista, que explicita os movimentos históricos e filosóficos na realidade humana para analisar a trajetória de Irène Joliot-Curie, reconstruída por meio de fontes primárias e secundárias. Trata-se de uma mulher na ciência, reconhecida historicamente pelo seu trabalho com a radioatividade artificial, porém subalternizada aos pais cientistas e ao marido, também cientista, o que faz emergir questões de gênero e ciência por meio da contextualização da sua carreira perante aspectos históricos, econômicos e científicos. Com base no Materialismo Histórico e Dialético, o método marxista de interpretação da realidade, a categoria trabalho foi mobilizada para captar as singularidades da carreira de Irène, acarretando discussões sobre a alienação presente no seu exercício científico. Também foi investigado o conhecimento científico produzido por seu principal trabalho, premiado pelo Nobel de química de 1935, discutindo interpretações filosóficas que colaboraram para uma compreensão em direção à essência do fenômeno em questão. A fim de concretizar os resultados apresentados, explorou-se o uso de história da ciência no ensino de ciências por meio da Pedagogia Histórico-Crítica, uma perspectiva pedagógica coerente com os ideais marxistas presentes no trabalho. Assim, com as discussões sobre a história, pôde-se apresentar a radioatividade como conteúdo escolar e destacar a importância do seu ensino por tratar-se de um entendimento erudito da matéria. Quanto à estratégia didática buscou-se apropriar-se da ferramenta de narrativas históricas, que trabalha o ensino de aspectos de natureza da ciência, podendo abranger as questões de gênero, juntamente com o conteúdo curricular, no caso o de radioatividade, para coincidir com o trabalho da cientista. Desta forma, uma narrativa histórica voltada para o ensino médio foi produzida a fim de propor uma implicação didática para a história estudada e discutir a importância desse conteúdo. Desse modo, foi possível discutir características específicas da trajetória de Irène Joliot-Curie a partir de discussões de gênero e do seu próprio trabalho, que foi tratado historicamente e filosoficamente, apresentando aspectos que destacam a importância do conhecimento produzido e permitindo uma proposição didática para o ensino do mesmo.

Palavras-chave: História da Química; Irène Joliot-Curie; Mulher na Ciência; Ensino de Química; Pedagogia Histórico-Crítica.

ABSTRACT

Studies on the relationship between issues of gender inequality and science have been underway in Brazil since the 1980s. This relationship has taken different forms and research into the careers of scientists has emerged in recent years using specific categories. The Camille Claudel effect is one of these categories that make it possible to discuss women's careers under the influence of husbands working in the same field. This line of research also has few studies that use critical perspectives. For this reason, this research has adopted a Marxist conception of history, which makes historical and philosophical movements in human reality explicit, in order to analyze the career of Irène Joliot-Curie, reconstructed through primary and secondary sources. This is a woman in science, historically recognized for her work with artificial radioactivity, but subordinated to her scientist parents and her husband, also a scientist, which brings up questions of gender and science through the contextualization of her career in terms of historical, economic, and scientific aspects. Based on Historical and Dialectical Materialism, the Marxist method of interpreting reality, the category of work was mobilized to capture the singularities of Irène's career, leading to discussions about the alienation present in her scientific practice. We also investigated the scientific knowledge produced by her main work, which won the Nobel Prize for chemistry in 1935, discussing philosophical interpretations that contributed to an understanding of the essence of the phenomenon in question. To materialize the results presented, the use of the history of science in science teaching was explored through Historical-Critical Pedagogy, a pedagogical perspective consistent with the Marxist ideals present in the work. Thus, with the discussions on history, it was possible to present radioactivity as school content and highlight the importance of teaching it because it is a scholarly understanding of the subject. As for the didactic strategy, we sought to use the tool of historical narratives, which works to teach aspects of the nature of science, and can cover gender issues, together with the curriculum content, in this case radioactivity, to coincide with the work of the scientist. In this way, a historical narrative aimed at secondary education was produced to propose a didactic implication for the history studied and to discuss the importance of this content. In this way, it was possible to discuss specific characteristics of Irène Joliot-Curie's career based on discussions of gender and her own work, which was treated historically and philosophically, presenting aspects that highlight the importance of the knowledge produced and allowing a didactic proposal for teaching it.

Keywords: History of Chemistry; Irène Joliot-Curie; Women in Science; Chemistry Teaching; Historical-Critical Pedagogy.

SUMÁRIO

1. APRESENTAÇÃO	9
2. INTRODUÇÃO.....	14
3. METODOLOGIA	22
3.1 Estudo 1: A retomada da historiografia e as questões de gênero.....	23
3.2 Estudo 2: O materialismo histórico e dialético	25
3.3 Estudo 3: As implicações didáticas.....	28
4. ESTUDO 1: IRÈNE JOLIOT-CURIE E A RADIOATIVIDADE ARTIFICIAL.....	33
4.1 Irène Joliot-Curie	35
5. ESTUDO 2: ANÁLISE MATERIALISTA, HISTÓRICA E DIALÉTICA	56
5.1 Referencial teórico	57
5.1.1 A categoria trabalho e a primeira lei da dialética	58
5.2 Dimensão histórica: trabalho e alienação de Irène Joliot-Curie	61
5.3 Dimensão dialética: matéria e quantidade e qualidade na radioatividade artificial.....	68
6. ESTUDO 3: IMPLICAÇÕES PARA O ENSINO DE QUÍMICA HISTÓRICO- CRÍTICO	73
6.1 Referencial teórico	73
6.1.1 A Pedagogia Histórico-Crítica e a importância dos conteúdos científicos.....	74
6.2 A radioatividade como um conteúdo escolar.....	76
6.3 A Narrativa histórica.....	77
7. CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS FUTURAS.....	84
8. REFERÊNCIAS.....	85
APÊNDICES	94

1. APRESENTAÇÃO

Mulheres fortes sempre estiveram presentes na minha vida, começando pelas figuras da minha família, como mãe, avó e tia — todas mães solo —, passando por toda a escolaridade básica marcada pela feminilização do magistério, até chegar na universidade e encontrar ainda mais inspirações, só que dessa vez, cientistas que criaram em mim o entusiasmo pela profissão.

Foi durante o ensino médio em uma escola particular que tive meu primeiro contato com a química, por intermédio de uma das minhas professoras favoritas dos meus anos na educação básica. Isso me direcionou, durante o segundo ano desse período, a iniciar um curso de técnico em química em uma escola estadual. Experiência que me proporcionou o início da minha vida acadêmica pelo contato com práticas laboratoriais e pesquisa. Deste modo, a escolha para a graduação não foi difícil, ingressei no curso de licenciatura em química da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (Unesp).

O interesse pela química pura e experimental se manteve devido à minha vivência técnica, por isso nos primeiros anos da graduação as disciplinas práticas eram mais almeçadas. Entretanto, me propus a participar do máximo de atividades que a universidade poderia me proporcionar: fui bolsista no Programa Institucional de Bolsas de Iniciação à Docência; monitora de visitas do Centro de Ciências de Araraquara; e petiana do Programa de Educação Tutorial. Além de outras atividades extracurriculares como membro do Diretório Acadêmico, Comissão de Formatura, participação em eventos, representação discente e prática de esportes.

Ao final do terceiro ano fui convidada, pelo professor Doutor Celso Valentim Santilli, a fazer uma pesquisa de iniciação científica na área de físico-química como bolsista. Neste momento, pude vivenciar a rotina de laboratórios de pesquisa e a convivência com um grupo de pesquisa, o que proporcionou contato com outros pesquisadores e participação em dois Congressos de Iniciação Científica da Unesp. Inclusive, em uma dessas participações, na XXXIII edição do evento, fui premiada pelo Instituto de Química de Araraquara pelo melhor trabalho da unidade e pude levar minha apresentação para a segunda fase do congresso.

Mesmo obtendo êxito com essa experiência na pesquisa em química, eu não me sentia realizada academicamente. Foi nesse mesmo momento que os estágios e matérias pedagógicas se intensificaram, além do início do Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) que deveria ser sobre educação. Assim, me vi em dúvida sobre qual caminho eu seguiria, pois a química pura me acompanhava desde o início, mas o ensino me instigou rapidamente. Já que essa área me proporcionou ao mesmo tempo uma formação profissional e pessoal, dando-me um novo olhar sobre o impacto que a docência é capaz de proporcionar ao colaborar para a formação de

pessoas. Mesmo assim, eu decidi participar das duas áreas ao mesmo tempo para que não restassem dúvidas.

Iniciei um estágio remunerado no laboratório de análises do Centro de Monitoramento e Pesquisa da Qualidade de Combustíveis, Biocombustíveis, Petróleo e Derivados, onde pude conhecer o trabalho do químico dentro de uma empresa. Além disso, os estágios nas escolas me proporcionaram experiências da prática docente, enquanto o TCC me mantinha na pesquisa em educação. Desse modo, vivenciando todas essas possibilidades, a que mais se mostrou próxima da minha história, interesses e ideais, foi a pesquisa do TCC. Isso porque, pude desenvolver junto à minha orientadora, professora Doutora Luciana Massi, um trabalho que envolvesse questões de gênero e a ciência. Decidimos reconstruir a história de alguma cientista que foi relevante para a história da Química, unindo meus interesses pessoais com uma das linhas de pesquisa da professora.

Sobre a escolha do objeto de pesquisa, encontramos dificuldades ao tentar realizar buscas sobre a vida de pessoas ainda vivas, como as professoras universitárias, por outro lado, havia a obviedade de algumas personagens históricas, como Marie Curie. Sendo assim, optamos por Irène Joliot-Curie, um pouco mais contemporânea que sua mãe, mas tão impactante quanto. Suas questões familiares e relação com o marido também me instigaram e traziam aspectos de gênero que poderiam emergir na pesquisa. Portanto, o trabalho foi sobre a vida e a carreira de Irène Joliot-Curie, com aspectos sociais, políticos e de gênero destacados.

Finalizei os estágios, apresentei o TCC e concluí o curso em janeiro de 2022, tendo a certeza sobre meus interesses. Em março do mesmo ano, ingressei em uma das primeiras colocações do processo seletivo do mestrado do Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência da Unesp para dar continuidade à pesquisa iniciada na graduação. Fui contemplada pela bolsa de estudos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) em agosto daquele ano. Nestes primeiros dois semestres, cursei disciplinas, participei de reuniões do grupo de pesquisa, de grupos de estudos com temas variados, além de participar da comissão organizadora da XIX Reunião Técnica do programa ao qual pertença.

Minha proposta de pesquisa inicial era de um desdobramento do TCC, com o objetivo de continuar investigando a trajetória acadêmica e pessoal de Irène Joliot-Curie, com maiores aprofundamentos quanto ao método marxista de análise da história e com avanços nas discussões sobre a questão do gênero na ciência. Pude desenvolver mais o método, uma vez que com as reuniões de estudos, me aprofundei nas discussões históricas e filosóficas da ciência, ambas sob uma perspectiva materialista. Quanto ao interesse nas questões de gênero, ainda em 2022, submeti um trabalho para o XIV Encontro Nacional de Pesquisa em Educação

em Ciências que foi apresentado em outubro de 2023 (Lima; Massi, 2023). Também pude ler algumas autoras feministas marxistas, como Silvia Federici, e pude ainda, em parceria com a minha orientadora Professora Luciana Massi, publicar um artigo sobre a relação histórica entre o feminismo e o marxismo, além de analisar a história de Irène por meio de categorias baseadas no materialismo histórico e dialético (Cabral; Massi, 2023). Entretanto, as discussões desse aspecto presentes nesta dissertação se deram a partir de um outro conceito da área, uma sugestão da professora Doutora Letícia dos Santos Pereira no contexto da qualificação desta pesquisa, que se mostrou como um caminho mais frutífero dada a realidade histórica da cientista.

Ainda em 2022, em colaboração com a minha orientadora e um de seus alunos de Iniciação Científica, escrevi um artigo a fim de publicar meus resultados do TCC (Cabral; Lima; Massi, 2023). O aluno em questão pesquisava sobre a história da radioatividade em livros didáticos, então para resolver as ausências historiográficas dos livros estudados por ele, propusemos o uso de partes da história de Irène Joliot-Curie. Um tempo depois, tive a oportunidade de iniciar a produção de um material didático, no formato de uma narrativa histórica (Allchin, 2017; Azevedo; Del Corso, 2017), com a história que eu havia escrito no TCC, para o ensino do conteúdo e de aspectos de Natureza da Ciência (NdC). Deste modo, meus esforços para tal elaboração se estenderam até meados de 2023, pois pesquisas e discussões sobre o formato do material foram necessárias para a sua escrita, bem como validações coletivas e implementações iniciais na disciplina de História e Filosofia para o Ensino de Ciências oferecida para o curso de Licenciatura em Química do Instituto de Química da UNESP. Ao final, os esforços da pesquisa se voltaram para discussões filosóficas da história e do conteúdo, visando apresentá-lo como um conteúdo escolar e produzir um material didático que contribua para o ensino de química histórico-crítico.

Sendo assim, as questões que emergem da minha trajetória e conseqüentemente, guiam as intenções desta pesquisa, sem a pretensão de resposta diante de sua abrangência, são: Qual o papel da mulher na produção da ciência? Como a vida pessoal influencia a carreira profissional dos cientistas? Como a percepção do movimento da história contribui para o entendimento dos conhecimentos científicos? O que é a química e qual é a natureza do seu conhecimento?

Essas questões mais amplas orientaram a delimitação desta pesquisa que tem como objetivo explicitar, por meio de uma análise histórica, materialista e dialética, aspectos da vida e trabalho científico de Irène Joliot-Curie, de modo a propor suas implicações para a Educação

Química Histórico-Crítica. Visando responder à questão: como e por que a história de Irène Joliot-Curie pode contribuir para o ensino histórico-crítico de radioatividade?

Em busca de uma resposta, mesmo que parcial, para tais questionamentos, nos propusemos nesta dissertação a investigar histórica e filosoficamente a trajetória de Irène Joliot-Curie, explicitando as questões de gênero e a perspectiva materialista, histórica e dialética, além de discutir implicações didáticas. Tal investigação foi desenvolvida por meio de três estudos com os seguintes objetivos específicos: 1) Evidenciar aspectos de gênero e de história geral que contextualizam a trajetória de Irène Joliot-Curie explorando o trabalho anterior por meio de uma perspectiva crítica; 2) Compreender as especificidades do trabalho da cientista associando a história dela à categorias e leis filosóficas do Materialismo Histórico e Dialético; 3) Propor uma narrativa histórica utilizando a história da cientista e discutindo a importância do conteúdo de curricular ao qual ela remete.

Embora os estudos tenham sido desenvolvidos separadamente, eles se relacionam pela intenção de tratar questões de gênero por meio da história da ciência no ensino do conteúdo. A perspectiva marxista também expressa a conexão coerente entre os três estudos, uma vez que a análise histórica foi feita por meio da historiografia marxista, proposta por Young (1990) que parte da categoria trabalho e está ancorada no Materialismo Histórico e Dialético (MHD), o que também deu base para as discussões filosóficas. Já os direcionamentos para o ensino da química foram promovidos pela Pedagogia Histórico-Crítica (PHC), uma teoria pedagógica de bases marxistas, que permitiu a discussão da importância do conteúdo e a proposição de um material para o seu ensino baseado no uso da História e Filosofia da Ciência (HFC). Por fim, as discussões a respeito das questões de gênero que emergem da história estão sustentadas principalmente pela ideia do labirinto de cristal, que abarca o efeito Camille Claudel, proposto por Lima (2013). O que, mesmo não sendo marxista, trata-se de uma categoria de análise feminista que visa também a transformação social.

Visando atingir os objetivos já descritos, este trabalho foi dividido nas seguintes seções: o primeiro capítulo é este no qual me apresento e que busca trazer a justificativa pessoal desta pesquisa; no segundo capítulo, a introdução, apresentamos algumas lacunas e tendências sobre os estudos da relação entre gênero e ciência, história da ciência, filosofia da química, ensino de ciências e o conteúdo de radioatividade com base na PHC, lembrando que este é o conhecimento que emerge do trabalho de Irène Joliot-Curie; o terceiro capítulo apresenta a metodologia de investigação, conectando os objetivos da pesquisa com os métodos escolhidos a fim de explicitar o caminho percorrido no trabalho; o quarto capítulo é o primeiro dos resultados, apresentando o estudo 1 com a historiografia sobre a Irène Joliot-Curie feita no

TCC, com enfoque nas questões de gênero; o quinto capítulo apresenta resultados do estudo 2, contando com uma subseção sobre o referencial teórico (materialismo histórico e dialético) e seguido das discussões acerca da categoria trabalho e alienação por meio da história da cientista, sobre a materialidade e a lei da quantidade e qualidade utilizadas para analisar o conhecimento químico por ela produzido; o sexto capítulo apresenta discussões sobre a importância do conteúdo de radioatividade a partir da PHC e a proposição de uma narrativa histórica sobre a vida da cientista e o ensino do conteúdo, iniciando com uma breve apresentação do referencial teórico da PHC; o sétimo capítulo, finaliza o trabalho propondo conclusões e implicações sobre os resultados até aqui atingidos e vislumbra perspectivas de continuação da pesquisa. Deste modo, o trabalho está apresentado na ordem dos estudos (1, 2 e 3), contando com uma introdução em comum, uma metodologia dividida em subseções respectivas à eles, seguida dos resultados, sendo alguns com breve apresentação dos respectivos referenciais teóricos, e a conclusão que também é comum. Ao final do texto os apêndices apresentam a narrativa histórica e seu material complementar na íntegra, tendo sido ambos produzidos em conjunto com outras autoras.

2. INTRODUÇÃO

As pesquisas sobre gênero e ciências têm crescido junto com os avanços da sociedade sobre o reconhecimento dos preconceitos e desigualdades de gênero. Isso porque “[...] os estudos de gênero, ciências e tecnologias desempenham um papel fundamental para subsidiar a formulação de políticas para promoção da equidade de gênero nas ciências e tecnologias” (Lima; Costa, 2016, p. 3). Atualmente, os temas mais recorrentes dessa temática são: estudos sobre trajetórias/histórias/biografias de mulheres em ciência e tecnologia; carreiras de mulheres em ciência e tecnologia e seus desafios; relações de gênero, ciência e educação; epistemologias/teorias de gênero; entre outras (Bitencourt, 2008; Cabral (2015); Lopes *et al.*, 2014; Minella, 2013). Ou seja, os avanços dos estudos têm se dado, majoritariamente, por meio do reconhecimento de mulheres na produção histórica da ciência, porque “[...] não são as mulheres que estão de fora, são nossas lentes que precisam ser ajustadas para percebê-las” (Gerlbart, 2016, p. 116, tradução nossa).

Sendo assim, Santana e Pereira (2021) destacam que dar visibilidade à história de mulheres cientistas é um dos caminhos que podem ser explorados nessa perspectiva, utilizando o gênero como categoria de análise. O que permite ainda a conexão com outras categorias como raça, geração e classe, possibilitando a ampliação das análises para uma captura mais total da realidade que se busca explicitar. A partir disso, outras categorias específicas de estudos de gênero e ciências têm surgido, como: a interseccionalidade, que explicita que mulheres marcadas por diferentes fatores (gênero, raça, classe social, posicionamento político etc.) possuem obstáculos ainda maiores para ingressar na ciência e para terem seus direitos de equidade garantidos (Crenshaw, 2002); ou ainda Margaret Rossiter que propõe o efeito Matilda para se referir a ascensão de mulheres cientistas normalmente relacionada ou atribuída à homens, partindo das noções de efeito Mateus, proposto por Robert Merton (Lima, 2013).

Outra noção que permite explicitar as desigualdades nessa área é a de teto de vidro, uma “metáfora para representar o obstáculo invisível, porém concreto, que impede as mulheres de chegarem a determinadas posições de prestígio nas profissões” (Lima, 2013, p. 885). A autora destaca dois aspectos principais dessa ideia: primeiro, sobre a transparência do vidro que explicita barreiras invisíveis e não formais contra as mulheres; e segundo, quanto à existência de um teto que limita as mulheres a determinadas posições. Entretanto, ela vai além dessas discussões e propõe a ideia de labirinto de cristal, já que as barreiras das desigualdades de gênero permeiam não somente o topo, mas todas as direções da carreira científica de uma mulher (Lima, 2008). Dentro desse labirinto há um obstáculo específico quanto ao casamento heterossexual entre pesquisadores da mesma área que ela nomeia de endogamia disciplinar,

cujas consequências específicas na carreira das mulheres ela nomeia efeito Camille Claudel. Esse efeito se materializa de três formas:

- 1) ‘carreiras encaixadas’, em que ocorrem concessões de projetos, temas e escolhas profissionais em função do matrimônio; 2) o possível ofuscamento da esposa em função da lógica de gênero, atribuindo ao homem que trabalha no mesmo tema maior destaque e relevância que à mulher; 3) a relação de concorrência entre o casal, com falta de apoio e estímulo entre os parceiros. (Lima, 2013, p. 894)

Entretanto, ainda há muitos caminhos a serem percorridos nessa área, os trabalhos estão dispersos e são incipientes (Cabral, 2015; Leta, 2003), até porque a preocupação com o reconhecimento das mulheres nas ciências ganhou destaque apenas a partir de 1980 (Leta, 2003; Wedge; Williams, 1996). Por isso, Lima e Costa (2016) apontam para a falta de estudos sobre a colaboração entre pessoas do mesmo sexo, enquanto Santana, Andrade e Santos (2020, p. 209) destacam o crescente interesse em “refletir o viés de neutralidade atribuído a ciência”. Hendges e Santos (2022), por sua vez, indicam o potencial do tema em combater a visão distorcida de ciência masculina.

Como exemplo de trabalhos que contemplam tais demandas, Pereira (2021) produziu um esboço biográfico de Clara Immerwahr (1870-1915), esposa de Fritz Haber (1868-1934), refletindo sobre a relação entre sua carreira científica e o casamento, mostrando como essa química corporifica obstáculos invisíveis do labirinto de cristal e do efeito Camille Claudel. Há também o trabalho de Lima (2019) que apresenta, discute e analisa aspectos da trajetória acadêmica de Lise Meitner (1878-1968), numa perspectiva da crítica feminista, usando gênero como uma categoria de análise. Ou seja, as histórias de duas cientistas foram utilizadas em estudos sobre suas próprias trajetórias capazes de explicitar as questões de gênero nas ciências.

Portanto, percebe-se que é possível abordar as desigualdades de gênero que permeiam a ciência por meio da história da própria ciência, visto que a história descrita e interpretada como um processo criado por “[...] seres humanos envolvidos em relações sócio-culturais peculiares a cada época” (Baldinato; Porto, 2008, p. 2) pode abranger as questões de gênero. Isso, especialmente a partir das histórias das próprias mulheres da ciência, pois dar visibilidade a histórias de mulheres cientistas colabora também para o seu reconhecimento na sociedade (Santana; Pereira, 2021).

Sendo assim, a abordagem conceitual e não-conceitual da história, proposta por Martins (2005), pode ser considerada eficiente para atingir os objetivos desse tipo de pesquisa, uma vez que abrange tanto o contexto científico, quanto os fatores extra científicos de uma determinada questão histórica. O que permite considerar além das práticas, instrumentos e modos de

publicação, as instituições, políticas, fatores econômicos e culturais, também como influenciadores da técnica (Baldinato; Porto, 2008). Porque

[...] é impossível compreender uma trajetória de vida sem que possamos compreender em que lugar ela se desenvolve. E, juntamente ao espaço físico, propriamente dito, encontramos o contexto social e político no qual se insere a narrativa tratada (Lima, 2019, p. 29).

Tais abordagens da história da ciência, especialmente no que tange às questões de gênero, são majoritariamente interpretadas por tendências pós-modernas e são escassas quanto às interpretações críticas (Agostini; Massi; Santos; Souza, 2019). Além disso, segundo Colturato e Massi (2019), dentre os estudos historiográficos que buscam perceber os personagens nos dilemas científicos e sociais de seu tempo, são poucos os que adotam a perspectiva marxista.

A história da ciência se constitui por múltiplas faces e conta com a contribuição de três outras áreas:

Sem dúvida, uma delas é composta pelas várias ciências, com as quais a história da ciência se relaciona, desde seus primórdios, através de um meta-discurso. A outra interface pertence tradicionalmente à filosofia ou, para sermos mais precisos, à história da filosofia e à filosofia da ciência. Um intercâmbio frutífero foi produzido nesta interface, do qual ambos os lados usufruíram, apesar das diversidades tanto de abordagem quanto de configuração dos objetos. Surpreendentemente, a última das interfaces a ser formada foi com a própria área de história. Alguns dos motivos expostos no tópico acima nos oferecem a nova dimensão que esta interface trouxe para a história da ciência. Embora não devamos esquecer que a esfera interna e fortemente epistemológica das análises em história da ciência marca sempre um diferencial entre esta e a história em seus vários campos (Alfonso-Goldfarb, 2008, p. 8-9).

Por isso, os estudos de trajetórias de cientistas, para contemplar as exigências do campo de história da ciência, devem abranger discussões sobre: a área da ciência na qual ela está inserida; aspectos filosóficos do trabalho que ela realizou e do conhecimento que produziu; e considerar a própria história para contextualizar os episódios a serem discutidos. Além disso, Kragh (2001) destaca que os entendimentos atuais da ciência são necessários para a escrita de sua história, mas deve ser um movimento cuidadoso para que os conhecimentos passados não sejam julgados por meio dos atuais. Sendo assim, o autor sugere um equilíbrio entre anacronismo e diacronismo nos movimentos interpretativos sobre a HFC, assumindo que os estudiosos dessa área estão em busca da verdade na história sob interferências do presente.

Deste modo, considerando a importância e a tendência da área de estudos de gênero sobre pesquisas de trajetórias de cientistas, um movimento inicial de reconstrução da história em questão deve ser feito para que as análises que unem ciência, filosofia e história sejam

realizadas por meio das categorias que envolvem o gênero. Neste momento, retoma-se uma pesquisa desenvolvida anteriormente que apresentou tais resultados preliminares (Lima, 2022), mas que ainda carecia de avanços na investigação dos aspectos aqui destacados para que se tenha de fato um trabalho de história da ciência com destaque para questões de gênero.

O trabalho em questão apresenta a trajetória pessoal e científica de Irène Joliot-Curie, uma química do século XX que trabalhou com radioatividade durante toda sua carreira e foi premiada pelo Nobel de química em 1935. Irène era filha de Pierre Curie e casada com Frédéric Joliot, dois renomados físicos, o que faz com que sua carreira seja constantemente relacionada aos feitos deles, homens (Crossfield, 1997). Além disso, era filha de Marie Curie e sua evidência também é normalmente desvalorizada pelo destaque constante da mãe (Crossfield, 1997). Destaca-se, por fim, seu envolvimento com questões políticas que fez com que o final de sua carreira fosse negligenciado por acusações de associação ao comunismo (Gilmer, 2011).

Portanto, por se tratar de uma química, a história e a filosofia a serem consideradas nos movimentos de interface e contextualização da trajetória da cientista devem coincidir com as discussões da história da química e da filosofia da química. Esses campos são autônomos e apresentam questões próprias que têm passado por um esforço de determinação das especificidades da química a partir da preocupação de “químicos, historiadores, filósofos e educadores em química [...] a respeito do papel da química no mundo moderno” (Lemes; Porto, 2014, p. 122). As principais questões têm sido a irreduzibilidade da química à física (Lemes; Porto, 2014) e a materialidade presente nesta ciência, por meio de discussões sobre conceituação de leis e modelos, importância da realidade subatômica e a caracterização da natureza da química (Ribeiro; Bejarano; Santos, 2016).

Destaca-se então que esse esforço de conectar as áreas de química, filosofia e história, desde que com um olhar crítico, permite “uma análise histórica cuidadosamente investigada [que] poderia apoiar os esforços para mudar a ciência, como parte de uma campanha mais ampla pela justiça social” (Secord, 2021, p. 45, tradução nossa). Ou seja, é uma estratégia de estudos da ciência a partir da sua própria história que pode ser capaz de explicitar e compor uma luta pelas questões sociais, como as desigualdades de gênero, por exemplo. Entretanto, de acordo com Secord (2021), tal movimento historiográfico só é relevante e útil à tal função se conduzir à ação.

Em busca de concretizar os resultados a serem obtidos com as análises e torná-los um elemento chave para a ação na sociedade, a educação escolar se mostra eficiente como mediadora desse processo, uma vez que “a educação é, sim, determinada pela sociedade, mas [...] conseqüentemente, a educação também interfere sobre a sociedade, podendo contribuir

para a sua própria transformação” (Saviani, 2011a, p. 80). Por isso, se faz necessária uma “proposta pedagógica cujo ponto de referência, cujo compromisso, seja a transformação da sociedade e não sua manutenção” (Saviani, 2011a, p. 80). Saviani (2011a) propõe a Pedagogia Histórico-Crítica (PHC) como teoria pedagógica capaz de promover tal transformação. Essa perspectiva será discutida posteriormente nesta dissertação, mas já é possível adiantar o fato de que é uma teoria de bases marxistas. Considerando especificamente a presença de HFC no ensino, mesmo que não alinhado aos princípios da PHC, Matthews (2015) aponta para o fato de que um ensino crítico pode ser promovido por meio do oferecimento de conteúdos científicos devidamente contextualizados e explicados em seu desenvolvimento histórico e filosófico.

O uso da HFC no âmbito do ensino apresenta caráter interdisciplinar, da mesma forma como é concebida no meio acadêmico, uma vez que mobiliza diferentes áreas (história, filosofia e ciências), humanizando o trabalho científico e combatendo o paradigma de neutralidade das ciências (Baldinato; Porto, 2008). Além disso, essas redes conceituais que o uso da HFC permite estabelecer, contribuem para um melhor e mais completo entendimento a respeito dos conceitos que serão trabalhados, já que estarão localizados na totalidade histórica (Messeder Neto; Teixeira; Colturato, 2022). Ainda neste sentido, Allchin (2017, p. 102), focado em aspectos de NdC, aponta que seu uso no ensino tem um potencial investigativo:

A história da ciência pode fornecer aos estudantes de ciências percepções sobre a Natureza da Ciência [...]. Como é possível transmitir essas lições de forma eficaz? Pesquisas educacionais indicam que as formas mais eficazes de instrução sobre a NOS envolvem investigação - ou seja, envolver os alunos em seu próprio aprendizado por meio de perguntas e investigações [...]. A estratégia aqui descrita é combinar história e investigação - ou seja, usar uma trajetória histórica para orientar os alunos por meio de sucessivas atividades de investigação e solução de problemas. Em essência, nós os situamos em um contexto histórico da ciência em construção.

Azevedo e Del Corso (2019, p. 23), que seguem a mesma linha de discussão de Natureza da Ciência que Allchin, também têm apontado para os mesmos aspectos, mas destacam ainda que essa inserção pode refletir nos debates sobre o currículo:

A abordagem histórica com fins de ensino e aprendizagem de conceitos e ideias científicas tem sido apontada como uma estratégia frutífera para promover experiências interativas na sala de aula [...]. O uso da história da ciência no ensino de ciências tem sido uma tônica dos debates curriculares do último século.

Contudo, destaca-se ainda que, para a PHC, a história da ciência no ensino não possui um caráter metodológico, mas deve ter a função de explicitar os conteúdos como produtos históricos que refletem as necessidades e possibilidades de uma realidade social. Tais aspectos

podem ser demonstrados a partir das condições econômicas de cada época, sendo portanto, a história parte intrínseca à produção, superando o frequente papel atribuído à ela de mera contextualização e assim, caracterizando o conhecimento como resultado da atividade humana (Messeder Neto, 2022)

Considerando então que a história a ser trabalhada é a de Irène Joliot-Curie, suas implicações para a educação remetem ao conteúdo de radioatividade do componente curricular de química, já que o conhecimento com o qual a cientista trabalhou foi o de radioatividade artificial (Gilmer, 2011). Tal apontamento se deve ao fato deste conhecimento ter sido o principal trabalho da carreira de Irène, e considerando que a pedagogia que permeia a pesquisa é marxista, mostra-se coerente a utilização do trabalho como ponto de partida das discussões materialistas, históricas e dialéticas. Logo, essa categoria também pode ser o meio de manifestação do conteúdo curricular pois “o trabalho é o núcleo a partir do qual podem ser compreendidas as formas da atividade criadora do sujeito humano” (Konder, 2011, p. 23-24).

A respeito do conteúdo de radioatividade, segundo Cordeiro e Peduzzi (2011, p. 1)

em um mapeamento da produção nacional e internacional sobre inserções de física moderna e contemporânea no Ensino Médio desde a década de 1980, apontam para apenas seis trabalhos sobre radioatividade. Em uma revisão bibliográfica similar mais recente [...] notaram um aumento considerável na produção sobre radioatividade, mas ainda irrisório na comparação com outros temas [...]. Dos trabalhos mapeados por eles, todos acabam tratando dos aspectos práticos da radioatividade, seja para a geração de energia, seja pelas catástrofes que ela pode causar. São poucos os artigos que demonstram uma preocupação com as possibilidades educacionais da abordagem histórica e filosófica da radioatividade. Contudo, há algumas pesquisas específicas de historiadores da ciência sobre o assunto. Na literatura brasileira, [...] se restringem à descoberta do fenômeno por Henri Becquerel e aos trabalhos de Marie e Pierre Curie, ou seja, sobre o período da gênese da radioatividade. Mas a radioatividade, em seus primeiros anos, não se esgota em sua gênese.

Contudo, ao tratarmos de qualquer conteúdo, discussões acerca de livros didáticos (LD) são suscitadas, pois segundo Santos (2020), os LD são historicamente o instrumento mais utilizado por professores para a seleção de conteúdos. Além disso, para a PHC, a discussão de conteúdos curriculares e a sua presença no ensino é de extrema importância, uma vez que seus autores defendem que é por meio dos conhecimentos que o aluno pode ser inserido na sociedade a fim de transformá-la (Saviani, 2011a). Por isso, Santos (2020) analisa historicamente a permanência de conteúdos em LD e destaca que o conteúdo de radioatividade, na maioria das vezes em sua forma natural, mas também artificial, “no período inicial já aparecia [...] e resiste até o contexto atual” (Santos, 2020, p. 211). Entretanto, a utilização de

LD reflete ainda uma questão mais ampla da educação, o currículo, uma vez que eles são produzidos a partir destes documentos.

Marsiglia *et al* (2017), Cássio (2018) e Catini (2020) apontam que tem havido um esvaziamento curricular na recente Base Nacional Comum Curricular (BNCC). Isso porque a reformulação dos documentos curriculares que resultou na BNCC não contou com a participação de professores e/ou pesquisadores da área. Na verdade, as maiores contribuições vieram de parcerias público-privadas do programa “Todos pela Educação”, que abriga interesses empresariais e um projeto de mercantilização da educação brasileira (Catini, 2020). Tal processo resultou ainda na reforma do ensino médio, caracterizada por flexibilizar e diminuir a carga horária de várias disciplinas, dentre elas as que compreendem as ciências naturais, como biologia, física e química (Kuenzer, 2019). Para que a escola dê conta do ensino de outras disciplinas mesmo com menor carga horária, muitos conteúdos escolares foram excluídos do currículo e substituídos por aqueles voltados para habilidades socioemocionais (Cássio, 2018; Catini, 2020), restringindo o contato dos estudantes com as artes, a filosofia e as ciências (Marsiglia *et al*, 2017).

Ou seja, o conteúdo de radioatividade, mesmo apontado como constantemente presente em LD - o que nos indica sua histórica presença no ensino de química - tende a desaparecer juntamente com muitos dos conteúdos das áreas negligenciadas. Isso porque, no atual documento da BNCC, o termo “radioatividade” só aparece uma vez em uma habilidade, relacionado com cálculos matemáticos e não com o conteúdo da química:

(EM13MAT305) Resolver e elaborar problemas com funções logarítmicas nos quais seja necessário compreender e interpretar a variação das grandezas envolvidas, em contextos como os de abalos sísmicos, pH, radioatividade, Matemática Financeira, entre outros (Brasil, 2017, p. 536).

É nesse contexto que foi realizada uma análise histórica e filosófica da trajetória de Irène Joliot-Curie e do conhecimento por ela produzido, buscando explicitar as desigualdades de gênero existentes na ciência por meio da trajetória da própria cientista. Isso porque, a tendência da história da ciência de estudar episódios históricos específicos permite-nos discutir e apontar para questões mais gerais da ciência por meio de uma análise materialista, histórica e dialética. Além disso, buscamos colaborar para o avanço da área de estudos de gênero que envolvem ciência e tecnologia sob uma perspectiva crítica, dadas as potencialidades do referencial historiográfico marxista. Considerando-se também o destaque que essa concepção de história dá ao trabalho, um conteúdo escolar pôde ser abordado a partir da principal contribuição científica da cientista que, sendo esta a história da produção desse conhecimento,

pode-se demonstrar a importância do seu ensino e alertar sobre sua ausência nos currículos atuais. Por fim, consideramos que a produção de um material didático investigativo para a PHC, mesmo que tratando-se de uma ferramenta de origens pedagógicas não-críticas, pode contribuir para a construção coletiva de um ensino de química histórico-crítico.

3. METODOLOGIA

Essa seção pretende explicitar os caminhos metodológicos percorridos na realização desta pesquisa, e para isso consideramos a definição de Martins e Lavoura (2018, p. 235) sobre método de pesquisa:

[...] confronto e a relação que permite ao sujeito investigador desnudar as formas fenomênicas de um objeto, apreender o seu movimento, encontrar as determinações constitutivas da dinâmica e desenvolvimento do mesmo. Portanto, o método é portador de uma lógica e se sustenta em uma dimensão ontológica e epistêmica. [...] Para se colocar o método em movimento, há que se utilizar de um conjunto de procedimentos investigativos.

Deste modo, entende-se que neste trabalho o objeto em questão é a história de Irène Joliot-Curie e o conhecimento produzido por ela, a radioatividade artificial. A apreensão do seu movimento e desenvolvimento foi possível pela mobilização de um método investigativo pautado no MHD. A PHC foi utilizada como método pedagógico, a fim de sustentar uma implicação didática para o ensino de química a partir da história analisada, como apresentado no Capítulo 2.

Desse modo, retomamos o estudo historiográfico sobre a vida da cientista feito no TCC a fim de explicitar os principais acontecimentos pessoais, profissionais e históricos que marcaram sua trajetória sob a perspectiva da historiografia marxista (Young, 1990), além de destacar as questões de gênero a partir do efeito Camille Claudel (Lima, 2013). Em seguida analisamos tal história a partir do materialismo histórico utilizando a categoria trabalho, destacando algumas das múltiplas determinações (Colturato; Massi, 2019) às quais Irène foi submetida como cientista ao longo de sua vida. A radioatividade artificial, o conhecimento científico em questão, foi analisada pelo materialismo dialético, buscando captar o movimento da matéria e suas transformações (Martins; Lavoura, 2018). Por fim, uma discussão quanto a importância do ensino deste conhecimento e a proposição de uma ferramenta didática foi realizada.

Por isso, essa seção contém três subseções que explicam os diferentes procedimentos que permitiram a realização do trabalho, coincidindo respectivamente com os três estudos e seus objetivos específicos anteriormente apresentados. A primeira retoma e apresenta a metodologia utilizada no TCC para o estudo historiográfico sobre a vida de Irène Joliot-Curie. A segunda descreve as fontes que foram utilizadas ao longo do referencial teórico e das análises apresentadas nos resultados, assim como a forma que serão mobilizadas. Finalmente, a terceira parte expõe a tentativa de apropriação da ferramenta didático-metodológica escolhida, além de explicar como foram feitas as discussões sobre a importância do conteúdo a partir da PHC.

As fontes e procedimentos aqui descritos são apresentados - não em ordem cronológica - para justificar suas origens e funções no trabalho, uma vez que dizem respeito à apropriação e mobilização do referencial teórico, além de dar base pedagógica para a promoção das implicações didáticas. Ou seja, serviram tanto para a condução das análises históricas e filosóficas, quanto para as discussões do conteúdo e a apropriação da ferramenta a ser utilizada para o seu ensino. O que caracterizou o movimento de conexões entre o sujeito investigador desta pesquisa e o objeto em questão, já que permitiram abstrações do pensamento (estudos) e sua posterior concretização (resultados) (Martins; Lavoura, 2018).

3.1 Estudo 1: A retomada da historiografia e as questões de gênero

Essa parte do trabalho foi feita durante o TCC e teve caráter de pesquisa bibliográfica por inicialmente apresentar uma busca por referências em fontes historiográficas. Para isso, utilizou-se fontes terciárias (Martins, 2005), ou seja, bases nacionais e internacionais *on-line* para buscas em história da ciência, como *Current Bibliography*, *Library of Congress*, *British Library*, Biblioteca virtual Gallica e Portal de Periódicos Capes. Realizou-se também pesquisas em revistas específicas que envolvem temas de história da ciência, educação, química e/ou física, como “Foundations of Chemistry”, “Science & Education” e “Química Nova na Escola”. Quanto às palavras-chaves, “Irène” e “Curie” foram utilizadas com o Operador Booleano “AND” como ferramenta de obrigatoriedade de duas palavras juntas, para evitar a variedade de trabalhos que envolvem o sobrenome Curie.

Posteriormente selecionamos fontes primárias e secundárias. De acordo com Martins (2005), fontes primárias são materiais produzidos na época estudada, secundárias são estudos historiográficos a respeito do período e/ou do autor em questão e terciárias são as bases de dados que armazenam esses materiais. Por isso, foram priorizadas fontes primárias do século XXI encontradas nas bases citadas e fontes secundárias mais atuais produzidas por historiadores da ciência, químicos, professores e autores relacionados à educação. Por se tratar de uma cientista francesa mundialmente reconhecida, foram considerados trabalhos em francês, língua nativa dela, inglês e português.

Após as leituras, a trajetória da cientista foi reconstruída cronologicamente, destacando datas e momentos relevantes da sua vida, com certo enfoque nas produções científicas, por meio de uma linha do tempo, considerando os fatos pessoais, profissionais, culturais, sociais, econômicos e/ou políticos. Isso porque, “[...] os fundamentos ontológicos, têm preponderância sobre os aspectos epistemológicos e a objetividade [...] prevalece sobre a subjetividade” (Colturato; Massi, 2019, p. 174). Deste modo, buscou-se realizar uma pesquisa que considera

a dimensão não só epistêmica como também ontológica, pautada na investigação dos fatos científicos a partir de uma abordagem histórico-social preocupada com a apreensão da realidade concreta enquanto síntese de múltiplas determinações (Martins; Lavoura, 2018).

Após retomar o estudo anterior, avanços foram realizados a fim de contextualizar melhor os fatos e aprimorar as descrições, especialmente para discutir as desigualdades de gênero que emergem da trajetória de Irène. Quanto ao termo trajetória, apoiou-se na mesma ideia de Lima (2019, p. 28) quando discutiu a história de outra cientista com objetivos parecidos com os deste trabalho:

Definimos trajetória como um conjunto de fatos sucessivos ocupados por uma personagem, em um espaço que está sempre sujeito a transformações constantes. Sendo assim, compreendemos que a apresentação de fatos, apesar de se mostrar linearmente, obedecendo uma sequência cronológica nesse texto, a nossa ideia é que os fatos registrados sejam ressignificados. Pretendemos que sejam ampliados, investigados e interpretados sob um olhar que valorize o lugar da personagem e considere fortemente o seu marcador identitário de gênero, compreendendo-o como justificante do curso das etapas por ela ultrapassadas. Os contextos sociais e políticos também devem ser levados em consideração, uma vez que eles são importantes para localizarmos o preconceito de gênero historicamente e não cairmos no anacronismo.

A diferença desta pesquisa em relação à citada acima é a necessidade já destacada de discuti-la sob uma perspectiva crítica, mais especificamente marxista. Por isso, os historiadores escolhidos para fomentar as discussões sobre o contexto social, político e científico utilizam essa mesma perspectiva para que o trabalho mantenha uma coerência na fundamentação histórica. Sendo assim, apoiou-se em John Desmond Bernal para uma contextualização de aspectos referentes à historiografia da ciência e em Eric Hobsbawm para uma discussão sobre as questões da história geral. Tais encaminhamentos tiveram o objetivo de destacar a importância da história de Irène Joliot-Curie, localizando-a na história geral e da ciência, sob uma perspectiva coerente com o materialismo histórico e dialético. Entende-se que esses são historiadores com trabalhos e objetivos diferentes, por isso eles foram articulados em momentos distintos. Bernal apareceu em apontamentos ao longo da história de Irène, enquanto Hobsbawm contribuiu com discussões sobre trabalho e na organização para a produção da narrativa histórica.

3.2 Estudo 2: O materialismo histórico e dialético

A apropriação do método materialista histórico e dialético foi feita em um grupo de estudos no qual as obras discutidas foram decididas conjuntamente pelos membros. Deste modo, estes estudos foram concomitantes com o desenvolvimento deste trabalho, e por isso,

são suas principais referências. As obras estudadas foram “A dialética materialista: categorias e leis da dialética” (Cheptulin, 2004), “Dialética da natureza” (Engels, 2020), “Materialismo dialético - Academia de Ciência da URSS” (Trochin, 1955) e “Filosofia da Práxis” (Vázquez, 2007). Assim, as categorias e leis do método foram apreendidas e as que apresentavam maior conexão com os objetivos deste trabalho foram selecionadas para guiar as análises da história e do conhecimento: trabalho, alienação, materialidade, quantidade e qualidade. É importante destacar que essa seleção não se deu *a priori*, mas a partir da análise historiográfica da vida e obra de Irène que foi produzida no TCC. Diante desses dados, ao realizar o estudo teórico do marxismo, reconhecemos algumas categorias que emergiram para a compreensão da realidade investigada. Apresentamos essas bases teóricas a seguir.

A categoria trabalho foi escolhida para a análise da história da produção do conhecimento porque se compreende que ela rege o sistema econômico e pode revelar dimensões importantes da trajetória de Irène em relação a superestrutura. Segundo Young (1990a, p. 77, tradução nossa),

[...] a característica definidora da abordagem marxista na história da ciência é que a história das ideias científicas, das prioridades de pesquisa, dos conceitos da natureza e dos parâmetros de descobertas está enraizada em forças históricas que são, em última instância, socioeconômicas.

Neste momento, vale o destaque de que todas as versões da história marxista da ciência tratam a ciência como estando dentro das forças históricas, ou seja, é uma concepção materialista da história que a define como a produção e reprodução da vida real (Young, 1990a). Entretanto, aponta-se para o fato de que há nessa perspectiva distorções causadas por leituras equivocadas da teoria da história de Marx, no que se refere: às teorias estruturalistas, que conectam unicamente a produção intelectual às questões estruturais, desconsiderando a influência de quaisquer outros fatores sociais que são reconhecidos historicamente (raça, gênero, cultura etc.); e as teorias da totalidade, que faz a ciência transcender à sociedade isolando-a em direção a compreensão da totalidade, que por sua vez, é inalcançável (Young, 1990a).

Por isso, para não cair em nenhum dos extremos, Young (1990a) discute as possibilidades da teoria da mediação que, se apoiando em nomes importantes para o marxismo, como o próprio Marx, Engels e Lukács, ele defende como uma perspectiva coerente com os ideias marxistas. Nesta linha, o autor demonstra que a economia é a base, mas que todos os outros elementos da superestrutura são considerados também, como a política, a luta de classes, as leis, e conseqüentemente, as visões de mundo, a filosofia, os valores. Mesmo percebendo

todos esses elementos em interação para a composição da história humana e a produção de conhecimento, Young aponta para o fato de que existem relações indiretas e remotas, por isso não precisam ser consideradas todas ao mesmo tempo. Ou seja, trata-se de uma teoria dialética, localizada no intermédio entre as discussões a respeito da história como fruto da superestrutura econômica e na totalidade reconhecida e dimensionada para que seja possível estudá-la. Por isso, o autor define que tal perspectiva deve ter como foco o trabalho (Young, 1990a, p. 79):

Para resumir a forma menos rígida das abordagens marxistas à história da ciência que se enquadram no domínio da teoria da mediação, dever-se-ia começar pelo conceito de trabalho e do processo de trabalho como a chave da história humana. [...] O efeito líquido desta abordagem consiste em alargar e aprofundar a perspectiva: enraizar as explicações no trabalho e no processo de trabalho, tratar os conceitos historicamente, investigar as ligações e articulações da forma mais completa possível e ter sempre presente que a seta da causalidade se move do ser para a consciência.

A historiografia marxista, baseada na teoria da mediação, se fixa no conceito de trabalho, investigando suas articulações com a superestrutura para reforçar a concepção materialista de que o conhecimento é produzido do ser para a consciência e assim, negar a ideia de ciência se desenvolve unicamente da idealização, das abstrações na consciência dos cientistas. Ou seja, essa perspectiva permite considerar a totalidade, não como a conexão imediata ou somativa de todos os elementos, mas com o reconhecimento de que as interações existem com a primazia da realidade material considerando suas particularidades.

Além disso, reconhecemos que Young tinha como foco principal o papel da ciência na sociedade, valorizando muito o contexto e se distanciando do trabalho científico do laboratório de fato (Secord, 2021). Por isso, ao organizar e apresentar a história de Irène nos preocupamos em trazer tanto a química e as descrições fenomenológicas da cientista quanto o contexto social e histórico na busca de particularidades, na medida em que as fontes historiográficas obtidas nos possibilitaram. Destaca-se que Young tem sua importância reconhecida até hoje por ter dado início a uma perspectiva de “história social intelectual” para a história da ciência, permitindo que “uma geração posterior levasse este projeto mais longe [...] e revelando novos espaços para a ciência povoada por mulheres, artesãos e outros grupos até então marginalizados” (Secord, 2021, p. 54, tradução nossa).

Em outro trabalho, Young (1990b) discute sobre o processo de divisão do trabalho e aponta para o fato de que a alienação faz parte da sua concepção, já que a fragmentação do trabalho provocada pelo capitalismo acarreta a desumanização do trabalhador. Por isso, sendo algo intrínseco a esse processo, a discussão dessa categoria também foi feita, a fim de dimensionar o impacto disso no trabalho de Irène e nas consequências da sua descoberta tanto

para a própria ciência, quanto para a sociedade. Para manter essas discussões também coerentes com os referenciais marxistas, um filósofo brasileiro foi mobilizado, Álvaro Borges Vieira Pinto, que, apesar de sua obra não ser tão recente, é um dos únicos que trabalhou com a especificidade da alienação no trabalho científico a partir de uma posição materialista e dialética. Esse autor viveu e produziu suas obras no Brasil durante o século XX, ou seja, foi responsável por trazer para o contexto nacional o método marxista em meio ao grande desenvolvimento industrial da época. Por isso, transpõe os aspectos propostos por Marx sobre o trabalho fabril para o trabalho científico. Observamos em nossa análise que isso pode ter implicado em algumas distorções sobre a ciência, mas pela coerência filosófica, epistemológica e filosófica, adotamos algumas de suas ideias que provocam discussões pertinentes. Portanto, reconhecendo seus limites, três categorias suas foram utilizadas apenas para guiar as análises, mas as discussões que conectam com a história da Irène pretendem ir além e contemplar visões de ciência mais atuais.

Já a lei da quantidade e qualidade foi utilizada porque as principais referências aqui citadas sobre o método, como Engels (2020) e Cheptulin (2004), quando tratam da radioatividade em seus exemplos sobre a dialética da natureza, normalmente a relacionam a essa lei. Além disso, considerando que a radioatividade diz respeito a um fenômeno de transformação da matéria, entender seus movimentos é crucial para compreendê-la em sua essência. Analisando especificamente a radioatividade artificial, podemos explicitar filosoficamente a capacidade humana de se apropriar da natureza a fim de usá-la a seu favor. Essas análises foram feitas por meio de trechos do discurso de Irène na premiação do Nobel de 1935, visto que este representa o momento em que suas ideias estavam no foco das discussões científicas da época e que se tornaram consensuais para a comunidade, já que ela estava recebendo o maior reconhecimento do meio. Tais esforços, portanto, visam explicitar aspectos do objeto que refletem as definições das categorias e da lei, e assim, refletindo sua própria essência (Colturato; Massi, 2019).

Portanto, a primeira análise tem um caráter sociológico, relacionando aspectos históricos e econômicos com a história da cientista, que de acordo com Young (1990a), pode demonstrar as forças materiais que definiram o trabalho dela. Enquanto a segunda, apresenta reflexões de caráter filosófico quanto ao entendimento sobre o conhecimento produzido por ela, ou ainda, pode revelar as forças intelectuais dessa história (Young, 1990a). Essa tensão entre material e intelectual discutida pelo autor e apresentada no Capítulo 5 é uma característica essencial do materialismo histórico e dialético, já que é essa relação dialética que permite a

transformação humana da realidade. Lessa e Tonet (2011, p. 23) descrevem tal conexão da seguinte maneira:

Para Marx, o mundo dos homens nem é pura ideia nem é só matéria, mas sim a síntese da ideia e matéria que apenas poderia existir a partir da transformação da realidade (portanto, é material) conforme um projeto previamente ideado na consciência (portanto, possui um momento ideal).

Apesar dessa relação dialética, o método ainda considera a primazia da matéria: “Sem a materialidade não poderia existir a consciência dos homens. Nesse preciso sentido, a matéria é anterior à consciência” (Lessa; Tonet, 2011, p. 23). Com inspiração nessas reflexões, a análise parte do trabalho de Irène em suas determinações históricas concretas para posteriormente ascender às reflexões filosóficas, indo do material ao ideal.

3.3 Estudo 3: As implicações didáticas

A pesquisa proporcionou duas implicações didáticas, como já citado, a primeira sobre a importância do conteúdo que emerge da história estudada, que é no caso a radioatividade em sua forma natural e artificial, enquanto a segunda se trata da proposição de um material que permite o ensino desse conteúdo por meio da própria história. Deste modo, alguns autores da PHC sobre conteúdos clássicos, especialmente Santos (2020), foram mobilizados a fim de explicitar a relevância da radioatividade no currículo. As principais fontes utilizadas sobre a pedagogia em questão foram estudadas durante a disciplina “Pedagogias críticas: bases teóricas para a formação e ação de professores de Ciências”, ministrada pela Professora Doutora Luciana Maria Lunardi Campos e pelo Professor Doutor Renato Eugênio da Silva Diniz. Além de indicações de outros professores e identificação por meio de estudos e levantamentos, abrangendo algumas das principais obras de Dermeval Saviani (2007, 2008, 2011a, 2011b, 2015, 2021) e outros autores como Newton Duarte (1994), Lígia Márcia Martins e Tiago Nicola Lavoura (2018), Hélio Messeder Neto (2022) etc.

Deste modo, tendo claros os objetivos da educação e a importância do ensino de conteúdos, a conexão com as discussões acerca da história permitiu a apresentação da radioatividade (natural e artificial) como conteúdo escolar, além de iluminar os caminhos metodológicos da produção de uma ferramenta didática para seu ensino, uma vez que o instrumento escolhido é proveniente de outra perspectiva pedagógica. Seu formato foi escolhido por meio do contato com a Doutora Nathália Helena Azevedo Pereira, que possui experiência com propostas investigativas e vem trabalhando com o uso de narrativas históricas no ensino de ciências. Tal material é baseado em Allchin (2017), que aponta a história como

um facilitador do aprendizado de aspectos de NdC e do conteúdo. Assim, essas narrativas históricas

[...] revelam a incerteza da ciência em construção, para ensinar como as conclusões derivam das evidências, e não o contrário [...]. Uma linhagem histórica de perguntas também ajuda a estruturar a investigação (por meio de uma narrativa episódica ou "interrompida") [...]. O formato narrativo em si é envolvente e também fornece uma trajetória que leva a uma resolução segura da investigação, que é inerentemente aberta (Allchin, 2019, p. 180, tradução nossa).

Então, o formato proposto pelo autor é de uma narrativa baseada em um episódio histórico real sobre a produção de algum conhecimento científico, com pausas pontuadas por perguntas (Allchin, 2011b). Tais questões têm o objetivo de promover uma reflexão crítica tanto quanto os conceitos do conteúdo em questão, quanto dos aspectos de NdC (Rudge; Howe, 2009). As perguntas devem ser abertas para permitir diferentes caminhos de resolução, assim como na ciência verdadeira, assim, para buscar reproduzir um processo verídico, elas são feitas em momentos-chave de decisões verdadeiras dos personagens envolvidos (Allchin, 2013).

A principal ideia acerca dessa ferramenta didática é estimular a criatividade e favorecer o engajamento dos estudantes, demandando a habilidade de mediação do professor. Além disso, “o objetivo principal de incorporar aspectos da NdC no ensino e aprendizagem de ciências é ajudar a formar indivíduos cientificamente alfabetizados (Hodson, 2014), ou seja, com uma visão ampla e discernimento para lidar com questões cotidianas” (Azevedo; Del Corso, 2017, p. 23). Tal descrição que objetiva o ensino de conteúdos ao entendimento do cotidiano, caracteriza perspectivas pedagógicas de caráter neonstrutivista (Saviani, 2007), explicitando aqui nosso principal distanciamento da proposta. Isso porque, considerando a PHC, o objetivo do ensino dos conteúdos está sempre vislumbrado na prática social do aluno, um conceito que extrapola o cotidiano (Saviani, 2011a).

Sendo assim, buscamos readequar as instruções metodológicas de Allchin considerando outros autores com distintas visões de mundo, sociedade e educação, a fim de se apropriar da ferramenta enquanto forma readequada a novos conteúdos, na medida em que se produz uma narrativa histórica de acordo com os objetivos educacionais e perspectiva da importância dos conteúdos para a PHC. Uma apropriação inicial da proposta foi feita por meio de leituras indicadas pela Doutora Nathália com foco nos trabalhos do Professor Doutor Douglas Allchin, que foram utilizados como referência neste trabalho. A principal leitura foi Allchin (2017), por se tratar de um volume dos Cadernos de História da Ciência exclusivo para narrativas históricas brasileiras, serviram de exemplos e modelos para a nossa produção. Além disso, foi utilizado o Quadro 1 disponibilizado por Allchin (2011a, p. 525, tradução nossa) sobre as dimensões de

confiabilidade da ciência para a proposição dos aspectos de natureza da ciência que seriam trabalhados na nossa narrativa.

Quadro 1 - Listagem de aspectos de NdC baseados nas dimensões de confiabilidade da ciência.

1. Observações e raciocínios

- relevância de evidência;
- papel do estudo sistemático ou da observação (versus anedota);
- exaustividade das provas;
- robustez (concordância entre diferentes tipos de dados);
- papel da probabilidade na inferência
- explicações alternativas;
- informação verificável versus valores;

2. Métodos de investigação

- experiência controlada (uma variável);
- estudos cegos e duplamente cegos;
- análise estatística do erro;
- replicação e dimensão da amostra;
- correlação versus causalidade;

3. História e criatividade

- consonância com as provas estabelecidas;
- papel da analogia, pensamento interdisciplinar;
- mudança conceitual;
- erros e incertezas;
- papel da imaginação e da síntese criativa;

4. O contexto humano

- espectro de motivações para fazer ciência;
- espectro das personalidades humanas na ciência;

5. Cultura

- papel das crenças culturais (ideologia, religião, nacionalidade, etc.);
- papel dos preconceitos de gênero;

- papel dos preconceitos raciais ou de classe;

6. Interações sociais entre cientistas

- colaboração ou competição entre cientistas;
- formas de persuasão;
- credibilidade;
- revisão por pares;
- limites das perspectivas teóricas alternativas e da crítica;
- resolução de desacordos;
- liberdade acadêmica;

7. Processos cognitivos

- viés de confirmação/papel das crenças anteriores;
- percepções emocionais versus percepções de risco baseadas em provas;

8. Economia/financiamento

- fontes de financiamento;
- conflito de interesses pessoais;

9. Instrumentação e práticas experimentais

- novos instrumentos e sua validação;
- modelos e organismos-modelo;
- ética da experimentação em seres humanos;

10. Comunicação e transmissão de conhecimentos

- normas de tratamento de dados científicos;
- natureza dos gráficos;
- credibilidade de várias revistas científicas e meios de comunicação social;
- fraude ou outras formas de má conduta;
- responsabilidade social dos cientistas.

Fonte: Allchin (2011a)

Contudo, Allchin não propõe diretamente uma metodologia de produção das narrativas. Nosso trabalho se deu a partir das necessidades que o material exigiu ao longo do processo. Apresentamos a seguir as etapas pelas quais produzimos a narrativa histórica baseada na história de Irène Joliot-Curie, descrevendo o que funcionou em nosso caso. Destaca-se que tais

passos não se seguiram linearmente, já que há uma relação de interdependência entre eles e foram sendo concluídos concomitantemente ao longo da escrita. Além disso, não estamos propondo etapas definitivas para a produção de tais materiais, entendemos que cada história a ser utilizada apresenta particularidades e foge ao escopo desta pesquisa fazer tal proposição. Ressaltamos que será apresentado aqui apenas uma descrição geral dos passos e que eles serão retomados e detalhados no Capítulo 7 desta dissertação, além de relatos das aplicações informais do material que foram realizadas ao longo do seu desenvolvimento.

1) A busca pelo problema real

Revisão da história já reconstruída no TCC, a fim de aprimorá-la e adaptá-la à um formato didático. Além de buscar contextualizá-la quanto aspectos econômicos e sociais da época em que Irène Joliot-Curie foi premiada pelo Nobel para entender a necessidade social e política pelo conhecimento que ela produziu;

2) Escolha do conteúdo

Irène Joliot-Curie produziu conhecimentos acerca da radioatividade artificial, um conteúdo não muito trabalhado no Ensino Médio. Por isso, buscou-se conexões entre a radioatividade natural (comumente ensinada) e a artificial, a fim de posicionar a segunda como uma consequência e aplicação da primeira;

3) A criação do problema didático

Entendido o problema histórico real que levou a produção do conhecimento e definido o conteúdo que seria trabalhado, o problema investigativo pôde ser definido a fim de contemplar tanto a conexão com a realidade, quanto o ensino do conteúdo;

4) As questões para pensar

Com o problema investigativo definido, o caminho de sua resolução pode ser traçado considerando o conteúdo que o aluno deveria dominar ao final, mas também as reflexões acerca das questões metacientíficas que ele deveria fazer ao longo da história;

5) A não-linearidade da narrativa

O desenrolar da história deveria engajar os alunos na resolução do problema proposto e fazer emergir os aspectos de NdC. Por isso, a história de Irène não teria todas as suas partes utilizadas, mas apenas aquelas que interferiram diretamente na produção do conhecimento, e assim, podem ajudar na investigação.

Portanto, esses passos de produção da narrativa foram resultado de uma tentativa de aproximação entre a proposta da sua perspectiva de origem e da PHC. Além disso, tratou-se de uma aplicação dos resultados obtidos nos Estudos 1 e 2 desta pesquisa. Embora as etapas de análises dos três estudos foram desenvolvidas concomitantemente, com os resultados de um

influenciando no desenvolvimento dos outros, os esforços em relação ao entendimento da história, do marxismo, do gênero e da pedagogia são interdependentes. Por isso os resultados, principalmente do Estudo 3, permeiam entre si, mas são incipientes, pois são fruto de uma tentativa inicial marcada pelo tempo restrito do mestrado.

A seção seguinte inicia a apresentação dos resultados desta pesquisa, sendo iniciada pela história retomada do TCC e seguida da discussão acerca da importância do conhecimento produzido por Irène e Frédéric.

4. ESTUDO 1: IRÈNE JOLIOT-CURIE E A RADIOATIVIDADE ARTIFICIAL

Neste capítulo, buscou-se retomar a história de Irène Joliot-Curie sob a perspectiva historiográfica da teoria da mediação apresentada por Young (1990a) como uma tendência da historiografia marxista. Tal teoria reflete o esforço do método marxiano de tentar captar a realidade em sua totalidade, especificamente nesse caso, de compreender um episódio da história da ciência nas múltiplas determinações do movimento histórico. Com isso, os fatores determinantes que compõem o todo a ser analisado devem ser estudados tanto com a visão atual de ciência e sociedade, quanto com o que se entendia durante a época em questão. O que explicita a preocupação do método em conjugar “a análise diacrônica (da gênese e desenvolvimento) com a análise sincrônica (sua estrutura e função na organização atual)” (Netto, 2011, p. 49), mantendo-o alinhado com as tendências da área de HFC que propõem o mesmo movimento (Kragh, 2001).

Destaca-se que essa abordagem nos serviu de base historiográfica e justificativa para a ordem de apresentação das análises, já que utilizamos a categoria trabalho como ponto de partida para as discussões do método materialista, histórico e dialético. Tal utilização se deve ao fato de termos buscado entender a história analisada em sua conexão com a estrutura econômica e a totalidade, com o cuidado de não cair nos extremos, apresentando tanto sua contextualização quanto seus aspectos singulares. Assim, pudemos manter a coerência com a base marxista que destaca a importância do trabalho, levando em conta aspectos científicos, sociais e políticos, sob um equilíbrio entre a gênese do conhecimento e seu impacto para a sociedade.

A trajetória da cientista foi apresentada em sua ordem cronológica, destacando o contexto histórico e científico do século XX, bem como sua principal produção científica, a radioatividade artificial. Em meio a isso, as questões de gênero foram explicadas conforme as situações da história iam permitindo tais reflexões, apoiando-se principalmente na ideia do labirinto de cristal proposto por Lima (2013, p. 886):

O labirinto de cristal [...] indica que os obstáculos encontrados pelas mulheres, simplesmente por pertencerem à categoria “mulher”, estão dispostos ao longo de sua trajetória acadêmica, e até mesmo antes, na escolha da área de atuação. [...] Assim, as contribuições presentes na metáfora do labirinto são: a) o entendimento de que os obstáculos estão presentes ao longo da trajetória profissional feminina, e não somente em um determinado patamar; b) a compreensão de que a inclusão subalterna das mulheres nas ciências e sub-representação feminina nas posições de prestígio no campo científico são consequências condicionadas por múltiplos fatores; c) a concepção de que as barreiras e armadilhas do labirinto não estão somente associadas à ascensão na carreira, mas também ao ritmo do ganho de reconhecimento de atuação das cientistas e à sua permanência ou não em uma

determinada área. Apesar de sua concretude, os obstáculos do labirinto também são transparentes como um cristal e podem passar despercebidos, já que suas armadilhas são construídas na massa cultural. [...] Explorei três tipos de complexos obstáculos dispostos no labirinto: a) o dribble da dor, por meio de duas representações sociais: a de supermulheres e a de inteligências descorporificadas; b) a presença dos sexismos automático e instrumental; e c) o conflito entre os discursos sobre “ser mulher” e “ser cientista” e seu consequente efeito Camille Claudel.

Ou seja, o efeito Camille Claudel, apresentado na introdução desta dissertação, trata-se de um dos conceitos dispostos dentro do labirinto juntamente com a ideia da fragmentação das personalidades de mulheres cientistas. Destaca-se, portanto, que essa é a principal ideia que será mobilizada acerca das questões de gênero na análise da história de Irène, especialmente porque trata de discussões da endogamia disciplinar (casamento entre cientistas da mesma área) que se mostraram presentes na vida da cientista.

Ademais, foi discutida também a questão da materialidade expressa pelo desenvolvimento da química, já que Engels (2020) afirma, considerando a primazia da matéria em relação à consciência, que a compreensão da natureza deve emergir dela própria, e não da consciência humana. Por isso, o entendimento da constituição química das formações materiais é possível apenas pela própria existência da natureza química da matéria. Os próprios cientistas, como Linus Pauling (1950) por exemplo, afirmam que, diferentemente dos físicos, os químicos são interessados em diferentes tipos de matéria. Ou seja, depreende-se desses autores que a química apresenta aspectos de uma ciência materialista, já que permite ao homem o entendimento da sua própria realidade que por sua vez, é material.

Tal relação do homem com a realidade material, ou ainda, com a natureza, é realizada do mesmo modo que qualquer outra interação do homem com o meio, pelo trabalho. Inclusive, tratando-se das ciências que buscam compreender a matéria, o homem intervém na realidade criando condições artificiais para objetivar possibilidades a seu favor, acelerando ou freando processos (Cheptulin, 2004). Esse trabalho do ser humano na ciência é caracterizado como atividade científica, que trata então de uma forma de práxis que satisfaz as necessidades teóricas com comprovação de hipóteses (Vázquez, 2007). O pesquisador atua sobre um objeto material modificando as condições da sua existência e reproduzindo artificialmente seus fenômenos naturais, mantendo o objeto sob o controle humano (Vázquez, 2007). Deste modo, entende-se a ciência como uma atividade exclusivamente humana e parte de sua essência, uma vez que se trata da busca por entendimento e transformação do meio para suprir as suas necessidades.

Convergindo com essa ideia, o estudo de episódios da história da ciência com foco em processos de artificialização da natureza tornou-se uma tendência da área, segundo Alfonso-Goldfarb, Ferraz e Beltran (2004, p. 62-63):

Temos buscado centrar nossas pesquisas em recortes temáticos abordando em particular aqueles ainda pouco esclarecidos sobre a ciência da matéria. [...] A partir desses estudos, ficou evidente que a abordagem de novos recortes temáticos sustentava-se em dois eixos interligados. O primeiro deles referia-se à questão do natural e do artificial na ciência da matéria.

Por isso, esta seção busca contribuir para as discussões sobre a especificidade da química levando em conta a definição de trabalho científico aqui apresentado, partindo do pressuposto de que essa categoria analítica engloba essa tendência de se estudar episódios que explicitam a tensão entre o natural e o artificial na ciência. Tais análises serão feitas a partir da história de Irène Joliot-Curie e da radioatividade artificial. Assim, espera-se trazer elementos que apontem para a hipótese de que a química é uma ciência materialista e que por isso, as tentativas de transformar e artificializar a matéria são importantes para a sua compreensão.

4.1 Irène Joliot-Curie

Como citado na apresentação deste trabalho, o projeto de mestrado foi pensado para dar continuidade ao TCC, no sentido de maiores contextualizações da história e aprofundamentos das discussões de gênero. Entretanto, nenhuma nova fonte sobre Irène Joliot-Curie foi encontrada no decorrer da pesquisa, já que os principais esforços foram direcionados para as partes deste trabalho que ainda não estavam prontas, como as discussões filosóficas e as implicações didáticas. Com isso, decidiu-se que a história seria mantida, apenas com alguns aprimoramentos quanto à sua forma, a fim de priorizar o avanço da pesquisa em sentido diferente do TCC.

Retomaremos aqui os principais resultados do trabalho anterior para explicitar as fontes utilizadas e a história reconstruída, pois mesmo que não tenhamos acrescentado discussões historiográficas, a história pôde ser refinada em sua escrita e apresentação. Destaca-se também que esta história foi escrita com base nos textos do levantamento, todos lidos na íntegra para ter suas informações cruzadas e organizadas de maneira cronológica. No Quadro 2 apresentamos as fontes encontradas e escolhidas no levantamento bibliográfico sobre a cientista.

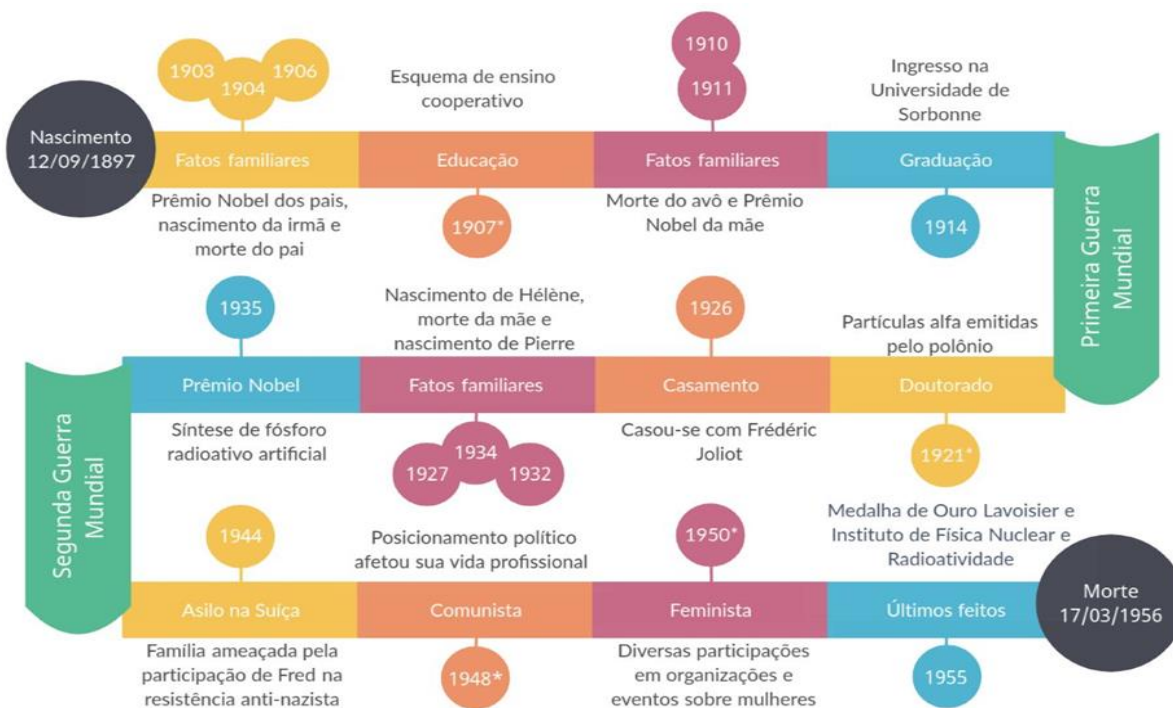
Quadro 2 - Materiais selecionados durante a pesquisa de TCC para análise no levantamento bibliográfico

Fonte primárias
<i>Irène Joliot-Curie</i> - Revista Nature (Chadwick, 1956)
Discurso de Irène na premiação do Nobel (Curie-Joliot, 1935)
Discurso de Fred na premiação do Nobel (original e traduzido) (Joliot, 1935)
Biografia de Frédéric Jolior-Curie (Blackett, 1960)
Fontes secundárias
<i>A Devotion to their Science: Pioneer Women of radioactivity / Irène Joliot-Curie: following in her mother's footsteps</i> (Crossfield, 2005)
<i>As mulheres e o Prêmio Nobel de Química</i> (Farias, 2001)
<i>“But she’s an avowed Communist!”: L’Affairee Curie at the American Chemical Society, 1953-1955</i> (Rossiter, 1997)
<i>Celebrating the 100th Anniversary of Madame Marie Skolodowska Curie’s Nobel prize in Chemistry / Irène Joliot-Curie, a Nobel Laureate in Artificial Radioactivity</i> (Chiu; Gilmer; Tregaust, 2011)
<i>Marie and Irène Curie, Mother and Daughter, Two Ladies, Three Nobel Awards</i> (Dimié; Jandrié, 2017)

Fonte: Elaborado pela autora (Lima, 2022)

A Figura 1, apresentada abaixo, apresenta uma linha do tempo produzida para facilitar a visualização dos fatos, seguida pelo texto completo da história de Irène Joliot Curie e da radioatividade artificial. Entretanto, mesmo que tenhamos utilizado o formato da linha do tempo, reconhecemos que seu uso isolado pode fragmentar e reduzir a história, por isso recomendamos sua leitura juntamente com os fatos apresentados e discutidos posteriormente.

Figura 1 - Linha do tempo com os principais fatos da vida de Irène Joliot-Curie



*Anos sugeridos pela autora e/ou anos não exclusivos do acontecimento.

Fonte: Elaborado pela autora (Lima, 2022).

A busca do homem pela apropriação da matéria em suas diferentes formações se estende ao longo dos anos que sucederam a alquimia, podendo ser vista em alguns períodos da história da química como: no séc. XVI com a filosofia química dada pela relação entre ciência, filosofia e medicina (Debus, 2002), séc. XVII com Robert Boyle (1627-1691) marcando uma nova forma de interpretar a natureza (Alfonso-Goldfarb, 1987), séc. XVIII com o estabelecimento da química como uma ciência moderna com as contribuições do casal Lavoisier [Antoine Lavoisier (1743-1794) e Marie-Anne Lavoisier (1758-1836)] (Antonelli, 2022) e no séc. XIX com a síntese de substâncias orgânicas a partir de inorgânicas (Ramberg, 2000), além da organização periódica um pouco depois (Scerri, 2015).

Entretanto, foi apenas na virada para o século XX e ao longo dos próximos anos que o entendimento sobre a matéria teve maiores avanços (Cordeiro; Peduzzi, 2011), já que foi nesse período que a ciência se expandiu e desde então “não há domínio da natureza onde a ciência não penetre” (Bernal, 1975, p. 1281). Em 1895, Wilhelm Conrad Röntgen (1845-1923) obteve os primeiros resultados sobre o fenômeno da radiação, os raios X (Cesareo, 2010). Já em 1903, Marie Curie (1867-1934) e Pierre Curie (1859-1906) em sua parceria científica com Antoine

Henri Becquerel (1852-1908) produziram conhecimento científico capaz de interpretar o fenômeno existente na natureza da radioatividade espontânea (Pierre, 1905). Eles foram condecorados pelo Nobel de física em 1903 por essa contribuição e Pierre em sua palestra da premiação, disse: “Esta é, portanto, uma verdadeira teoria da transmutação dos elementos, embora não como os alquimistas a entendiam, mas a matéria inorgânica evoluiria necessariamente através do tempo de acordo com leis imutáveis” (Pierre, 1905, p. 77, tradução nossa).

Com a ciência se desenvolvendo na física elétrica e com o retorno das discussões atomísticas, eles conseguiram descobrir uma fonte de energia de ocorrência natural jamais vista, que contrariava a imutabilidade dos átomos e a conservação de energia de Lavoisier (Bernal, 1969). Além disso,

[...] não passou despercebida pelos diversos cientistas que se debruçavam sobre a radioatividade naquele começo de século 20 a magnífica fonte de energia que os elementos radioativos liberavam, e em suas primeiras pesquisas, Soddy [Frederick Soddy (1877-1956)] calculou, juntamente a Rutherford [Ernest Rutherford (1871-1937)], a quantidade de energia envolvida nos fenômenos radioativos. Em seus anos na Universidade de Glasgow, Soddy publicou diversos trabalhos enfatizando a importância da busca por geração de energia através de processos atômicos. Ele já previa que a industrialização exigiria uma energia que as fontes de combustíveis disponíveis até o momento não dariam conta de suprir, apontando para a utilização de energia atômica e enfatizando a necessidade de se pesquisar processos que pudessem proporcionar essa transformação. (Cordeiro; Peduzzi, 2011, p. 9)

A radioatividade espontânea rendeu outros desdobramentos para o avanço da área. Tanto físicos como químicos puderam se apropriar desse fenômeno e estudá-lo de diferentes formas. Ernest Rutherford, por exemplo, foi também o responsável por caracterizar os três tipos diferentes de raios emitidos pelos elementos radioativos, sendo eles alfa, beta e gama (Rutherford; Chadwick; Ellis, 2010). Para além da ciência, os impactos desse conhecimento chegaram também na sociedade, assim como o casal Curie, o Rádium se tornou popularmente famoso pela sua emanção radioativa capaz de interferir em tumores e cancro, lhe foi atribuída a fama de substância milagrosa (Gonçalves-Maia, 2012). Segundo Gonçalves-Maia (2012), a crença infundada era de que ele poderia curar várias doenças, tornando-o uma substância indispensável à saúde. A autora descreve alguns dos produtos criados a base do elemento, como pode-se observar na Figura 2, mas destaca: os cosméticos, majoritariamente utilizados pelo público feminino; e a produção de relógios para soldados da Primeira Guerra Mundial (1914-1918) com ponteiros brilhantes pintados com Rádium, produzidos em uma fábrica em Nova

lorque que só contratava mulheres por se tratar de uma “pintura muito minuciosa” (Gonçalves-Maia, 2012, p. 33).

Figura 2 - Cartaz de propaganda de uma linha de creme facial à esquerda e um batom à direita, ambos contendo rádio.



Fonte: Alves, 2021.

Leal e Forato (2021) discutem detalhadamente esse episódio dos relógios, já que “a exploração de jovens mulheres com exposição diária à radioatividade também pode ser considerado um episódio nefasto da história da radioatividade” (Leal; Forato, 2021, p. 252-253). Segundo as autoras, muitas mulheres foram contratadas para esse trabalho por suas “habilidades manuais”, além de se tratar de mão de obra barata e da escassez de homens no mercado da época, já que a maioria estava na guerra. O tempo de exposição à tinta radioativa e o método utilizado de passar o pincel entre os lábios para dar maior precisão na pintura fizeram com que muitas delas passassem a apresentar problemas de saúde ao longo dos anos (Leal; Forato, 2021). Mesmo com os casos de tumores, necroses e problemas nos ossos da face, a empresa agiu de forma negligente por anos, emitindo pareceres e testes falsos pelo trabalho de um médico contratado para descredibilizar as denunciante e não se responsabilizar pelas consequências (Leal; Forato, 2021).

Marie e Pierre discordavam desse uso indiscriminado, mas por não terem patenteado o elemento, era praticamente impossível controlar seus usos comerciais, então seguiam tentando manter alguns bons usos da sua descoberta (Gonçalves-Maia, 2012). Inclusive, também durante a primeira grande guerra, Marie já viúva, convidou a filha Irène Curie (1897-1956) que já era enfermeira e estava se formando em química na Universidade de Paris, para ajudá-la em um serviço de radiologia nos campos de batalha (Gilmer, 2011). Juntas, trabalharam em uma frota

de vinte veículos radiológicos, capazes de transportar um médico, um assistente e o material de raio-x dinamométrico (Crossfield, 1997; Gilmer, 2011). O aparelho tinha o objetivo de identificar balas e estilhaços nos corpos de soldados da Primeira Guerra Mundial que estava ocorrendo em Paris com a invasão alemã (Gilmer, 2011). Irène Curie (1897-1956), filha de Marie, estava se formando em química na Universidade de Paris, mas tinha um curso de enfermagem que a permitiu ajudar e participar dos atendimentos com a mãe (Farias, 2001), como indicado na Figura 3. Além da atuação com a mãe (Chadwick, 1956), Irène a ajudou na criação de instalações de raio-x em hospitais militares de Amiens (França) e Ypres (Bélgica).

Figura 3 - Marie e Irène Curie em atuação durante a Primeira Guerra Mundial



Fonte: Jandrié; Dimié, 2017.

Entretanto, mesmo com implicações dos conhecimentos científicos em contextos sociais como a guerra, destaca-se que o contrário também acontece, com a guerra influenciando a produção científica da época. Afinal,

a guerra atraiu para os serviços bélicos alguns homens de ciência, mas de forma alguma a maioria; mas, mesmo onde o não fez, deteve efetivamente a investigação puramente científica dos cientistas experimentais não mobilizados, com exceção dos de alguns países neutros. Contudo, os cientistas teóricos, na sua grande maioria, continuaram a trabalhar, e foi precisamente nesse período que se verificou um dos avanços mais notáveis de toda a história do pensamento humano. (Bernal, 1969, p. 746)

A França seguiu então como centro de desenvolvimento de pesquisas em radioatividade, mesmo com o fim da guerra em 1918. O *Institut du Radium*, por exemplo, um conjunto de laboratórios especializados na Universidade de Paris fundado em 1909 e dirigido por Marie Curie, era referência mundial na área. Entretanto, passou a ser controlado por Irène

Curie, já que sua mãe passou a enfrentar problemas de saúde devido à alta exposição à radioatividade (Gilmer, 2011).

Porém, não eram só os franceses que estavam se esforçando para se apropriar de tal fenômeno, por se tratar de uma fonte de liberação de energia espontânea, o esforço era mundial. Inclusive, em maio de 1921, Irène, Marie e Ève Curie (1904-2007) fizeram uma viagem de dois meses pela América, como pode ser observado na Figura 4, em foto tirada na Casa Branca. Organizada por Marie Mattingly Meloney (1878-1943), editora de uma revista feminina de Nova Iorque, com o objetivo de conseguir dinheiro para a compra de um grama de rádio para o *Institut du Radium*. Chegaram a receber rádio em mãos de vários doadores, inclusive do presidente dos Estados Unidos da América (EUA) (Gilmer, 2011).

Figura 4 - Da esquerda para a direita, Missy, Florence Harding, Marie Curie, Warren Harding e Irène Curie em 20 de maio de 1921



Fonte: Biblioteca Nacional (França), 1921

Elas retornam à Paris com consideráveis doações e o *Institut du Radium* passa a praticamente controlar as quantidades de rádio da França, além do polônio que já era frequentemente isolado por um método desenvolvido por Marie (Crossfield, 2005). Irène dá continuidade à sua carreira, que além de dirigir alguns laboratórios, mantinha pesquisas sobre a emissão de partículas alfa (α) a partir do polônio em sua decomposição radioativa natural (Chadwick, 1956; Jandrić; Dimié, 2017). Inclusive, o *Institut du Radium*, segundo Fellingner (2006), além das duas diretoras aqui apresentadas, tinha uma porcentagem considerável de cientistas do sexo feminino, já que após a Primeira Guerra Mundial as mulheres conquistaram maiores lugares do mundo do trabalho. Para as que decidiam seguir a carreira científica, “o fascínio pelas radiações e a devoção à ciência e à medicina eram facilmente apresentados” (Fellingner, 2006, p. 538, tradução nossa). A autora também destaca que

Não há nada de surpreendente no fato de uma mulher se sentir atraída por esse destino, em uma época de liberação feminina. [...] Talvez o fato dessa profissão ser uma profissão “arriscada” possa ser um dos fatores que, inconscientemente, empurrou tantas mulheres para essa direção (Fellinger, 2006, p. 538, tradução nossa).

Ou seja, ela aponta para o fato de que assumir o risco de trabalhar com um fenômeno como a radioatividade que ainda não tinha suas consequências bem conhecidas, mostra uma necessidade inconsciente das mulheres de se destacarem socialmente por meio de um trabalho heróico. Característica que já era amplamente atribuída aos homens, uma vez que historicamente eles que iam às guerras, governavam países e estavam acostumados a se expor a diversos perigos.

Irène permaneceu no *Institut du Radium* por toda sua carreira profissional. Depois do doutorado, continuou seus estudos em radioelementos e radioatividade, além de examinar a estrutura do átomo (Chadwick, 1956). Assim, presenciou a contratação de Frédéric Joliot (1900-1958) um pouco depois de ter defendido sua tese, um cientista que foi aceito por Marie no *Institut* por indicações de Paul Langevin (1972-1946) (Gilmer, 2011). Ambos trabalhando no mesmo lugar, além de compartilhar suas pesquisas, casaram-se em 1926 em Paris (Blackett, 1960; Chadwick, 1956; Crossfield, 2005).

Irène e Frédéric formaram uma dupla na vida pessoal e profissional (Blackett, 1960; Chadwick, 1956), tornando possível destacar impactos na carreira dela a partir do que Lima (2013) nomeia de efeito Camille Claudel que se materializa de três formas: “1) ‘carreiras encaixadas’, em que ocorrem concessões de projetos, temas e escolhas profissionais em função do matrimônio; 2) o possível ofuscamento da esposa em função da lógica de gênero, atribuindo ao homem que trabalha no mesmo tema maior destaque e relevância que à mulher; 3) a relação de concorrência entre o casal, com falta de apoio e estímulo entre os parceiros” (Lima, 2013, p. 894).

Entretanto, além desses três apontamentos que serão mais bem discutidos a seguir, as descrições dos autores das fontes secundárias aqui utilizadas a respeito de ambos também permitem reflexões. Frédéric era, de acordo com Crossfield (1997), um homem de olhos escuros e traços finos, enquanto Irène é descrita como tímida, muda, melancólica, fria e severa, mas também espontânea, amorosa e inteligente (Gonçalves-Maia, 2012). Ou seja, Irène tem descrições a respeito do seu temperamento, sendo apresentada com qualidades normalmente atribuídas aos homens, como a frieza e a severidade no trabalho, já que são as qualidades aceitas (Lima, 2013); enquanto as outras como espontânea e amorosa, são descrições que devem dizer respeito ao seu comportamento em suas relações pessoais. Nota-se uma personalidade

fragmentada, apresentando claramente características de uma boa cientista separadas das de uma boa mulher, o que explicita o sexismo na ciência que valoriza condutas ditas masculinas (Lima, 2013). Além disso, adjetivos como tímida, muda e melancólica, podem remeter ao seu próprio perfil, fruto de suas vivências familiares e pessoais, mas também indica a socialização da mulher no meio científico que as calejam de sofrimentos de gênero e as tornam endurecidas (Lima, 2013). Por fim, Frédéric é descrito apenas por meio da sua aparência física.

Irène trabalhava como química e ele como físico (Chadwick, 1956), o que é coerente com a explicação de Felliger (2006, p. 537, tradução nossa) para explicitar o fato de as mulheres terem corrido maiores riscos nos trabalhos com radioatividade:

As mulheres que trabalhavam com radioatividade eram geralmente radioquímicas, assistentes de laboratório ou médicas, e a física era mais frequentemente uma tarefa masculina. Essa tendência, que pode ser explicada por vários fatores no início do século XX, parecia ser ainda mais forte quando a divisão entre física nuclear e química nuclear surgiu no final da década de 1930. Se um risco existia claramente em ambas as profissões, ele não era exatamente da mesma natureza. Na radioquímica, os trabalhadores enfrentavam um risco direto ao manipular continuamente substâncias perigosas e podiam ser contaminados ou contaminar o ambiente em nível individual muito rapidamente. Na física nuclear, usando aceleradores, o perigo estava concentrado no feixe e nas fontes.

A partir de 1928 (Crossfield, 2005) ou 1927 (Blackett, 1960), trabalhando juntos como pode ser observado na Figura 5, o casal inicia publicações na Academia de Ciências, marcando o início da fama dos Joliot-Curie (Crossfield, 2005). Esse trabalho abordou a determinação do número de íons produzidos quando partículas alfa de rádio e polônio eram absorvidas pelo ar, contribuição importante para estimar-se o número de desintegrações por segundo de 1 g de rádio (Blackett, 1960).

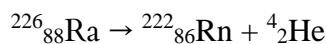
Figura 5 - Irène e Frédéric no laboratório do Instituto Radium



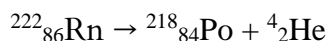
Fonte: Jandrié; Dimiá, 2017

Essa questão dos sobrenomes é interessante para a discussão específica sobre o primeiro aspecto do efeito Camille Claudel (“carreiras encaixadas”) “que se refere a uma gama de escolhas feitas pelas mulheres [...] de adequações na carreira em benefício da família ou do parceiro” (Lima, 2013, p.894). Tal fenômeno afeta duplamente Irène, porque a formação do nome Joliot-Curie sendo Joliot do marido e Curie da família, não era muito comum no século XX. O que normalmente acontecia era a mulher receber o nome do homem e não manter o nome de solteira, ou mesmo que mantivesse, eram e ainda são mais lembradas pelo nome do marido, como o caso de Marie Curie que na verdade se chama Marie Skłodowska-Curie. Frédéric, inclusive, teve que lidar com críticas em relação à alteração do seu nome depois do casamento (Crossfield, 1997). Por isso, percebe-se que Joliot foi provavelmente mantido para seguir as determinações sociais da época, enquanto Curie foi preservado para a manutenção da força e presença da família Curie na ciência. Assim, Irène Joliot-Curie adequou a forma que assinaria seus trabalhos e que seria conhecida no meio científico em benefício da família e do parceiro, ao mesmo tempo.

Irène e Frédéric seguiram com suas publicações, às vezes sozinhos, às vezes em parceria (Blackett, 1960). De acordo com Crossfield (1997) e Gilmer (2011), o casal mantinha interesse no polônio, pois tinham acesso direto ao método desenvolvido por Marie para isolá-lo, um dos únicos da época. Neste método, ampolas originalmente com rádio sofriam decomposição radioativa, formando o radônio (Rn) e uma partícula alfa. A partícula alfa já era representada pelo núcleo do hélio (Rutherford; Chadwick; Ellis, 2010), simbolizado por ${}^4_2\text{He}$, com duas cargas positivas e massa igual a quatro, de acordo com as seguintes reações nucleares (Joliot, 1935, p. 1; Gilmer, 2011, p.47):



Rádion decai formando polônio, liberando outra partícula alfa (Gilmer, 2011, p.47):



Polônio decai formando chumbo, liberando outra partícula alfa (Gilmer, 2011, p.47), o que pode ser observado na Figura 6:

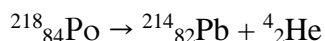
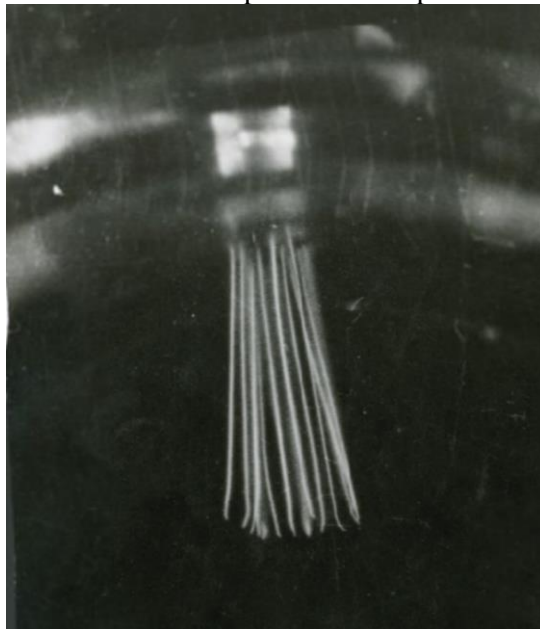


Figura 6 - Fotografia da emissão radioativa de partículas alfa provenientes de uma fonte de polônio.



Fonte: Irène, 2023.

Ou seja, o processo era composto por três reações de decaimento radioativo, indo de rádio até chumbo, e eles faziam uso dessa última etapa, utilizando a emissão da partícula alfa para bombardear outros elementos. Essas experimentações buscavam rastrear as partículas que seriam emitidas a partir da sua colisão com outros núcleos atômicos (Crossfield, 2005).

Enquanto isso, Walter Bothe (1891-1957) e Herbert Becker (1887-1955) em 1930 descobriram que os elementos boro (B) e berílio (Be) bombardeados por partículas alfa de polônio emitiam uma radiação de baixa intensidade, porém, mais penetrante que os raios gama (Blackett, 1960; Chadwick, 1932). Não sendo possível encontrar outra explicação, Bothe e Becker acreditavam que estavam produzindo radiação eletromagnética de ondas curtas de raios X (Gilmer, 2011). Irène e Frédéric também notaram esta misteriosa radiação utilizaram sua fonte de polônio para estudá-la, bombardeando o berílio (Blackett, 1960). Com um contador de partículas de Geiger, mediam a intensidade de emissão, e com uma câmara de nuvens, fotografavam pistas deixadas pelas partículas alfa emitidas (Gilmer, 2011). Eles encontraram a mesma radiação energética de Bothe, capaz de atingir um fino pedaço de parafina (rica em hidrogênio ligados a átomos de carbono) fazendo com que os núcleos dos hidrogênios fossem ejetados da parafina (Gilmer, 2011).

Os Joliot-Curie alegaram que eram fótons energéticos, mas erraram nos cálculos da quantidade de energia para tal fenômeno (Blackett, 1960), entretanto, mesmo assim forneceram pistas para o descobrimento do nêutron (Chadwick, 1956; Chadwick, 1932). Foi James Chadwick (1891-1974) que demonstrou que os nêutrons são partículas subatômicas sem carga

(Chadwick, 1932), inclusive, foi premiado com o Nobel de física em 1935 por essa descoberta. Além disso, os Joliot-Curie não conseguiram interpretar o movimento das partículas carregadas na câmara de nuvem de Wilson, mas suas experiências forneceram a prova da existência do pósitron (Blackett, 1960). Carl D. Anderson (1905-1991) e Victor Hess (1883-1964), em 1932, o descobriram oficialmente por meio do estudo dos raios cósmicos que interagem com uma placa de chumbo na presença de um campo magnético, e ganharam o prêmio Nobel de física em 1936 (Crossfield, 1997).

Além dessas contribuições, em 1933, o casal Joliot-Curie mediu com precisão a massa do nêutron por meio da transmutação do boro (Blackett, 1960; Gilmer, 2011) porque perceberam que a energia necessária para tal transmutação era a mesma energia necessária para a excitação um nêutron. Essa transmutação foi descrita pelo casal em um dos seus artigos no ano seguinte (Curie; Joliot, 1934, p. 155, tradução nossa):

O boro, constituído por grãos muito duros e dificilmente atacáveis, não se presta bem a experiências. Irradiamos a azida¹ de boro (o azoto² não teve qualquer efeito) e a azida de boro (BN) foi decomposta por carbonato de sódio quente, liberando o azoto sob a forma de amoníaco. Esta operação pode ser efetuada em poucos minutos. O boro perde a sua atividade. O amoníaco liberado é recolhido num tubo de parede fina e medido com o eletrómetro de Hoffmann numa câmara de ionização selada com uma fina folha de alumínio. Tendo em conta a diminuição da atividade durante a operação, uma grande parte da atividade encontra-se no tubo. O radioelemento tem, portanto, as propriedades químicas do azoto; sendo liberado sob a forma de azoto ou sob a forma de amoníaco, arrastado pelo amoníaco inativo.

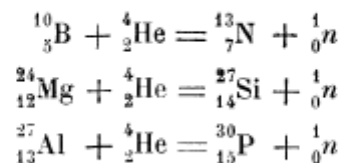
Eles seguiram com os experimentos no bombardeamento de elementos com raios alfa, como pode ser observado na Figura 7, e publicaram todas as reações correspondentes a cada elemento que teve resultado significativo.

¹ Ânion com a fórmula N_3^- .

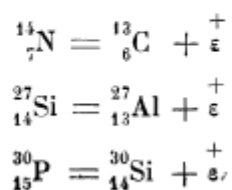
² Nomenclatura antiga para se referir ao elemento nitrogênio (N).

Figura 7 - Trecho do artigo de Irène e Frédéric sobre os resultados das transmutações do Boro, Magnésio e Alumínio quando bombardeados com partículas alfa e que por serem instáveis, emitem um pósitron logo em seguida.

Les noyaux $^{10}_5\text{B}$, $^{24}_{12}\text{Mg}$, $^{27}_{13}\text{Al}$ subissent une transmutation, avec capture de la particule α et émission d'un neutron

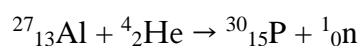


Les isotopes $^{13}_7\text{N}$, $^{27}_{14}\text{Si}$, $^{30}_{15}\text{P}$ ne sont pas connus. Ce sont probablement des noyaux instables qui se détruisent avec émission de positrons en donnant les noyaux stables $^{12}_6\text{C}$, $^{27}_{13}\text{Al}$, $^{30}_{14}\text{Si}$.



Fonte: Curie; Joliot, 1934.

Em seus primeiros experimentos, o bombardeamento do alumínio (número atômico 13) com a potente fonte de polônio em decomposição radioativa, tinha inesperadamente pares elétrons/pósitrons ausentes, e em vez disso, foram detectados prótons (Gilmer, 2011). Observaram ainda fósforo radioativo (número atômico 15) e um nêutron (Gilmer, 2011), esse isótopo de fósforo era inédito, já que não estava na sua forma natural, mas em configuração artificial produzida por meio da seguinte reação nuclear (Joliot, 1935, p. 2):



Em outubro de 1933 (Gilmer, 1997; Jandrić; Dimiá, 2017) foram para a *Seventh Solvay Conference* em Bruxelas que tinha como tema a estrutura e propriedades dos núcleos atômicos (Gonçalves-Maia, 2012), onde apresentaram seus resultados à comunidade de física, registrada na Figura 8.

Figura 8 - Conferência de Solvay com a presença de apenas três mulheres, Marie Curie, Irène Joliot-Curie e Lise Meitner



Fonte: Jandrié; Dimié, 2017.

Crossfield (1997) descreve esse momento destacando alguns pontos interessantes: “Tendo como pano de fundo homens barbudos e *duas mulheres (Marie Curie e Lise Meitner), cujos vestidos pretos se confundiam com o público, a blusa de manga curta de Irène e o rosto com a barba feita de Fred davam a impressão de juventude e inexperiência*” (p. 113, grifo próprio). Ou seja, a historiadora relaciona diretamente a aparência física ou a forma de se vestir à experiência na ciência. Especialmente quanto às mulheres, tanto Marie quanto Lise Meitner (1878-1968) eram mais velhas que Irène e conseqüentemente, trabalhavam há mais tempo, o que as torna mais acostumadas ao ambiente científico. O que justifica as diferenças de vestimentas, já que segundo Lima (2013, p. 896-897),

A postura construída como masculina nessa área também incide sobre a forma de se vestir das pesquisadoras. Esse aspecto também se contrapõe a uma socialização construída como feminina, em que a vaidade é incentivada. Algumas entendem essa forma como um importante passe para o pertencimento de grupo; outras, como forma de prevenção ao assédio, na qual o corpo feminino deve passar despercebido.

Ou seja, a autora aponta para um código de vestimenta contraditório para as mulheres da ciência, já que a roupa faz parte do pertencimento ao grupo, devendo ter características da maioria (aspectos ditos masculinos), ao mesmo tempo que ainda deve ser feminina, já que a mulher deve ser vaidosa, mas cuidadosa para que seu corpo não seja visto: roupa preta (ou escura, por ser cor da maioria das roupas dos homens) e longa (para cobrir o corpo e fazê-lo passar despercebido), mas ainda sim, um vestido (peça dita feminina). Portanto, são critérios visíveis e perceptíveis na história da participação das mulheres na ciência, mas não são explícitos ou ditos (Lima, 2013). Assim, se mantém na subjetividade e cabe à cientista percebê-los para adequar-se, o que só acontece ao longo do tempo de sua carreira. Enquanto ela não o fizer, será considerada inexperiente, como Irène, mas com o tempo de carreira passam a estar de acordo, como Lise e Marie. O que nos permite destacar que “as mulheres, mais identificadas

com o modo de ser e pensar masculino em sua forma categórica são mais bem aceitas e sofrem menos violência” (Lima, 2013, p. 897).

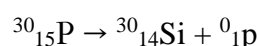
Nesse congresso, a apresentação de Irène e Frédéric não foi bem aceita pelo público,

[...] em vez de elogios e apoio, surgiu uma acesa controvérsia. Quando Langevin pediu a opinião de Lise Meitner, esta disse: "Eu e os meus colegas fizemos experiências semelhantes. Não conseguimos descobrir um único nêutron." Fred e Irène ficaram especialmente desanimados ao ouvir Meitner discordar. Durante o resto da conferência, a maioria dos participantes evitou o casal, influenciados por Meitner. Outros pensaram que os Joliot-Curie's tinham apressado a sua interpretação porque tinham falhado na identificação do nêutron e interpretado mal a evidência do positron. Apenas Neils Bohr e Wolfgang Pauli ofereceram encorajamento. (Crossfield, 1997, p. 113, tradução nossa)

Ou seja, acharam precipitada a relação que os dois fizeram da energia da transmutação com o nêutron e apontaram que a conclusão deles sobre a ausência de pósitrons na transmutação do alumínio poderia estar errada. Além dessa problemática de comunicação com outros cientistas na dinâmica da ciência, o que se busca explicitar com esse trecho é a tentativa de fomentar uma disputa entre Lise e Irène. Gonçalves-Maia (2012) também aponta para essa questão, mas diz que foi “uma rivalidade de que a Ciência muito usufruiu” (p. 35). Lima (2013) relata que esse é mais um elemento do labirinto de cristal, já que se trata da

[...] dificuldade de construção de alianças e articulação políticas necessárias à aceleração da carreira. [...] As alianças com outras mulheres nem sempre são possíveis porque, muitas vezes, são inviabilizadas pela dinâmica do sexismo automático. As alianças com os homens, às vezes, são evitadas para esquivar-se da possível suspeita sobre o resultado sobre seu trabalho ou a reprodução de uma hierarquia desfavorável a elas.

Ao retornarem a Paris, continuaram as experiências e confirmaram seus resultados: a reação nuclear apresentada tinha massa de $27 + 4 = 30 + 1$ e o número de prótons $13 + 2 = 15 + 0$, respectivamente, de acordo com o discurso de Joliot (1935). Já a próxima etapa da reação nuclear, continha um pósitron (p) de massa zero e uma carga positiva, ejetado do isótopo de fósforo, levando a silício estável (número atômico 14), conforme a reação (Joliot, 1935):



Ainda de acordo com ele, à medida que um pósitron é eliminado, um próton no fósforo torna-se um nêutron, por isso de fósforo com 15 prótons para silício com 14 prótons, com massa constante de 30. Portanto, na série das duas etapas da reação nuclear, o alumínio converte-se em silício estável com libertação de um nêutron no primeiro passo e um pósitron no segundo

(Joliot, 1935). Isto é transmutação de elementos, já que partindo de um elemento, o alumínio, forma-se um isótopo radioativo e artificial de fósforo, chegando ao silício estável (Joliot, 1935). Além disso, eles associaram os cliques do contador de Geiger a uma meia-vida decrescente, contabilizando um pouco mais que 3 minutos (Crossfield, 1997; Gilmer, 2011) do fósforo radioativo.

Para concluir isso, Frédéric bombardeou uma folha de alumínio com partículas alfa, notando que os pósitrons continuavam a aparecer, apesar de todos os nêutrons terem sido absorvidos (Blackett, 1960). Além disso, a emissão não diminuiu quando a fonte de polônio foi removida, uma vez que o contador Geiger contou durante mais alguns minutos (Chadwick, 1956). Segundo Blackett (1960), alumínio, boro e magnésio apresentaram, respectivamente, decaimentos de 3 minutos e 15 segundos, 14 minutos e 2 minutos e 30 segundos. Segundo Curie e Joliot (1934), essas transmutações já haviam sido fisicamente comprovadas por Patrick Maynard Stuart Blackett (1897-1974), mas a quantidade infinitesimalmente pequena de átomos produzidos impedia métodos analíticos para sua identificação. Por isso, eles desenvolveram métodos para constatar os elementos e provar seus resultados de produção de novos elementos radioativos já obtidos com testes radioquímicos (identificação do elemento por meio da conservação de massa e carga com as reações). A comprovação da transmutação do boro produzindo nitrogênio já foi descrita neste texto, já a do alumínio foi da seguinte forma:

Um pedaço de folha fina de alumínio, irradiado previamente por raios alfa, é atacado e dissolvido em uma solução de ácido clorídrico (Fig. 1). A reação química produz hidrogênio nascente que transporta o elemento radioativo para um tubo de paredes finas, onde é coletado com água. Essa separação demonstra claramente que algum elemento diferente do alumínio foi formado na irradiação por raios alfa. Ela fornece uma prova indiscutível da transmutação realizada, além disso, traços de fósforo seriam separados do alumínio no mesmo experimento.

Por fim, o alumínio ativado é dissolvido em uma mistura de ácido e oxidante. À solução é adicionada uma pequena quantidade de fosfato de sódio e um sal de zircônio, e verifica-se que o fosfato de zircônio, ao precipitar, carrega consigo o elemento radioativo (Joliot, 1935, p. 370, tradução nossa).

Blackett (1960) relata que os elementos hélio, lítio, carbono, berílio, nitrogênio, oxigênio, flúor, sódio, cálcio, níquel e prata não apresentaram efeito, fato que fez Frédéric e Irène deduzir que tinham um período muito curto de decaimento para ser observado. O teste do bombardeamento do berílio e o rastreamento das partículas emitidas pode ser observado na Figura 9.

Figura 9 - Fotografia do resultado da câmara de Wilson registrando a trajetória de um par de elétrons em uma tela de chumbo produzido pelo berílio bombardeado por raios alfa de polônio, junto com um próton projetado por um nêutron.



Fonte: Irène, 2023.

Todos estes resultados demonstraram um novo tipo de radioatividade dos elementos químicos (Joliot, 1935). De acordo com Crossfield (2005), quatro dias após a observação inicial, um relatório foi apresentado à Academia das Ciências e publicado na revista *Nature* em 19 de janeiro de 1934. Porém, outros resultados provando a transmutação foram publicados em 5 de fevereiro de 1934 (Blackett, 1960). Embora Marie tivesse ouvido rumores de que o próximo Prêmio Nobel de Química iria para Irène e Frédéric, ela não viveu o tempo suficiente para assistir essa indicação pois faleceu em 4 de julho de 1934 (Gilmer, 2011). A premiação ocorreu em 12 de dezembro de 1935 (Chadwick, 1956; Crossfield, 2005; Farias, 2001; Gilmer, 2011; Jandrié; Dimié, 2017).

Considerando o contexto científico da época, que abordava as partículas subatômicas e fazia surgir a físico-química, “as consequências lógicas desta descoberta foram imensas” (Bernal, 1969, p. 761). Além disso, quanto às consequências pessoais de ambos, Fred foi promovido a diretor de pesquisa da *Centre Nationale de la Recherche Scientifique* e aceitou a cadeira de física e química nuclear no *Collège de France* (Blackett, 1960; Crossfield, 2005). Irène o substituiu no cargo da Universidade de Paris (Crossfield, 2005), além de estar no comando do *Institut du Radium* como diretora de pesquisa (Blackett, 1960; Crossfield, 2005; Jandrié; Dimié, 2017). Ou seja, ele recebeu cargos novos enquanto ela apenas ocupou cargos dele e da mãe. Marie já havia morrido, então não há muito o que questionar a respeito da substituição, mas Frédéric deveria estar sendo reconhecido pela mesma coisa que Irène.

Caracteriza-se assim o segundo aspecto do efeito Camille Claudel (ofuscamento da esposa em função da lógica de gênero) (Lima, 2013), já que a explicação mais evidente para os diferentes prestígios recebidos é o fato dela ser mulher, até porque os trabalhos foram publicados em conjunto e o prêmio dividido igualmente entre os dois. Segundo Lima (2013, p. 894), “é a suspeita que paira sobre o mérito das cientistas quando atuam na mesma área do esposo. As conquistas e/ou sucessos são usualmente referidos e são atribuídos ao marido”.

Contudo, neste momento, eles praticamente controlavam o trabalho nuclear da França, inclusive influenciaram a fundação do Laboratório de Síntese Atômica para que radioelementos artificiais fossem produzidos em massa. Conforme Crossfield (2005), assim como Marie e Pierre, eles não patentearam a radioatividade artificial, mas ao contrário dos pais, eles sentiam o peso da responsabilidade social e política que suas descobertas tinham. Para o mesmo autor, Fred passou a prever reações radioativas em cadeia, de caráter explosivo, alertando sobre a possível má utilização da liberação de energia atômica. Isto porque, segundo Bernal (1969), em um período entre guerras (Primeira e Segunda Guerra Mundial) o sistema capitalista passa a envolver-se diretamente com a ciência, mais do que o usual, tendo como objetivo o desenvolvimento de armas. Portanto, Irène e Fred, por já terem vivido uma guerra, tinham consciência das consequências que cientistas e seus trabalhos poderiam oferecer e tentavam manter a responsabilidade científica de progresso e boa utilização de resultados (Bernal, 1969).

Irène seguiu investigando a estrutura da matéria e o efeito da radioatividade em outros elementos já radioativos, como o urânio (Cesareo, 2010). Entretanto, Cesareo (2010) aponta que tais esforços acabaram colaborando para o que interessava ao mundo na época: o controle do fenômeno radioativo para o uso da sua energia. Desse modo, surgiu a química e a física nucleares, áreas específicas da ciência que permitiram o uso da energia nuclear tanto para produção de eletricidade (usinas nucleares), quanto para a produção de bombas atômicas (Cesareo, 2010).

Enquanto isso, o contexto político na época girava em torno do avanço da Alemanha nazista sob a Europa. Nele surge uma aliança eleitoral e política entre democratas e liberais, capaz de unir a esquerda e o centro com o objetivo de encarar o fascismo como inimigo primeiro (Hobsbawn, 1994). Segundo Hobsbawn (1994), o movimento foi chamado de Frente Popular ou Forças Unidas dos Trabalhistas, estando presente em diferentes países do continente. O pioneiro foi direcionado por Leon Blum que assumiu o poder na França dando ao governo do país traços comunistas (Hobsbawn, 1994). Blum, inclusive, incitou a participação de mulheres no governo, indicando três nomes para cargos em seu governo: Irène Joliot-Curie, Suzanne Lacore (uma conhecida trabalhadora do bem-estar infantil), e Cecile

Brunschweig (uma portadora de questões femininas) (Crossfield, 1997; Gilmer, 2011). Para Crossfield (1997), a nomeação de Irène foi o primeiro ato na França capaz de conectar a ciência ao desenvolvimento nacional. Nesse momento ela então cumpria uma jornada mínima, para que não atrapalhasse seu trabalho nem sua saúde.

Segundo Gilmer (2011), o cargo era cansativo, recheado de burocracias e papeladas, por isso durou apenas seis meses e seu último feito foi a concessão de uma bolsa à Eugénie Cotton para melhorias na sua escola de Física para mulheres em Sevres. Neste momento a Segunda Guerra Mundial já estava avançada e os Joliot-Curies estavam muito engajados em questões políticas e sociais (Crossfield, 1997; Farias, 2001). Frédéric recebeu uma oferta de refúgio na Grã-Bretanha, mas recusou porque Hélène e Pierre estavam seguros em outras cidades e ele e Irène queriam ficar em Paris para trabalhar (Farias, 2001). Entretanto, durante a guerra tudo foi fechado e, com a falta de alimentos, Irène passou a trabalhar em casa e a produzir material para seus filhos estudarem (Crossfield, 1997).

De acordo com Crossfield (1997), o laboratório de Frédéric foi tomado pelos nazistas, já que “em 1940 a França foi atropelada com ridícula facilidade e rapidez por forças alemãs inferiores e aceitou sem hesitação a subordinação a Hitler” (Hobsbawn, 1994, p.31). Para sua sorte, o físico alemão enviado para tomar o local era Wolfgang Gentner, um anti-nazista que trabalhou com eles na descoberta da radioatividade artificial (Crossfield, 1997). Após esta experiência e a execução de vários cientistas, incluindo o físico Jacques Solomon, genro de Paul Langevin (amigo da família), Frédéric juntou-se oficialmente à Frente Nacional (Crossfield, 1997).

Em novembro de 1941, Irène fingiu viajar às montanhas para descansar, usando sua tuberculose como desculpa para ir a Clair Vivre recuperar rádio e alguns metais preciosos que lhes foram escondidos durante a evacuação de Paris (Crossfield, 1997). Desde então, até maio de 1943 ela foi periodicamente às montanhas, mas a sua saúde não melhorava (Crossfield, 1997). Ela recebia ofertas para deixar a França, tanto de uma amiga que morava em Nova Iorque quanto da irmã em Londres, mas sempre recusava. Em uma das cartas, segundo Crossfield (1997, p. 119, tradução nossa) ela escreveu:

Até agora, nada mudou nas nossas intenções. Pensamos ter uma missão: impedir a dispersão dos trabalhos científicos dos nossos laboratórios e a perda dos radioelementos necessários ao nosso trabalho que foram recolhidos pela minha mãe e por nós próprios. Se descobrirmos que, por alguma razão ou outra, já não podemos ser úteis, então tentaremos [partir]. Se não houver

outras razões para além das dificuldades da vida, o próximo Inverno não é tão perigoso para [a minha saúde].³

Conforme Crossfield (1997), em 1944, as atividades de Frédéric na resistência começaram a ameaçar a sua família. Ele foi tirado do seu cargo na universidade, foi chamado para um interrogatório pela terceira vez e assumiu uma identidade falsa para se preparar para um possível confronto com os alemães que aconteceu no dia 23 de agosto (Crossfield, 1997). Por isso, Irène, Hélène e Pierre procuraram asilo na Suíça e partiram em 6 de junho de 1944, enquanto acontecia o dia D (Farias, 2001; Gilmer, 2011), ou seja, conseguiram escapar enquanto os aliados retornavam ao continente europeu, o marco do início da derrota da Alemanha na Guerra (Hobsbawn, 1994). Assim, Paris foi libertada e eles puderam se reunir em casa novamente em setembro de 1944, quando Irène estava bem recuperada da doença, pelo uso de antibióticos (criados durante a guerra) (Crossfield, 1997). Ela pôde então, voltar ao laboratório e iniciar seus estudos sobre raios gama do ionium (thorium-230) (Crossfield, 1997).

Com o fim da guerra, Frédéric foi condecorado com o *Croix de Guerre*, promovido a comandante da *Legion d'honneur*, nomeado Alto Comissário da Comissão da Energia Atômica e chefe do *Centre National de la Recherche Scientifique*. Já Irène foi nomeada chefe da *section chimie* da Comissão de Energia Atômica e ao final de 1945, com o início do projeto atômico da França, ela foi nomeada membro da comissão científica e cumpriu cinco anos de mandato (Chackwick, 1956). Nesse momento, o terceiro aspecto do efeito Camille Claudel (concorrência entre o casal) emerge com os papéis sociais do homem e da mulher bem explícitos: Irène como responsável pela manutenção da família e ele tendo sua masculinidade empoderada na guerra para depois ser reconhecido por isso (Lima, 2013). As atitudes e reconhecimentos de Frédéric exalam agressividade, com o afronte aos problemas públicos e a exposição ao risco, características que Lima (2013) e Fellingner (2006) apontam como socialmente masculinas. Enquanto Irène demonstra docilidade, diplomacia e tranquilidade ao ficar em casa lidando com os problemas privados, qualidades normalmente atribuídas às mulheres (Lima, 2013). Além disso, destaca-se também o fato de que ela se manteve trabalhando enquanto acontecia uma guerra mundial, conciliando família e ciência, o que é incomum (Fellinger, 2006), ao mesmo tempo que dar conta das múltiplas jornadas lhe dão um ar de “supermulher”. Segundo Lima (2013), esse fenômeno de resultados positivos frente ao

³ Referência original da citação: Pflaum, Grand Obsession, p. 382.

esforço exacerbado dá à mulher na ciência essa característica de parecer ter capacidades superiores quando comparadas às outras mulheres.

No mundo pós-guerra a onda anticomunista atingiu o trabalho dos Joliot-Curie, que passaram a enfrentar dificuldades em viajar para congressos e eventos em outros países. Irène chegou a ser barrada quando tentou ir a uma conferência na Ilha Ellis (nos Estados Unidos da América), além de ter tido sua inscrição na *American Chemical Society* negada cerca de três vezes seguidas, sob alegação de que seus posicionamentos seriam um risco para eles, mesmo que ela nunca tenha se assumido comunista publicamente (Rossiter, 1997). Destaca-se, portanto, a exclusão vertical sofrida por Irène que, mesmo sendo vencedora do prêmio Nobel e bem-posicionada na sua área, não pôde estar presente em lugares e desfrutar de associações renomadas, caracterizando a “sub-representação das mulheres em postos de prestígio e poder” (Lima, 2013, p. 884). Isso tudo por posicionamentos que sequer vinham diretamente dela, mas do marido, demonstrando novamente o sexismo presente nas ciências. Lima (2013) afirma que os talentos que são perdidos quando isso acontece, uma vez que fazer ciência é também estar em eventos e se associar à sociedades para aumentar o contato com outros cientistas e, conseqüentemente, ter a possibilidade de melhorar suas pesquisas, coisas das quais Irène foi impedida.

Por fim, sua última publicação⁴ científica oficial foi produzida somente por ela, na qual falou sobre o Rádio, e seu último empreendimento pela ciência foi em 1955, com a criação de um novo Instituto de Física Nuclear e Radioatividade para substituir o *Institut du Radium* (Crossfield, 1997). Irène morreu em 17 de março de 1956 aos 58 anos de idade, no hospital Curie com leucemia (Crossfield, 1997; Gilmer, 201).

⁴ Irène Curie, "Sur une nouvelle methode pour la comparaison precise du rayonnement des ampoules de radium," *Journal de physique et le radium* 15 (1954): 790-5.

5. ESTUDO 2: ANÁLISE MATERIALISTA, HISTÓRICA E DIALÉTICA

Segundo Trochin (1955), as leis da dialética materialista compõem uma ciência capaz de abranger o desenvolvimento da natureza, da sociedade e do pensamento. Segundo Engels (2020, p. 19, grifo nosso),

[...] as leis da dialética são, por conseguinte, extraídas da história da Natureza, assim como da história da sociedade humana. Não são elas outras senão as leis mais gerais de ambas essas fases do desenvolvimento histórico, bem como do pensamento humano.

Ou seja, as leis da dialética materialista permitem a captação e interpretação dos movimentos da matéria em suas diferentes formações materiais. Isso porque, o materialismo considera a existência da matéria independente e a princípio de tudo, inclusive da consciência (Cheptulin, 2004). Os fenômenos aos quais a matéria passa em seus processos de desenvolvimento constante são dependentes da realidade, por isso também podem ser considerados materiais (Cheptulin, 2004). Segundo Cheptulin (2004), o homem, por sua vez, é o único ser vivo capaz de perceber e conhecer conscientemente tal matéria e seus movimentos, o que só é possível por meio da própria matéria, já que a consciência humana é a sua forma de mais alta organização e elevado grau de desenvolvimento (Cheptulin, 2004).

Por essa capacidade unicamente humana de consciência, o ser humano é capaz de transformar seu entorno para benefício próprio, agindo sobre o seu meio material enquanto desenvolve sua própria consciência com reflexos dessa realidade (Vázquez, 2007). Tal movimento de interação faz o homem adquirir faculdades sobre as formas de existência da matéria, e dele mesmo, manifestando-se em forma de conhecimento (Cheptulin, 2004). Ainda segundo Cheptulin (2004), essa é a estrutura que garante o movimento do pensamento em direção à verdade.

Visto isso, tanto a história de Irène Joliot-Curie quanto a radioatividade artificial serão consideradas neste capítulo como reflexos do movimento da matéria. Para tal discussão, a trajetória da cientista será analisada a partir do materialismo histórico e da categoria trabalho, que acarreta a alienação, em busca de explicitar a materialidade do trabalho de Irène como uma cientista. Enquanto o conhecimento em questão será discutido pela lei da dialética da quantidade e qualidade, a fim de tentar captar a essência do fenômeno da radioatividade e especialmente, da transformação da matéria. Para sustentar tais análises, o materialismo histórico e dialético será brevemente apresentado na primeira parte deste capítulo como referencial teórico.

Destaca-se ainda que a divisão do materialismo em histórico e posteriormente, em dialético, é apenas de cunho organizacional, já que entendemos a relação intrínseca e interdependente das duas dimensões, além de reconhecer que as questões de gênero também permeiam essas discussões. Entretanto, a ordem de apresentação das análises é proposital, pois como já foi citado, as discussões partem das categorias de trabalho e alienação, expressando um caráter concreto material, indo em direção às abstrações filosóficas para, assim, expressar o concreto pensado.

5.1 Referencial teórico

Explicitamos nesta subseção o referencial teórico no qual nos apoiamos para o desenvolvimento das análises que serão apresentadas a seguir. Inicialmente, discutimos o MHD, uma corrente filosófica que considera a “[...] primazia ontológica do real” (Pasqualini, 2020, p. 2) e que surge por discussões de Karl Marx (1818-1883) e Friedrich Engels (1820-1895). Segundo Colturato e Massi (2019), trata-se de um enfoque teórico, metodológico e analítico a ser utilizado para a compreensão das dinâmicas transformações sociais e históricas, a fim de captar e reproduzir o movimento real do pensamento e da matéria. Isso porque, de acordo com Lênin (1982, p. 169), “[...] a matéria é uma categoria filosófica que serve para designar a realidade objetiva dada ao homem por meio de suas sensações que a copiam, a fotografam, a refletem e que existem independentemente das sensações”.

Ou seja, segundo esse método, a atividade teórica de produção de conhecimento é a reprodução do movimento real de objetos no plano do pensamento. Além disso, esse conhecimento sobre o real é “[...] elaborado no confronto teórico entre o conhecimento já alcançado pela humanidade a respeito dos processos naturais e sociais e aquilo que ainda se faz necessário conhecer” (Martins; Lavoura, 2018, p. 234). O que faz da ciência, por exemplo, um processo totalizante que busca capturar subjetivamente a realidade material pela perspectiva humana por meio de abstrações, ou melhor, de sistematizações de conceitos e teorias.

Tal perspectiva de entendimento da realidade pode ser trabalhada em duas vertentes: o materialismo dialético, sendo essa a ciência das leis gerais do movimento e do desenvolvimento da natureza, da sociedade humana e do pensamento (Engels, 2020); e o materialismo histórico, que considera que o homem por se desenvolver em uma processualidade histórica e dinâmica, encontra-se num processo de produção de si mesmo que só é possível em sua relação com a natureza e com outros homens (Vázquez, 2007).

Por fim, destaca-se que não pretendemos fazer uma exposição completa da teoria, a síntese a seguir é para efeito de esclarecimento e definiremos apenas o que será de fato mobilizado posteriormente nas análises: a categoria trabalho e a lei da quantidade e qualidade.

5.1.1 A categoria trabalho e a primeira lei da dialética

Segundo Gadotti (2012), o homem é inicialmente um ser vivo com necessidades biológicas que o fazem interagir com o meio em que vive, e tal relação se dá por meio do trabalho. Essa interação ocorre dialeticamente, na qual o homem transforma o ambiente a seu favor e se transforma ao mesmo tempo (Gadotti, 2012). Desse modo, suas necessidades primitivas são supridas e ele passa então a se desenvolver socialmente, ou seja, sua relação principal deixa de ser com a natureza e passa a ser com outros homens, o que, ao longo do tempo, proporciona a construção de uma história propriamente humana (Konder, 2011). Essa relação social entre os homens, assim como sua relação com a natureza, é também regida pelo trabalho, pois ele é a forma que o homem expressa e constrói a si, mesmo que não mais regido exclusivamente pela biologia, mas pela sua relação com o outro (Konder, 2011).

Para Marx (2013), a relação do homem com a sua realidade (agora social, e não mais natural) por meio do seu trabalho, tem sido distorcida pela divisão social de classes do capitalismo, que se baseia no individualismo, apropriação privada dos meios de produção e exploração do trabalho. O trabalho deixou de ser um processo de conhecimento da realidade humana e passou a ser uma mercadoria, causando um estranhamento entre produtor e produto, já que o resultado do trabalho não é mais do próprio trabalhador e sim do detentor do meio de produção (Konder, 2011). Marx (2013) nomeia esse processo de alienação, já que o homem não age mais como homem, planejando, se apropriando e se beneficiando das próprias ações, o que acarreta a perda da sua identidade humana.

Mesmo que de maneira alienada, ao longo do desenvolvimento do homem como objeto e sujeito da história, além de se produzir como espécie, ele produz também conhecimentos inerentes ao momento histórico que vive e acrescenta assim, conteúdos à história como um todo (Konder, 2011). Esse processo de produção de conhecimentos humanos é chamado de práxis segundo Vázquez (2007), que a entende como atividade material do homem social na unidade teoria-prática. Ou seja, o mesmo autor afirma que para que o homem seja capaz de enxergar em seus atos práticos sua contribuição para a história humana, em direção a superação da alienação, ele deve estar bem direcionado pela teoria. Assim, os conhecimentos resultantes de um trabalho desalienado, ou melhor, a produção de resultados da verdadeira práxis, é capaz de guiar o homem em direção às verdades e não a uma verdade absoluta (Gadotti, 2012).

Marx (2013), ao comentar sobre a verdade, assume que não há uma verdade absoluta, mas sim diferentes verdades que dependem de quem as produzem e a quem servem. A verdade que serviria ao maior número de pessoas é a verdade do ponto de vista do proletariado e é para favorecer tais indivíduos que ele propõe o uso da dialética como método científico (Gadotti, 2012). Segundo Gadotti (2012) e Trochin (1955), a dialética é a ciência das leis gerais do movimento, que explica a evolução da matéria, da natureza e do próprio homem, ou seja, da sociedade e do pensamento também, sendo ela que permitirá ao proletariado a produção de conhecimentos que o aproximem da verdade que o favorecerá.

Portanto, ao mesmo tempo que o trabalho e a produção de conhecimentos são a força motriz do desenvolvimento da organização social humana na qual vivemos hoje, o capitalismo é também o principal meio de sua superação. Por isso, os ideários marxistas visam o desmonte do sistema atual pela socialização de todos os conhecimentos já construídos historicamente pela humanidade, sejam eles econômicos, culturais, tecnológicos ou intelectuais (Lessa; Tonet, 2011). Deste modo, haveria uma melhor e mais saudável relação homem-natureza e homem-homem, para que a humanidade evolua como gênero humano e entenda a realidade como uma rede de relações da qual ela faz parte.

Tal entendimento do meio pelo homem se dá, inclusive, com a produção de conhecimentos que são, por sua vez, categorizados por leis capazes de reproduzir a essência dos fenômenos (Cheptulin, 2004). Isso porque as leis que regem o funcionamento das estruturas e suas mudanças atuam à margem da consciência (Vázquez, 2007). A lei da quantidade e qualidade, por exemplo, é a primeira lei da dialética e reflete características gerais de diferentes fenômenos, ao mesmo tempo que explicita as especificidades que os diferenciam do todo (Cheptulin, 2004). Cheptulin (2004) mostra que, historicamente, o conhecimento humano foi construído primeiro revelando propriedades e depois revelando quantidades (do efeito à causa), e isso se deve principalmente a limitações materiais. Entretanto, diferentemente do conhecimento, a categoria de quantidade precede a categoria de qualidade (da causa ao efeito), de modo que as mudanças quantitativas e qualitativas se comportam de maneira interdependente (Cheptulin, 2004). Ou seja, é um processo dialético de entendimento da realidade, capaz de captar o movimento dos fenômenos ou formações materiais (Konder, 2011).

Ainda segundo Cheptulin (2004), um fenômeno, ao ser estudado pelo homem, é primeiramente percebido em suas características quantitativas (comparando-o com outros) e, assim, com um conjunto de esforços, uma ideia mais completa é formada sobre sua qualidade.

Porém, mesmo atingindo as características da qualidade desse fenômeno, os estudos sobre ele acabam retornando à quantidade (unidades de medida), pois deverá ter seus limites numéricos determinados e, assim, será definida novamente sua qualidade (Cheptulin, 2004). Esses limites, portanto, são responsáveis por estabelecer determinada qualidade e considerando que a matéria apresenta em si uma multiplicidade de qualidades (Cheptulin, 2004), as mudanças quantitativas podem ser de dois tipos: as que não acarretam mudanças qualitativas essenciais e exprimem uma medida; e as que extrapolam os limites numéricos e provocam uma mudança qualitativa da essência.

Além disso, Cheptulin (2004) descreve que as mudanças que são apenas de caráter quantitativo dentro dos limites da qualidade, são graduais, lentas e não alteram a qualidade da formação material, ou melhor, não alteram a essência. Por outro lado, as mudanças quantitativas que superam os limites e são capazes de alterar a essência de algo acontecem de maneira brusca pelo rompimento com a forma anterior e o desenvolvimento da nova, sendo chamados de “saltos” (Cheptulin, 2004). As características de concretização desses saltos dependem tanto das condições concretas da realização, quanto da formação material precedente.

O autor exemplifica tais discussões por meio da água:

A perda, pela água, de uma qualidade, ou seja, do estado líquido, no momento de sua passagem a um outro estado de agregação (vapor ou gelo), não acarreta a perda de sua qualidade como substância particular, constituída de hidrogênio e de oxigênio (Cheptulin, 2004, p. 210).

Ou seja, uma mudança gradativa de temperatura (quantidade) que supera os limites do estado físico da água líquida (0°C a 100°C), dependendo de outras condições, podem fazê-la mudar de qualidade, tornando-a gasosa. Entretanto, sua qualidade essencial não seria alterada e a substância continuaria sendo água. Caso a mudança quantitativa fosse relacionada às propriedades essenciais da água, como as quantidades de átomos que compõem a molécula, a mudança qualitativa alteraria sua essência e ela assumiria outra formação material. Isso porque a alteração na quantidade de átomos violaria os limites de uma molécula de água (2 átomos de hidrogênio e 1 de oxigênio) e por isso a alteraria por completo, caracterizando uma mudança imediata e brusca da qualidade inicial.

Portanto, a qualidade expressa não apenas as propriedades que informam como é a formação material, mas também suas relações com as mudanças quantitativas a serem sofridas (Cheptulin, 1982). A categoria de quantidade, por outro lado, expressa um conjunto de propriedades numéricas que se traduzem em dimensões que são integrantes da qualidade da

substância. As características de qualidade e quantidade são, por fim, um conjunto de propriedades que indicam a essência e o que ela representa, é a unidade do singular-universal e do universal-particular (Konder, 2011). Ambas englobam todas as características, propriedades e conteúdo, ou seja, todas as formas de existência de fenômenos ou formações materiais na realidade (Cheptulin, 2004). Cheptulin (1982) enfatiza ainda que essas características de qualidade e quantidade têm uma existência material objetiva independente da consciência humana.

5.2 Dimensão histórica: trabalho e alienação de Irène Joliot-Curie

Esta seção mobilizou as duas categorias já descritas anteriormente a fim de explicitar as especificidades e a materialidade do trabalho científico de Irène Joliot-Curie. Isso porque, segundo Vázquez (2007, p. 325), “a história do homem nada mais é do que a história da sua práxis [e] o homem é histórico precisamente como ser prático”. Assim, pode-se assumir que a história do homem é produzida por ele mesmo em sua atividade prática, ou seja, pelo seu trabalho. O que, inclusive, trata-se da transformação do mundo e dele mesmo, posicionando o trabalho como mediador da relação entre homem e natureza (Vázquez, 2007). Tudo isso, determinado socialmente, já que a relação homem e homem também existe e define aspectos da existência humana.

Sendo assim, o trabalho científico é uma parte específica desse processo histórico humano, pois tem como objeto a própria natureza e/ou os homens, mas também é determinado socialmente ao longo do tempo (Pinto, 2020, p. 290):

Nos primórdios do desenvolvimento cultural da humanidade, quando ainda não havia grupos superiores, com comando e finalidades próprias, [...] a descoberta dos fenômenos naturais era feita pela observação e raciocínio daqueles que trabalhavam diretamente com a realidade. [...] Outras fases, posteriores à primeira, em que os grupos então dominantes se desinteressaram da investigação das propriedades das coisas e se contentaram em fortalecer a estrutura social que lhes assegurava a apropriação do trabalho [...], supõe uma economia de mercado e a utilização das energias naturais, dominadas e canalizadas para máquinas-ferramentas, nas quais o grupo dominante que tem o controle das finalidades sociais.

Ao tratarmos de ciências, mesmo que as da natureza, como é o caso da química, é inevitável observá-la em sua relação com a sociedade, uma vez que “a ciência está dentro da sociedade, dentro da história (Young, 1990a, p. 80, tradução nossa) ou ainda “a sociedade é a violação constante da natureza” (Vázquez, 2007, p. 375). Retomando a discussão sobre a perpetuação da necessidade de transformação da matéria ao longo da história da química do capítulo anterior, é interessante destacar como isso se perpetuou em diferentes épocas, mas

com as concepções de matéria e da própria ciência completamente diferentes. Isso porque os contextos sociais, político, econômico, cultural e principalmente científico, eram completamente distintos e moldavam a química de maneiras particulares.

Segundo Pinto (2020), no início das indagações sobre a natureza, o homem tinha comando sobre as próprias observações e finalidades. Porém, com o desenvolvimento das forças produtivas, a relação entre cientistas e objetivos das pesquisas passaram a ser corrompidas pela ordem econômica, que buscou sempre a mercantilização e utilização energética da natureza para suprir suas demandas industriais. Sendo assim, Pinto (2020) e Vázquez (2007) definem que a estrutura limita e estreita o trabalho do cientista, sempre encomendando, arrebatando e controlando os frutos da produção científica, impedindo resultados que poderiam atender a sociedade como um todo.

Esse processo de distanciamento entre o sujeito e suas finalidades ao exercer algum tipo de trabalho é nomeado por Marx (2013) de alienação, como já apresentado anteriormente nesta dissertação. Isso porque corrompe o significado essencial de trabalho, que deveria tratar de uma atividade exclusivamente humana exatamente pela capacidade de antecipação de resultados e planejamento do homem (Cheptulin, 2004). Entretanto, se os objetivos iniciais das práticas científicas são separados ou distorcidos ao longo do processo de concretização, o resultado não coincidirá com as expectativas do sujeito e ele sofrerá um processo de estranhamento. Esse não reconhecimento dos produtos da própria prática faz com que o indivíduo, no caso o cientista, perca de vista sua identidade (Marx, 2011) e as funções sociais da sua própria prática (Young, 1990b).

Portanto, nos anos iniciais do aparecimento das discussões sobre as transformações da matéria as indagações tinham um caráter filosófico e refletiam questionamentos mais diretamente conectados com questões essenciais do homem (Alfonso-Goldfarb, 2001). Isso porque estavam inseridas em um período de desenvolvimento social e econômico mais simples e incipiente que articulava menores influências na ciência e nas necessidades humanas em geral. A descoberta da radioatividade artificial foi produzida em um dos momentos mais agitados da história humana, sofrendo múltiplas determinações que marcaram o século XX como a revolução industrial e as guerras (Hobsbawn, 1995), havendo alta necessidade energética capaz de movimentar a ciência a seu favor, pois “uma substância radioativa [...] constituía uma fonte contínua de energia” (Curie, 1903, p. 74). Cordeiro e Peduzzi (2011, p. 9) também apontam para tal questão:

Não passou despercebida pelos diversos cientistas que se debruçavam sobre a radioatividade naquele começo de século 20 a magnífica fonte de energia

que os elementos radioativos liberavam, e em suas primeiras pesquisas, Soddy calculou, juntamente a Rutherford, a quantidade de energia envolvida nos fenômenos radioativos. Em seus anos na Universidade de Glasgow, Soddy publicou diversos trabalhos enfatizando a importância da busca por geração de energia através de processos atômicos. Ele já previa que a industrialização exigiria uma energia que as fontes de combustíveis disponíveis até o momento não dariam conta de suprir, apontando para a utilização de energia atômica e enfatizando a necessidade de se pesquisar processos que pudessem proporcionar essa transformação.

Ou seja, a busca pela apropriação da transformação da matéria deixou de ser uma necessidade do homem para o homem, a fim de suprir suas necessidades essenciais com a natureza, e passou a ser a busca do cientista para o sistema de produção, com o objetivo de mantê-lo vigente. Até porque, “o ‘modo de produção’ também determina o ‘modo de concepção’” do conhecimento (Young, 1990a, p. 82). Sendo assim, nota-se neste processo um tipo de alienação singular do trabalho científico, já que sua capacidade de domínio da natureza é de grande interesse para o sistema econômico e sempre será vítima da influência dele. Tais aspectos podem ser enxergados na história de Irène Joliot-Curie apresentada no capítulo anterior, e para apontá-las, três características principais desse processo definidas por Pinto (2020, p. 292) serão aqui apresentadas e conectadas com fatos da trajetória da cientista. A primeira se refere a:

a) Perda do controle da destinação dos resultados do trabalho, por parte do cientista. Quer se trate de um novo objeto, uma nova técnica ou uma idéia original, o verdadeiro autor não decide mais do destino que devem ter, das finalidades a que servirão, das conseqüências a que deverão dar lugar; quem terá essa função serão aqueles grupos sociais que empresaram a pesquisa, que converteram o sábio em máquina pensante, e que se reservam o direito de utilizar para seus próprios fins, ligados fundamentalmente aos seus interesses econômicos e políticos.

Na história de Irène é possível destacar tal fenômeno na medida em que sua descoberta, em conjunto com o marido, culminou na criação de duas novas áreas da ciência, a química e a física nuclear. Tais ramos que se tornaram específicos para estudos das propriedades nucleares do átomo não existiam antes da descoberta da radioatividade artificial. Isso porque só a partir da possibilidade de artificialização do fenômeno em laboratório foi possível sua total apropriação e utilização da energia resultante a favor do homem, ou melhor, do sistema. Ou seja, a criação de tais áreas permitiu avanços no entendimento humano sobre as propriedades nucleares dos átomos, mas provavelmente deveu-se mais à intencionalidade econômica de se apropriar do fenômeno como uma nova fonte de energia. Tal aspecto pode ser confrontado com as verdadeiras intencionalidades do casal Joliot-Curie, que eram sempre explicitadas em

diferentes ocasiões, mas especialmente no momento em que tiveram a maior atenção de suas carreiras, os discursos da premiação do Nobel de 1935:

A descoberta dos radioelementos teve imensas consequências no **conhecimento da estrutura da matéria**; o estudo dos próprios materiais e o estudo dos poderosos efeitos produzidos nos átomos pelos raios que eles emitem ocupam os trabalhadores científicos de numerosos grandes institutos de pesquisa em todos os países.

No entanto, a radioatividade permaneceu uma propriedade exclusivamente associada a cerca de trinta substâncias existentes naturalmente. A criação artificial de radioelementos abre um novo campo para a ciência da radioatividade e, portanto, fornece uma **extensão do trabalho de Pierre e Marie Curie** (Joliot-Curie, 1935, grifo nosso, tradução nossa).

Foram destacados no trecho da fala de Irène o que aparenta ser suas intencionalidades com as pesquisas sobre a radioatividade artificial. Isso indica que a intenção era continuar o trabalho de outros cientistas da área, incluindo seus pais, e permitir maior entendimento sobre a estrutura atômica. Sendo assim, suas intencionalidades foram atingidas, já que o átomo foi largamente compreendido nos anos posteriores às suas descobertas e isso pode ser considerado uma extensão do trabalho de Marie e Pierre.

Entretanto, outro fato de sua história que confirma tais pontuações é a preocupação que eles tiveram com os caminhos que suas descobertas tomariam. Desde a primeira premiação da família Curie, no Nobel de 1903, eles já alertavam sobre os possíveis usos da radioatividade:

Pode-se até pensar que o rádio pode se tornar muito perigoso em mãos criminosas, e aqui pode-se questionar se a humanidade se beneficia de conhecer os segredos da Natureza, se está pronta para lucrar com isso ou se esse conhecimento não será prejudicial para ela. O exemplo das descobertas de Nobel é característico, pois explosivos poderosos capacitaram o homem a realizar trabalhos maravilhosos. São também um terrível meio de destruição nas mãos de grandes criminosos que levam os povos à guerra. Eu sou um daqueles que acreditam com o Nobel que a humanidade tirará mais benefícios do que danos das novas descobertas (Curie, 1903, p. 6).

O que foi reproduzido por Irène e Frédéric em seus trabalhos também estava cercado por essas preocupações. Conforme Crossfield (2005), eles não patentearam a radioatividade artificial, mas sentiam o peso da responsabilidade social e política que suas descobertas poderiam ter. Para a mesma autora, Frédéric passou a prever reações radioativas em cadeia, de caráter explosivo, alertando sobre a possível má utilização da liberação de energia atômica. Irène, em sua última mensagem pública, fez um apelo ao Congresso Mundial de Mães, onde suplicava pela defesa dos filhos contra o risco de uma nova guerra, que, infelizmente, seria com armas atômicas (Crossfield, 2005). Cabe neste momento uma análise sobre o papel da patente na ciência, pois os cientistas em questão tinham consciência de algumas das proporções que o conhecimento poderia proporcionar e talvez a patente poderia ser uma forma de protegê-

lo de usos indevidos. Entretanto, compreendendo o papel mercantil da patente no sistema capitalista, entende-se que esse feito não funcionaria como uma forma de segurança, mas sim como mais uma fonte de lucros e exploração.

Portanto, foi a partir dessa e de outras descobertas da época sobre os efeitos da interação da radioatividade com outros átomos, que a corrida pela produção de bombas nucleares se iniciou (Cesareo, 2010), e assim, sua produção foi então desconectada de alguns dos seus objetivos e preocupações iniciais. O que permite um destaque já que tal consequência extrapolou a realidade dos cientistas responsáveis pela descoberta e atingiu o mundo todo, ou melhor, o rumo da humanidade.

Apresentamos a seguir o segundo aspecto da alienação do trabalho científico proposto por Pinto (2020, p. 292-295):

b) A segunda modalidade de alienação específica do trabalho científico é o que chamaríamos de anonimato, o desaparecimento do homem no mecanismo da produção científica. O sábio fica absorvido pelo sistema onde está obrigado a se alojar para produzir. Da mesma maneira que no caso da produção econômica em geral, a complexidade inevitável da organização da produção científica, que implica em imensos estabelecimentos, laboratórios, escritórios burocráticos, instalações fabris gigantescas, [...] desde as bibliotecas até a colaboração de outros cientistas, técnicos e operários especializados, tudo isso contribui para o surgimento de uma nova espécie de contradição alienadora do trabalho individual do homem de ciência. Por um lado, sem a sua contribuição pessoal não há ciência, mas por outro cada vez mais se torna difícil, até mesmo ao próprio sábio definir a parte que lhe pertence na criação científica. As dimensões, continuamente ampliadas, da organização da ciência conduzem ao esmagamento do indivíduo, à ocultação da personalidade criadora, à imprecisão de sua contribuição, ao anonimato no trabalho.

Entende-se aqui que o autor valoriza o indivíduo em relação ao sistema, a fim de explicitar as ações singulares que permitem com que a ciência exista, tirando-a do seio capitalista de produção e entregando-a a quem de fato a produz, o trabalhador. Mesmo que o autor tenha apontado o trabalho coletivo com outros profissionais como um dos fatores responsáveis pelo anonimato, destacamos que atualmente entende-se que esse é na verdade um fator essencial da ciência. As avaliações por pares, os trabalhos colaborativos e o compartilhamento de dados são exemplos de aspectos que compõem as produções científicas e dão mais credibilidade aos seus resultados. Claro que todos esses fatores também estão sujeitos à lógica do capital e do produtivismo, apesar disso continuam sendo um fator importante na produção do conhecimento científico. Além de reconhecer que todo trabalho para o marxismo, seja na ciência ou não, tem um caráter coletivo que o move na direção de objetivos amplos e sociais, dando-o sentido humano. Por isso, nessa análise direcionamos a

questão do apagamento do trabalhador em relação ao sistema esmagador e não na sua relação com outros trabalhadores, na tentativa de superar a distorção apresentada por Gil-Pérez (2001, p. 133) há muitos anos e reiterada pela literatura de Natureza da Ciência:

Os conhecimentos científicos aparecem como obras de gênios isolados, ignorando-se o papel do trabalho coletivo e cooperativo, dos intercâmbios entre equipes... Em particular faz-se crer que os resultados obtidos por um só cientista ou equipe podem ser suficientes para verificar, confirmando ou refutando, uma hipótese ou toda uma teoria. Muitas vezes insiste-se explicitamente em que o trabalho científico é um domínio reservado a minorias especialmente dotadas, transmitindo-se assim expectativas negativas à maioria dos alunos, com claras discriminações de natureza social e sexual (a ciência é apresentada como uma atividade eminentemente “masculina”).

O indivíduo aqui valorizado também pode ser problematizado, uma vez que o estereótipo de trabalhador da ciência coincide com as características do homem branco dominante. Portanto, explicitar o caráter coletivo também permite revelar as pessoas normalmente ocultas da ciência, como é o caso das mulheres, que também já vem sendo problematizado pela literatura em NdC.

Na carreira de Irène é possível destacar alguns momentos específicos que refletem tal burocratização e despersonalização do trabalho científico, permeando-o por contradições. Antes da descoberta da radioatividade artificial, ela e Frédéric trabalharam em diferentes estudos sobre a estrutura atômica, contribuindo inclusive para discussões acerca do pósitron e do nêutron, mas foram outros os cientistas premiados pela descoberta dessas partículas (Crossfield, 2005). Da mesma forma que conhecimentos produzidos anteriormente foram fundamentais para o trabalho dos dois, o que evidencia o caráter coletivo na produção dos conhecimentos científicos. Entretanto, demonstra que os reconhecimentos e prêmios normalmente são atribuídos a apenas alguns dos cientistas envolvidos no processo, favorecendo o anonimato e o apagamento dos homens e mulheres da produção de conhecimento. Isso porque, provavelmente, as grandes premiações na ciência não servem para reconhecer de fato os verdadeiros contribuintes para a produção de algum conhecimento, mas se trata de mais um mecanismo que movimenta a economia e as relações de poder.

Além disso, Irène Joliot-Curie sofreu também com o outro extremo do reconhecimento de colaborações na ciência, visto que sempre esteve diretamente submissa ao marido ou à mãe. Ao longo de sua carreira praticamente todos os seus feitos que ficaram marcados na história tratavam de momentos em que estava com Marie Curie ou com Frédéric Joliot-Curie. Por exemplo, sua atuação na Primeira Guerra Mundial, mesmo sendo ela a enfermeira (Gilmer, 2011), o prestígio da atuação com os carros radiológicos nos campos de batalha é normalmente

atribuído à Marie. Posteriormente, foi só quando a mãe faleceu em 1934 que o cargo de diretora do *Institut du Radium* lhe foi oferecido (Gilmer, 2011), mesmo ela tendo passado toda a sua carreira profissional trabalhando lá. O mesmo ocorreu em relação ao Frédéric, já que Irène desenvolveu diferentes pesquisas em outras parcerias científicas e até mesmo sozinha (Crossfield, 2005), mas nenhuma dessas foi reconhecida. Além disso, após a premiação de ambos no Nobel, ela sempre foi convidada a assumir cargos inferiores ao do marido, isso quando não eram cargos que o próprio Frédéric havia deixado (Crossfield, 2005).

Por fim, a última característica do processo de alienação no trabalho científico (Pinto, 2020, p. 292-295) que pôde ser conectada com a história de Irène é a seguinte:

c) No terceiro aspecto se produz a alienação específica do labor científico: nas sociedades como as nossas, onde reinam antagonismos substanciais, previamente a qualquer realização o cientista tem de concordar com as condições materiais de trabalho, que lhe são impostas. Sendo a criação científica por natureza aleatória, nenhum pesquisador está de antemão seguro de que vá descobrir qualquer coisa valiosa, e assim, o rendimento da obra individual, excetuando o caso da rotina artesanal, é sempre uma probabilidade apenas. O cientista, ao se engajar num programa de pesquisa que tenha concebido, pode não barganhar com os superiores os frutos que irá colher, pois estes não estão de modo algum assegurados. Sua situação no contexto social, ao projetar o que será seu trabalho pessoal, manifesta nítida inferioridade, em face das forças que o empregam, e por isso tem inevitavelmente de aceitar as condições econômicas, o código de conduta e os valores do sistema que o contrata. Sua liberdade de criação está, deste modo, desde o início cerceada pela alienação a que se tem de submeter.

Obviamente, tratando-se de Irène Joliot-Curie, é necessário reconhecer suas condições materiais privilegiadas em relação a maioria dos trabalhadores da ciência. Inicialmente pelo motivo mais explícito, que é o fato dela ser membro de uma família repleta de cientistas, e segundo, por ela ter a possibilidade de trabalhar e posteriormente dirigir um Instituto de pesquisa em radioatividade (Crossfield, 2005). Entretanto, mesmo com tais condições pessoais privilegiadas, a ciência era e ainda é majoritariamente determinada pela estrutura econômica e política (Vázquez, 2007). Como mostra o terceiro aspecto, suas intenções e engajamentos não são garantia de sucesso (Pinto, 2020), até porque ela e o marido investiram esforços em diferentes estudos ao longo de toda suas vidas, porém, apenas em um deles lhes foi atribuído reconhecimento formal.

Além disso, quando os Joliot-Curie obtiveram os primeiros resultados provenientes da radioatividade artificial, levaram para compartilhamento com a comunidade física da época, que reprovou o trabalho (Crossfield, 2005). Foi apenas com a replicação de experimentos e a publicação de artigos em uma revista conceituada da área que a descoberta foi devidamente reconhecida. Tal aspecto explicita as questões burocráticas e o cerceamento por conta das

limitações institucionais e materiais oferecidas, afetando quaisquer cientistas, mesmo aqueles que têm uma posição favorável no meio.

Entretanto, destaca-se o caráter dialético da burocratização da ciência, pois mesmo reconhecendo que as condições materiais e exigências do meio podem dificultar o trabalho, por se tratar de uma produção erudita, precisa ser bem estabelecida e organizada. Os critérios de verdade na ciência, ou seja, o que valida seus resultados e a torna de fato uma produtora de conhecimento humano, emergem de um processo bem determinado, que varia dependendo do contexto, mas que exige práticas e métodos específicos (Valero *et al*, 2022). Por isso, seus resultados passam por um longo processo antes de serem considerados, por meio das constantes análises, discussões e compartilhamentos em espaços específicos para isso, como congressos e revistas, a fim de validá-los. Assim, a ciência é uma atividade bem definida socialmente, o que a diferencia de outros trabalhos, mas que também está em constante desenvolvimento e pode ter seus métodos criticados.

5.3 Dimensão dialética: matéria e quantidade e qualidade na radioatividade artificial

Como definida no capítulo três deste trabalho, a lei da quantidade e qualidade indica que a caracterização das formações materiais é feita em quantidades de grandezas e dimensões que refletem a sua essência, de modo que o conjunto dessas propriedades constitui sua qualidade (Cheptulin, 2004). Engels (2020, p. 117) define a "química como a ciência das mudanças qualitativas dos corpos em decorrência da composição quantitativa alterada", enquanto os próprios químicos, como Robert Boyle, a definem como o estudo da matéria e movimento, sendo esses os únicos princípios universais da realidade (Alfonso-Goldfarb, 1994). Linus Pauling (1950), ainda, afirmou que os químicos se interessam por diferentes tipos de matérias.

Mesmo que Boyle e Pauling não estivessem discutindo a mesma coisa que Engels, há em comum nessas falas a questão da primazia da matéria que se manifesta na química. Sobre Engels é possível destacar que suas afirmações eram propositalmente materialistas dialéticas, e mesmo que quanto aos outros não seja possível inferir o mesmo apontamento, destaca-se como o caráter materialista da própria química emerge das falas desses cientistas. Outro destaque é sobre a palavra "movimento" apontada como um princípio universal por Boyle, já que segundo Cheptulin (2004), o movimento é a modificação de todas as mudanças e processos que se reproduzem no universo, ou seja, uma propriedade fundamental da matéria. Assim, podemos reafirmar a ideia de que os próprios cientistas, mesmo que não necessariamente materialistas dialéticos, notam categorias da dialética na química.

Tratando-se ainda dessa associação entre matéria e movimento, Cheptulin (2004) também afirma que tal relação é o que explica a intrínseca correspondência entre massa e energia. Na química, por sua vez, um dos processos em que observamos a transformação de massa em energia é a radioatividade, no qual parte do núcleo atômico é emitido em forma de partícula energética. Considerando esse fenômeno, Irène Joliot-Curie define e faz alguns comentários a respeito da sua descoberta em seu discurso do Nobel da premiação de 1935, seu momento de maior destaque na ciência:

A descoberta dos radioelementos, os físicos viram-se pela primeira vez confrontados com estranhas substâncias, minúsculos geradores de radiação dotados de uma enorme concentração de energia [...] que seria impossível comunicar [...] por ação humana. [...] Os químicos não ficaram menos surpresos ao reconhecer nesses corpos radioativos elementos que haviam sofrido **modificações na estrutura atômica que se pensava inalterável** (Joliot-Curie, 1935, grifo nosso, tradução nossa).

No grifo do trecho, Irène comenta sobre a ideia de imutabilidade do átomo que o acompanha desde sua concepção, já que sua definição, inicialmente filosófica, afirma que se trata de “partículas minúsculas, eternas e indivisíveis” (Átomo, 2023). Além disso, outros cientistas dos séculos XVII e XVIII, como Robert Boyle (1627-1691) e John Dalton (1766-1844), também o definiam como pequenas partes da matéria maciça, indivisível e indestrutível (Gatto; Júnior; Stanzani, 2017).

Segundo Trochin (1955), foi exatamente nesse período (séculos XVI, XVII e XVIII) do desenvolvimento das ciências naturais que elas passaram por um processo de acumulação de classificações do que já se havia produzido. Entretanto, os cientistas ainda não tinham se dado conta da capacidade de generalização que os conhecimentos permitem, ou seja, do seu caráter totalizante (Trochin, 1955). Os objetos e fenômenos da natureza eram estudados em sua forma isolada, fixa e em repouso, desconsiderando seu movimento, o que caracterizou um período de produção de conhecimento de caráter metafísico, proporcionando um entendimento fragmentado da realidade que prejudicava a captação do real em sua totalidade de conexões (Trochin, 1955).

Cordeiro e Peduzzi (2011, p. 4) apontam para o fato de que os estudos sobre radioatividade foram capazes de mudar a concepção de átomo e até mesmo de dividir as opiniões de grandes cientistas da época:

Eles enfatizam a importância da hipótese lançada pelo casal Curie, de que a radioatividade seria uma propriedade atômica da matéria. Ela serviu como guia nos estudos do casal e levou ao descobrimento do rádio; a mesma relevância ela assumiu nas pesquisas de Rutherford e Soddy, que concluem veementemente “Está bem estabelecido que essa propriedade é em função do átomo, e não da molécula”. A teoria de desintegração dos elementos nascia

naquele momento, mas não sem muita cautela por parte daqueles que a defendiam. Para Mendeleev, o pai do sistema periódico, por exemplo, o átomo era definitivamente imutável, e resistiu fortemente à nova teoria.

Por meio da lógica dialética essa concepção idealista do átomo isolado e imutável não seria possível, já que Cheptulin (2004) afirma que o movimento é o modo de existência da matéria e ela, existindo eterna e constantemente, passa apenas por estados qualitativos diferentes. Esses movimentos infinitos da matéria tendem sempre à transformações da passagem do inferior ao superior, indicando seu constante desenvolvimento (Cheptulin, 2004). Ou seja, a definição de átomo pensada a partir desta concepção já traz consigo intrinsecamente a ideia de movimento e conseqüentemente, pode permitir um entendimento mais esclarecido quanto às suas transformações, como por exemplo, a ideia de transmutação dos átomos poderia não ter sido uma surpresa. Essa percepção de movimento em sua relação com a matéria pode permitir até mesmo uma melhor compreensão a respeito da radioatividade, pois a previsibilidade de mudanças e transformações constantes agrega no trabalho científico que conta em partes, com a capacidade de previsão.

Além disso, considerando o fenômeno da radioatividade de fato, Irène comenta em um discurso que:

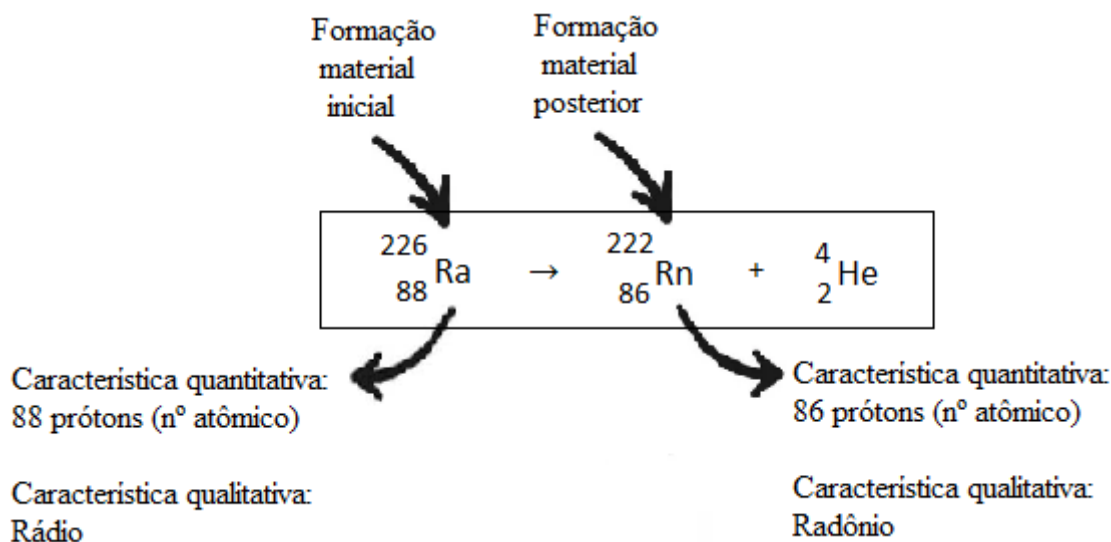
Cada emissão de um raio alfa ou beta acompanha a **transmutação de um átomo**; a energia comunicada a esses raios vem de dentro do átomo. Enquanto existirem, os radioelementos têm **propriedades químicas bem definidas**, como as dos elementos comuns (Joliot-Curie, 1935, grifo nosso, tradução nossa).

As frases grifadas permitem-nos notar que a emissão de unidades de partículas alfa ou beta é o que faz o elemento transmutar-se. Ou seja, a mudança em determinada quantidade de partículas subatômicas do núcleo faz com que a qualidade do elemento seja alterada, verificando-se aqui, a lei da transformação da quantidade em qualidade (Engels, 2020). O que acontece devido ao fato dos limites quantitativos da qualidade inicial (número atômico do elemento radioativo) serem ultrapassados, fazendo com que a nova quantidade não corresponda mais à qualidade anterior e assim, ocorre a formação de uma nova qualidade. Ao mesmo tempo que o inverso também pode ser apontado, pois assim que o elemento assume essa nova qualidade depois da transmutação, novos limites quantitativos são estabelecidos quanto ao seu número atômico, definindo assim todas as suas novas características. Até porque, como pode-se observar no segundo grifo do trecho, o novo elemento possui propriedades bem definidas, então houve também a transformação da qualidade em quantidade. Portanto, a transformação de um aspecto, de uma propriedade ou de um fenômeno é condicionada por certa modificação

de outro aspecto, propriedade ou fenômeno, visto que tudo faz parte da mesma realidade total (Cheptulin, 1982).

Esse movimento da matéria entre quantidade e qualidade observado no átomo e mais especificamente na radioatividade, está representado no esquema a seguir (Figura 10):

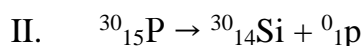
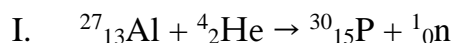
Figura 10 - Esquema representativo de algumas características quantitativas e qualitativas dos átomos envolvidos em uma reação nuclear.



Fonte: Elaboração própria.

Esse exemplo apresenta a reação que foi estudada por Irène da transmutação do rádio em radon por meio da emissão de uma partícula alfa (representada pelo núcleo do hélio, ${}^4_2\text{He}$), já que o rádio é um elemento radioativo. Como descrito anteriormente, a qualidade de uma formação material é determinada por seus limites quantitativos, ou seja, no caso dos átomos, para que se tenha um elemento (qualidade) o número de prótons no seu núcleo é correspondente e único (quantidade). Tal relação se estende a todas as outras características do elemento, sejam numéricas como número de elétrons, número de massa, ponto de fusão e de ebulição etc., ou qualidades de sua existência, como estado físico, cor, forma etc. Caso os limites numéricos sejam ultrapassados, sua qualidade também será alterada, como no exemplo da Figura 10, no qual o número de prótons do rádio passa de 88 para 86 configurando uma nova organização atômica e caracterizando um novo elemento, o radon.

No experimento de Irène e de Frédéric sobre a radioatividade artificial, as transformações de qualidade e quantidade podem ser observadas em todas as etapas:



A primeira etapa se trata da radioatividade induzida no alumínio pelo seu bombardeamento com uma partícula alfa (representada pelo hélio), na qual os prótons e nêutrons da partícula são somados ao núcleo do elemento inicial (alumínio), ultrapassando seus limites quantitativos e formando a qualidade de outro elemento (fósforo). Na segunda etapa, o fósforo produzido anteriormente é artificialmente radioativo e emite um pósitron, ou seja, perde parte do seu núcleo com essa emissão e a configuração numérica que resta, caracteriza um novo elemento, o silício, que por sua vez têm novos limites quantitativos.

Irène também afirmou sobre a velocidade das transmutações que não permitem intervenções: “Esses átomos instáveis se desintegram **espontaneamente**, alguns muito **rapidamente**, outros muito **lentamente**, mas de acordo com leis imutáveis com as quais **nunca foi possível interferir** (Joliot-Curie, 1935, grifo nosso, tradução nossa). O que pode ser explicado, segundo Cheptulin (2004), pelo fato dos processos de passagem de um estado qualitativo a outro, ter um ritmo dependente tanto da natureza do material, quanto das condições às quais ela se efetua. Isso porque esse fenômeno se trata de uma mudança qualitativa fundamental (Cheptulin, 2004), já que cria uma essência para a formação material em questão, que no caso é, um novo elemento químico. Esse tipo de transformação que altera a essência da formação material pode ser chamada de salto, ocorrendo brusca e instantaneamente. Entende-se que os elementos radioativos têm diferentes tempos de meia-vida, mas esse tempo diz respeito à distância temporal entre as partículas a serem emitidas e não à transmutação de fato, pois a partir do momento em que a partícula se desprende do núcleo, o elemento transforma-se imediatamente em outro.

6. ESTUDO 3: IMPLICAÇÕES PARA O ENSINO DE QUÍMICA HISTÓRICO-CRÍTICO

Considerando as discussões a respeito da história de Irène Joliot-Curie e da sua principal produção científica, a radioatividade artificial, alinhamo-nos agora aos principais objetivos educacionais da PHC para direcionar as discussões do ensino desse conteúdo.

De acordo com os autores que fundamentam a teoria Histórico-crítica, é de fundamental importância possibilitar o acesso aos bens não só materiais, mas também intelectuais produzidos até o momento pela humanidade, como forma de constituir um ser humano com aptidões e funções mais elevadas, concorrendo para a emancipação humana. O acesso aos bens intelectuais mais desenvolvidos, como a ciência, a arte e a filosofia, na sociedade contemporânea, não podem se concretizar para a totalidade da população a não ser por meio da educação escolar. (Malanchen, 2021, p. 75)

Este capítulo será dedicado à discussão sobre a importância do ensino do conhecimento químico abordado na seção anterior, a radioatividade em sua forma natural e artificializada. Apresenta-se três subseções, nas quais se explora: a pedagogia em questão e seu referencial teórico; a importância da radioatividade como conteúdo para a educação básica; e as ideias e resultados que guiaram a produção da narrativa histórica que exploram os aspectos de NdC que emergem da história de Irène e permitem seu uso como ferramenta de ensino do conteúdo. Isso por acreditarmos que tal conteúdo contextualizado pela história de sua produção permite o ensino de reflexos da natureza dialética da química que pode contribuir para a formação de uma perspectiva materialista, histórica e dialética.

6.1 Referencial teórico

Explicitamos nesta subseção o referencial teórico no qual nos apoiamos para o desenvolvimento das implicações didáticas deste trabalho. Explicamos que a PHC é uma teoria pedagógica da educação que tanto discute o papel da educação na sociedade quanto busca orientar o processo de ensino em direção a superação do sistema econômico atual (Saviani, 2013). Como base ontológica e epistemológica, essa pedagogia está fundamentada no MHD e, em relação às bases psicológicas, ela se sustenta na psicologia histórico-cultural de Vygotsky (Saviani, 2015).

Destaca-se que não pretendemos fazer uma exposição completa da teoria, pois buscamos mostrar apenas os conceitos que serão de fato mobilizados posteriormente nas discussões sobre a radioatividade como um conteúdo e na proposição da narrativa histórica.

Assim, expomos principalmente a importância da superação do cotidiano da educação escolar com o ensino de conhecimentos eruditos.

6.1.1 A Pedagogia Histórico-Crítica e a importância dos conteúdos científicos

A PHC é uma teoria pedagógica crítica idealizada por Dermeval Saviani que vem sendo construída coletivamente por autores como Newton Duarte, Ana Carolina Galvão Marsiglia, Lígia Márcia Martins, Tiago Nicola Lavoura, Juliana Campregher Pasqualini, Paulino José Orso etc. (Duarte, 1994; Saviani, 2011b). Como já citado, suas bases filosóficas e psicológicas são fundamentadas nas obras de Marx, Engels, Lênin, Gramsci e Vygotsky (Lombardi; Colares, 2021), ou seja:

- no MHD, quanto à concepção de mundo e os aspectos gerais do ser humano;
- e na psicologia histórico-cultural, sobre como o ser humano conhece sua realidade em sua relação com ela;

Porém, Saviani (2007, p. 420) destaca que tais bases se trata “de inspirações [...] e não de extrair dos clássicos do marxismo uma teoria pedagógica [...]. Aquilo que está em causa é a elaboração de uma concepção pedagógica em consonância com a concepção de mundo e de homem próprio do materialismo histórico” (Saviani, 2007, p. 420). Ou seja, esta é uma teoria pedagógica própria baseada na lógica dialética e em preceitos marxistas, tendo como objetivo norteador a transmissão, para cada indivíduo, da riqueza cultural produzida coletivamente tendo em vista a plena humanização, o que só ocorre com a superação da sociedade capitalista.

A PHC carrega em seu nome o termo “crítico”, pois tem como objetivo primordial a formação de alunos que sejam capazes de transformar sua própria realidade. Além disso, o termo “histórico” se refere à “história decorrente das formas que, por meio do trabalho, homens e mulheres se relacionam com a natureza e entre si, para garantir a sobrevivência da espécie humana” (Lombardi; Colares, 2021, p. 43). Assim, Saviani (2011a, p. 17) entende que “o trabalho educativo é o ato de produzir direta e intencionalmente, em cada indivíduo singular, a humanidade que é produzida histórica e coletivamente pelo conjunto dos homens”.

Desse modo, considerando essa ideia de socialização de conhecimentos já produzidos, a educação é o campo da sociedade responsável por isso, enquanto a escola é o ambiente concreto para realização desse processo (Saviani, 2011a). Os conhecimentos ofertados pela educação escolar devem visar que o aluno supere a cotidianidade imediata, uma vez que essa dimensão da vida é baseada quase exclusivamente nas experiências individuais, ocultando a exploração e a alienação na sociedade, não fornecendo, portanto, uma visão de totalidade. Por

isso, a escola não deve reiterar o dia a dia, mas sim superá-lo revelando os aspectos essenciais da realidade ocultos à percepção imediata (Saviani, 2021). Deste modo, a educação deve ser capaz de permitir que o aluno, ao desvelar a realidade, tenha uma atuação consciente na sociedade, sendo, a educação, portanto, mediadora no interior da prática social.

Esse processo se dá especialmente na relação entre o professor e o aluno, que são sujeitos singulares em suas individualidades, com particularidades em comum por pertencerem à classe trabalhadora, e ainda com características universais por serem parte da realidade total (Saviani, 2011b). Ou seja, existem aspectos que os igualam e que os diferenciam hierarquicamente, pois os dois são sujeitos atuantes na sociedade, mas o professor é quem detém maior parte dos conhecimentos que serão ensinados, por isso ele é fundamental para definir os problemas e os conteúdos presentes na prática social. Tais conhecimentos são as citadas produções humanas, pois tudo o que a humanidade produziu historicamente é o que a caracteriza como espécie, e deve ser fornecido a todos como direito para que possam também fazer parte desta história (Saviani, 2008). Criticando a definição abstrata de igualdade, considera-se que a “direção à igualdade [social] real implica a igualdade de acesso ao saber, portanto, a distribuição igualitária dos conhecimentos disponíveis” (Saviani, 2008). Ou seja, valoriza-se os conteúdos, mas não da maneira tradicional, pois,

[...] para a PHC, os conteúdos estão longe de ser matéria morta ou abstrações sem sentido, pois se constituem como elemento central para o sujeito entender a realidade e, assim, coletivamente transformá-la. A historicidade, o movimento e a dinamicidade do conteúdo permitirão que o aluno, ao se apropriar dessas objetivações humanas, atinja uma compreensão mais sintética da prática social global, uma consciência filosófica que supera, por incorporação, o senso comum (Messeder Neto, 2022, p. 275-276).

Entretanto, na escola não há espaço para tudo o que já foi produzido e a PHC tem discutido quais são os conteúdos clássicos e essenciais que devem estar na escola cumprindo tal função. O que já é considerado consenso, além da sua importância, é a forma erudita que os conteúdos devem ter no ensino, pois apenas o conhecimento elaborado e sistematizado é capaz de dar ao aluno acesso à cultura verdadeiramente humana (Saviani, 2011a). Ou seja, o conteúdo ensinado em sua concretude, é o que fará com que o aluno compreenda sua realidade material e se reconheça como sujeito da história (Messeder Neto, 2022).

Quanto às práticas e metodologias para o ensino desses conteúdos em sala de aula, Galvão, Lavoura e Martins (2019, p. 98), ao discutirem uma didática para a PHC, alertam,

entendemos que, enquanto construção coletiva e valendo-nos do princípio da totalidade curricular no que diz respeito à relação entre método pedagógico e as diferentes disciplinas curriculares, não cabe a nós oferecermos contribuições específicas em todos os campos da educação.

Sendo assim, para a PHC, professores e pesquisadores, a partir de suas próprias disciplinas específicas e conscientes da importância da própria prática, são capazes de desvelar seu próprio caminho didático, na medida em que reconhecem o papel dos conteúdos e dos respectivos componentes curriculares, à exemplo da química, como tratamos a seguir.

6.2 A radioatividade como um conteúdo escolar

Como apresentado anteriormente, os produtos intelectuais da humanidade são muitos, por isso tem havido um esforço coletivo da PHC em busca de apontar quais são os conteúdos essenciais para a formação escolar básica, a fim de orientar a definição de um currículo histórico-crítico. Alguns apontamentos atuais se referem à definição de conteúdos clássicos. Pasqualini (2018) define o clássico como um conhecimento que extrapola o momento histórico em que foi produzido, o que o torna referência em determinada área do conhecimento. Além disso, a autora defende que tais produções são consideradas conhecimentos, uma vez que refletem questões essenciais da realidade, permitindo a superação da aparência imediata. Entende-se que este ainda é um conceito em desenvolvimento no campo desta pedagogia, principalmente nas didáticas específicas, entretanto, consideramos aqui seus princípios gerais. Por isso, o objetivo dessa seção é defender a radioatividade como um conhecimento escolar e assim, permitir maiores aprofundamentos posteriores a esta pesquisa sobre a discussão dos clássicos.

Considerando o extrapolamento do período histórico de produção, destacamos que o conhecimento sobre a radioatividade surge no final do século XIX e permeia mais da metade do século XX (Cesareo, 2010). A apropriação desse fenômeno pelo homem passou por diferentes etapas, indo desde sua descoberta na natureza, ou seja, o entendimento da sua forma natural e espontânea, passando por tentativas de induzi-lo em outros elementos que não eram radioativos, até que foi totalmente sintetizado em laboratório com a produção de um elemento artificialmente radioativo (Cesareo, 2010). Assim, esse conhecimento explicita a capacidade do homem de intervir na realidade e criar condições artificiais para a realização de possibilidades que o favoreçam, ou seja, reflete a essência humana de objetivação a partir do trabalho (Cheptulin, 2004).

Além disso, reflete também a essência da própria matéria, uma vez que a partir do entendimento da radioatividade a estrutura atômica foi mais bem compreendida em sua complexidade de subpartículas e movimentos (Joliot-Curie, 1935). Como já discutido, as ciências naturais, especialmente a química, tratam do entendimento da matéria (Zaterka; Mocellin, 2022), então avançar em relação a isso significa um avanço da ciência como um

todo. Assim, propõe-se que nesse caso houve um avanço humano na compreensão da própria realidade, já que a radioatividade artificial colaborou para o domínio do homem sobre a matéria em direção à sua essência.

Tais aspectos podem caracterizar os estudos sobre radioatividade como um conhecimento (Pasqualini, 2018) e, por isso, deve ser compartilhado com a população por meio da educação escolar para que todos se apropriem em alguma medida de um melhor entendimento sobre a matéria. Isso porque a compreensão da estrutura da matéria e suas possibilidades de transformações corroboram uma visão da realidade que supera o imediatismo, explicitando a essência das coisas para além das aparências. Os conhecimentos, assim como esse, são então “[...] portadores de atividade humana num elevado grau de riqueza e, dessa maneira, podem ser considerados sínteses parciais dessa relação mutuamente transformadora entre os seres humanos e a realidade” (Ferreira, 2019, p.71).

O conhecimento sobre a radioatividade pode refletir a essência da própria química como ciência, ou melhor, como atividade movida pelas necessidades humanas, já que se trata da capacidade humana de entender a realidade e intervir nela. Além disso, seu ensino pode colaborar para a formação de uma visão total da realidade pelo aluno na medida em que fornece para ele um entendimento erudito sobre a estrutura da matéria. Assim, tais aspectos podem favorecer a formação de um sujeito crítico capaz de agir conscientemente sobre sua própria realidade por conhecer a matéria além da sua aparência e poder percebê-la em todas as suas formações e possibilidades.

6.3 A Narrativa histórica

Tendo discutido brevemente a importância da presença desse conteúdo na educação, conforme descrito na metodologia deste trabalho, seguimos alguns passos para a produção de uma narrativa histórica que permitisse seu ensino por meio da história de Irène Joliot-Curie. Por isso, descrevemos nesta subseção os resultados obtidos em cada passo apresentado, a fim de explicitar as decisões que guiaram a obtenção do resultado do material. A versão final da narrativa está disponibilizada como Apêndice A na última seção desta dissertação, já que é um produto obtido por meio da colaboração com outras autoras, optou-se por não apresentar como resultado. É importante destacar que a narrativa histórica é composta de um texto base que sintetiza a história e apresenta problemas investigativos e um material complementar que orienta o professor sobre como utilizar este recurso didático. Todos esses elementos estão apresentados no Apêndice A e nesta seção explicamos as premissas que envolveram a construção dos três materiais.

Destaca-se, ainda, que a história da narrativa é real e parte de um estudo historiográfico, resultando em um material de bases epistemológicas que são materialistas, históricas e dialéticas. Isso porque, a historiografia da cientista conectou aspectos internalistas e externalistas da sua trajetória científica e explicitou suas determinações e importâncias históricas. O conhecimento em questão também foi entendido em sua esfera filosófica dialética, demonstrando sua importância para o entendimento humano da sua própria realidade e, assim, pôde ser proposto como conteúdo escolar. Por fim, visualizando o aluno como um ser social portador do direito de obter o conhecimento humano, a utilização desse material como ferramenta didática remete ao ensino de química histórico-crítico.

1) A busca pelo problema real

Nesta etapa havia a necessidade de maior contextualização política e econômica da descoberta de Irène para que fosse possível compreender quais foram as principais motivações para as pesquisas sobre a radioatividade na época. A etapa prevista para esse trabalho, de revisitar e melhorar a análise historiográfica da reconstrução já feita no TCC daria conta dessa necessidade, entretanto, ela não foi realizada por questões de tempo. Por isso, a partir dos resultados que já se tinham, principalmente da linha do tempo (Figura 1), foi possível notar que no século XX, no qual se deu a produção de Irène, as características mais fortes foram as guerras e o grande avanço científico. Para melhor compreensão de tal período, o historiador Eric Hobsbawm foi utilizado, especialmente por se tratar de um autor já anteriormente estudado (no TCC) e por ser marxista. Sobre esse século, ele destaca que houve

avanços contínuos e notáveis da tecnologia e da capacidade humana de produzir e inclusive as inegáveis melhorias na organização social humana em muitos lugares do mundo, até que se tornasse impossível ignorá-los, no decorrer do grande salto para a frente da economia mundial, no terceiro quartel do século XX. Em termos de melhoria material da humanidade como um todo, para não mencionar sua compreensão e seu controle da natureza, os argumentos a favor de uma visão da história do século XX como progresso são, na verdade, mais convincentes do que no caso do século XIX (Hobsbawm, 2012, p.287).

Ou seja, esse foi um período de diferentes avanços sociais, apropriação da natureza e aumento das produções humanas, o que nos levou a entender que deveria haver grande disputa por fontes de matéria prima e de energia, a fim de atender as necessidades industriais, científicas e de guerra. Entendemos então que os estudos sobre radioatividade estavam em ascensão neste século não apenas pelos anseios científicos de compreensão da matéria, mas também pela sua potencialidade como fonte energética, já que as reações nucleares descobertas liberavam uma quantidade considerável de energia. Inclusive, os principais cientistas da

história aqui apresentada, Marie Curie, Pierre Curie, Irène Joliot-Curie e Frédéric Joliot-Curie, sempre falaram em seus discursos sobre a preocupação dos rumos de suas descobertas (Curie, 1903; Joliot-Curie, 1935; Joliot, 1935).

Notamos neste momento também que, após Irène e Frédéric terem finalmente se apropriado e artificializado o fenômeno em 1934, tendo sido premiados em 1935, as áreas da química e física nuclear surgem com o objetivo principal controlar as propriedades nucleares permitiriam ao homem. Com o passar dos anos e com os avanços desses estudos, a radioatividade artificial teve diferentes aplicações, mas a principal delas foi a construção das bombas atômicas utilizadas na Segunda Guerra Mundial (Hobsbawn, 1995). O desafio seria traçar historicamente e cientificamente esse caminho entre 1935 e 1945 para buscar entender quais foram os caminhos percorridos pelo conhecimento que o levaram a esse fim tão polêmico e impactante na história mundial. Como afirma Hobsbawn (1995, p. 142) “jamais a face do globo e a vida humana foram tão dramaticamente transformadas quanto na era que começou sob as nuvens em cogumelo de Hiroxima e Nagasaki”.

Sendo assim uma outra busca se fez necessária na intenção de compreender melhor tal relação, assim, poderíamos dimensionar o principal impacto da descoberta de Irène e Frédéric e propor um caminho didático para o ensino da radioatividade com essa história. Tendo em vista esse objetivo, o material mais facilmente encontrado foi um livro produzido pela Embrapa, com autoria de um físico, de acesso livre e em português, que traça uma linha temporal didaticamente interessante, conectando a descoberta inicial sobre a radioatividade às bombas atômicas (Cesareo, 2010). Reconhecemos que o livro tem caráter de divulgação científica, mas como não pretendíamos fazer um trabalho historiográfico da questão, ele atendeu à necessidade imediata de traçar uma linha cronológica entre os fatos de interesse.

Deste modo, propusemos que o problema real e histórico (social, político e econômico) que aparentemente impulsionou os estudos de Irène Joliot-Curie sobre a radioatividade artificial foi: **a busca por uma nova fonte de energia a fim de atender o grande avanço tecnológico da época, mas acima disso, suprir as demandas energéticas das guerras.**

2) Escolha do conteúdo

Com a história contextualizada e o problema científico definido, deveríamos então conectá-la com os conteúdos curriculares que poderiam ser ensinados dela. Obviamente o conteúdo de maior relação com esse tema é o da radioatividade, mas esse caso trata especificamente da radioatividade artificial, que não é tão comum no ensino quanto a espontânea (Santos, 2020). Notado isso, decidimos que essa deveria ser então uma segunda

aula, pois uma primeira poderia ser sobre a radioatividade e suas ideias iniciais para que neste segundo momento o conteúdo fosse estendido à continuação da radioatividade e suas consequências. Deste modo, não precisaríamos dar conta de conteúdos como **partículas subatômicas (nêutron, próton, elétron, etc), radioatividade natural, decaimento radioativo, partículas radioativas (alfa, beta e gama) e isótopos**, pois esses seriam exigidos **conteúdos prévios**.

O foco da narrativa histórica pôde ser direcionado realmente para a história de Irène e as consequências da sua descoberta. E assim, os conteúdos definidos para serem trabalhados no material foram: **aplicações da radioatividade [radioatividade induzida, radioatividade artificial e fissão nuclear (geração de energia x produção de bombas)]**.

3) A criação do problema didático

Com o problema histórico percebido e o conteúdo a ser trabalhado definido, o próximo passo tratava-se de criar um problema didático. Tal questão deveria coincidir minimamente com o problema real, pois a narrativa é baseada na história verdadeira, mas ao mesmo tempo precisava ser algo que o aluno conseguisse resolver por meio do conteúdo ensinado. Isso porque, segundo Allchin (2017), o aluno precisa estar envolvido a partir de uma abordagem que considera *science in the making* em oposição à *ready-made science*, assumindo assim o papel de investigador na busca de se resolver o problema. Na maioria dos casos lidos (Allchin, 2017; Azevedo; Del Corso, 2017), o problema didático coincidia com o problema real, entretanto o problema real de Irène não poderia ser solucionado por um aluno. Isso porque motivar investigações com fins bélicos seria antiético, e proporcionar ao aluno investigações de núcleos atômicos seria extremamente complexo e de difícil entendimento com o conhecimento de nível médio. Por isso o problema foi simplificado para: **como produzir radioatividade visando atender a demanda energética do século XX?**

4) As questões para pensar

Tendo o problema didático em vista, o caminho investigativo pôde ser traçado, já que o problema não coincidia exatamente com a realidade da cientista, o caminho de resolução também poderia ser um pouco diferente do real. Inclusive, nas tentativas de coincidir os passos de Irène com os que o aluno faria, a narrativa não apresentou caráter chamativo e criativo, o que poderia fazer o material perder suas principais características investigativas. Por isso, foi necessário a criação de um outro personagem, externo à vivência de Irène mas interessado por suas descobertas, que pudesse instigar o estudante. Surgiu então com esse objetivo a ideia de um sujeito, jornalista científico, que estaria buscando entender o que nós mesmas precisamos

entender para a produção da narrativa: como a descoberta da radioatividade artificial proporcionou tantas implicações controversas? Com isso, a personagem nomeada Fernanda, estaria investigando tal relação. Mas diferentemente de nós do presente, ela estaria vivenciando o período final da Segunda Guerra Mundial com os ataques das bombas atômicas e as consequências dos usos da radioatividade atingiam sua vida diretamente.

Desse modo, o processo investigativo foi aproximado da realidade de um estudante de ensino médio e apresentou maior caráter didático, já que as seções da narrativa coincidiam com o passo a passo da investigação jornalística e científica da personagem. As perguntas, como já citado, deveriam dar encaminhamento à história, ao mesmo tempo que faziam emergir o conteúdo a ser trabalhado e os aspectos de natureza da ciência a serem discutidos. Além dessas funções, as questões não possuem respostas exatas e acabadas, precisam promover reflexões e esforços dos alunos em conectar a investigação com o conteúdo e com as características da ciência. Portanto, ao final o aluno deve ter concluído a história e respondido o problema didático.

5) A não-linearidade da narrativa

A história, como explicado, mudou a forma de ser apresentada, já que ao invés de ser contada como se o aluno fosse a própria Irène, ele foi colocado no lugar de uma jornalista que investigava a vida pessoal e profissional da cientista, a fim de conectá-la com as implicações da radioatividade que ela estava vivenciando. Por isso, a história de Irène que foi apresentada na seção 5.1 deste trabalho, foi colocada na narrativa como se fossem resultados das investigações de Fernanda. Ou seja, não apenas as partes que tinham uma conexão direta com a descoberta da radioatividade artificial foram utilizadas, mas também momentos da vida dela que justificavam sua relação pessoal com o trabalho. Portanto, a conexão com a história verdadeira se deu pela história da cientista reconstruída no TCC, enquanto a parte investigativa da jornalista foi totalmente criada.

O desenrolar da narrativa toda permite a percepção dos aspectos de natureza da ciência que emergem da parte da história que é real. Isso porque, de acordo com Adúriz-Bravo (2005), a natureza da ciência trata-se do conjunto de ideias metacientíficas com valor para o ensino das ciências naturais. O autor as divide e descreve em três eixos:

- 1) O eixo epistemológico tem como objetivo determinar o que é a ciência e como ela é produzida.
- 2) O eixo histórico tenta responder como a ciência muda ao longo do tempo.
- 3) O eixo sociológico busca caracterizar a relação entre a ciência, a sociedade e a cultura. (p.13)

Visto isso, foi possível apontar que a história de Irène Joliot-Curie abarca todos esses eixos descritos pelo autor. A epistemologia pode ser observada pela sua carreira profissional, a partir das diferentes pesquisas com as quais ela trabalhou, as colaborações com outros cientistas que ela estabeleceu, a atuação em instituto de pesquisa, suas tentativas e erros, as premiações, o compartilhamento de resultados etc. Já o segundo eixo, diz respeito sobre a forma como Irène fez suas pesquisas em Paris no século XX e como ela pôde ser confrontada com pesquisas atuais de cientistas em diferentes lugares do mundo, ou ainda na própria história, visto que Marie Curie também é uma personagem presente, mas foi cientista antes da filha e trabalhou de formas diferentes dela. Por fim, o eixo sociológico é amplamente destacado ao longo da história toda, com questões sobre o fato dela ser uma mulher na ciência, além do contexto social de duas guerras mundiais e guerra fria, que evidencia a dificuldade de fazer ciência nesses períodos e o fato dela e o marido terem sido prejudicados por seus posicionamentos políticos.

Considerando tais aproximações e a tabela de Allchin (2011a, p. 525) apresentada na seção de metodologia, os aspectos de natureza da ciência que mais emergiram do formato da narrativa e das questões para pensar foram:

- Artificialização da natureza;
- Espectro de motivações do fazer científico;
- Colaborações ou competições entre cientistas: revisão por pares, erros e incertezas, explicações alternativas;
- Credibilidade dos meios de socialização do conhecimento científico (revistas, publicações, congressos, jornais etc.)
- Papel do preconceito de gênero;
- Responsabilidade social dos cientistas.

Além de construir a narrativa histórica foi possível validar e implementar esse recurso didático em suas versões preliminares. A primeira validação se deu no grupo de pesquisa com alunos da graduação e pós-graduação, o que nos fez perceber nesse contexto um forte interesse dos alunos em resolver os problemas apresentados e engajamento principalmente nas questões de gênero. Dado isso, revisões e reformulações da história, da estrutura e das perguntas foram realizadas com a ajuda da Doutora Nathália Helena Azevedo Pereira para que outra aplicação pudesse ser feita. Em seguida, na disciplina de História e Filosofia da Ciência e Ensino de Ciências ministrada pela Professora Doutora Luciana Massi na graduação em Licenciatura em Química, foi possível implementar o caso novamente. Os alunos já estavam familiarizados com

discussões sobre a natureza da ciência e observaram-se nesse contexto o potencial das questões para pensar e da emergência dos aspectos de NdC. Ambas as aplicações foram feitas em um período de 4 horas cada e com os alunos organizados em grupos, podendo refletir e discutir em grupo, para depois compartilhar suas respostas com o restante da turma. Por fim, a última versão contou com contribuições da Doutora Nathália para que fossem realizados os ajustes descritos no passo 4. Ao todo foram produzidas cinco versões desta narrativa ao longo de 12 meses, com variações nos aspectos das etapas descritas anteriormente.

Ressaltamos que se trata de um recurso didático que será publicado para que professores possam adotá-lo em suas aulas de química no ensino médio sobre o conteúdo de radioatividade. Entretanto, esse material deve passar por revisões e adequações para ser divulgado posteriormente com outras narrativas produzidas pelo grupo de pesquisa, incluindo outros temas de química. O que tem como objetivo aprimorar o instrumento em relação a sua forma, conteúdo e destinatário (Pires, Neto, 2022), alinhando-o ainda mais com os fundamentos da PHC e do MHD. Além disso, os aspectos de natureza da ciência também poderão ser mais bem trabalhados para que as questões de gênero apareçam mais, assim como na história real da cientista.

7. CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS FUTURAS

Este trabalho analisou sob uma perspectiva materialista, histórica e dialética aspectos da vida e do trabalho científico de Irène Joliot-Curie de modo a propor discussões históricas e filosóficas sobre a radioatividade artificial. Além disso, apontamos a importância do seu ensino, produzindo uma narrativa histórica baseada nos estudos historiográficos e em aspectos de natureza da ciência. Destaca-se novamente que, mesmo tratando-se de três estudos separados, todos se unem pela mesma perspectiva materialista, histórica e dialética e pelo objetivo geral de compreender a história de Irène pela historiografia marxista a fim de contribuir tanto para a área de HFC quanto para a sua inserção no ensino de química histórico-crítico. Apesar de considerar que os objetivos específicos dos três estudos propostos foram atingidos nesta dissertação, reconhecemos que há ainda aspectos que podem ser aprimorados com discussões mais bem fundamentadas em pesquisas futuras.

A partir da história retomada do TCC foi possível reorganizar a história de Irène Joliot-Curie filtrando melhor as informações extraídas das fontes utilizadas, organizando a ordem cronológica e aprimorando as descrições fenomenológicas. Tais avanços buscaram uma contextualização histórica e científica que localiza a cientista no contexto ao qual ela estava inserida, na tentativa de evitar possíveis anacronismos, além de possibilitar a percepção da importância do conhecimento que ela foi reconhecida por produzir. Isso porque, vislumbrando os impactos e consequências da sua produção científica, colabora-se para uma melhor caracterização dos conhecimentos químicos e até mesmo da própria química. Tais avanços foram possíveis porque a perspectiva historiográfica marxista, que deu base para as análises, mesmo que centralizando as discussões apenas em torno do trabalho, pode ser extrapolada com uma maior contextualização da trajetória da cientista em relação a aspectos internos e externos da ciência. Destaca-se ainda a progressão das análises em relação às questões de gênero, que permitiu ressaltar os três aspectos do efeito Camille Claudel dimensionando os principais impactos do casamento com outro cientista homem em sua carreira. Foi possível, assim, explicitar alguns dos obstáculos normalmente invisíveis dispostos pela carreira acadêmica das mulheres, como a lenta e solitária ascensão, já que o marido prospera mais e primeiro, abandonando-a. Ou seja, demonstramos os obstáculos que estão dispostos durante a trajetória toda e não somente na direção do topo, caracterizando o denominado labirinto de cristal.

Sendo apresentada tal importância para o seu trabalho por meio da sua trajetória, o conhecimento sobre a radioatividade artificial pôde ser mais bem discutido, já que de acordo com o referencial adotado, foi a partir dele que Irène produziu e se reproduziu na sua realidade histórica. Por meio do materialismo histórico, a categoria trabalho foi discutida, explicitando

características específicas da carreira científica, acarretando ainda explicações acerca da alienação sofrida por Irène, bem como as consequências para ela e para o conhecimento produzido. Tais aspectos foram analisados a partir do materialismo dialético, método mobilizado a partir da questão da materialidade e da lei da quantidade e qualidade, permitindo explicitar a dialética presente no fenômeno da radioatividade artificial e explorar o potencial da lógica dialética como meio de entendimento da matéria.

Tendo em vista tais aprofundamentos a respeito da carreira de Irène e buscando concretizar as pesquisas realizadas, mantendo as preocupações iniciais com as questões históricas, filosóficas e de gênero, uma implicação didática foi proposta. Por isso, considerando a emersão da história por meio do trabalho da cientista, o conhecimento produzido por ela em seu principal feito foi aproximado do ensino de ciências como conteúdo de radioatividade. A ferramenta didática que permitiu essa proposição foi a da narrativa histórica, uma investigação baseada na história verdadeira capaz de abranger aspectos de NdC, no caso, com foco nas questões de gênero, além do próprio conteúdo científico. Por se tratar de um instrumento proveniente de outra perspectiva pedagógica, algumas adaptações foram necessárias durante o processo de produção, incluindo aplicações testes do material que colaboraram para o seu aprimoramento. Assim, foi desenvolvido com partes da história da cientista e questões para pensar que buscam promover o processo investigativo por meio de reflexões e discussões por parte do aluno, na medida em que a narrativa histórica direciona os fatos e a aplicação do conhecimento em questão.

Ademais, entende-se que a pesquisa pode avançar nos seguintes aspectos: na história, com a apropriação de outras fontes primárias e secundárias a respeito da cientista, a fim de melhorar as descrições e contextualizações da sua carreira; nas discussões históricas por meio de maior apropriação do método mobilizado, o que pode proporcionar um avanço para além das ideias de autores utilizados, já que eles podem ser considerados superados; nas questões filosóficas pode-se realizar a busca por estudos já feitos na filosofia da química sobre a radioatividade, para atualizar e localizar as argumentações aqui apresentadas; apropriar-se de maneira mais completa da proposta da narrativa histórica, com o intuito de esclarecer os passos de produção e deixá-los mais coerentes com a PHC, além de futuras revisões da própria narrativa por meio de aplicações em salas de aula para confirmação do seu funcionamento; e aprofundar a discussão da radioatividade como um conteúdo clássico para a PHC, bem como sua inserção em um currículo de química histórico-crítico.

8. REFERÊNCIAS

- ADÚRIZ-BRAVO, Agustín. **Una introducción a la naturaleza de la ciencia: La epistemología en la enseñanza de las ciencias naturales**. Buenos Aires: Fondo de Cultura Económica, ed. 1, 2005.
- AGOSTINI, Gabriela; MASSI, Luciana; SANTOS, Letícia Maria dos; SOUZA, Dianne Cassiano de. Abordagens teóricas nas pesquisas sobre gênero em educação em ciências: em busca da especificidade da área. ABRAPEC. **Anais [...]**, Natal, 2019.
- ALFONSO-GOLDFARB, Ana Maria. **Centenário Simão Mathias: Documentos, Métodos e Identidade da História da Ciência**. *Circunscribere*, v. 4, p. 5-9, 2008.
- ALFONSO-GOLDFARB, Ana Maria; FERRAZ, Márcia Helena Mendes; BELTRAN, Maria Helena Roxo. A historiografia contemporânea e as ciências da matéria: uma longa rota cheia de percalços. *In: ALFONSO-GOLDFARB, Ana Maria e BELTRAN, Maria Helena Roxo. (Orgs.), Escrevendo a História da Ciência: tendências, propostas e discussões historiográficas*. São Paulo: Educ-Fapesp-Livraria da Física, 2004, p. 49-73.
- ALFONSO-GOLDFARB, Ana Maria. **Da alquimia à química**. 1. ed. São Paulo: Nova Stella, 1987.
- ALFONSO-GOLDFARB, Ana Maria. **O que é história da ciência**. São Paulo: Brasiliense, 1 ed., 1994.
- ALLCHIN, Douglas. Evaluating Knowledge of the Nature of (Whole) Science. **Science Education**, v. 95, n. 3, p. 518-542, 2011a. DOI: <https://doi.org/10.1002/sce.20432>.
- ALLCHIN, Douglas. Historical inquiry cases for nature of Science learning. *In: ALLCHIN, Douglas. Casos de investigação histórica para o aprendizado da natureza da ciência*. *Cadernos De História Da Ciência*, vol. 13, n. 2, p. 101–126, 2017.
- ALLCHIN, Douglas. Historical inquiry cases in a brazilian context. *In: SILVA, Ana Paula Bispo da; MOURA, Breno Arsioli. Objetivos humanísticos, conteúdos científicos: contribuições da história e da filosofia da Ciência para o ensino de Ciências*. EDUEPB, 384 p., 2019. DOI: <http://doi.org/10.7476/9786586221664>.
- ALLCHIN, Douglas. Teaching the nature of science: perspectives & resources. Saint Paul: **SHiPS Education Press**, 2013.
- ALLCHIN, Douglas. The Minnesota Case Study Collection: New Historical Inquiry Case Studies for Nature of Science Education. **Science & Education**, vol. 21, p. 1263–1281, may. 2011b. DOI: 10.1007/s11191-011-9368-x.
- ALVES, Sarah. **"Batom radioativo": a história de cosméticos que fizeram sucesso no passado**. *In: Tilt UOL. [S. l.]*, 26 ago. 2021. Disponível em: <https://www.uol.com.br/tilt/noticias/redacao/2021/08/26/cosmeticos-radioativos-o-que-eles-ensinam-sobre-o-controle-dos-produtos.htm>. Acesso em: 20 dez. 2023.
- ANTONELLI, Francesca. Becoming Visible. Marie-Anne Paulze-Lavoisier and the Campaign for the “New Chemistry” (1770s-1790s). **Ambix**, p. 221-242, 2022. DOI: 10.1080/00026980.2022.2091352.

- ÁTOMO. *In: Dicionário de língua portuguesa Oxford Languages*. Oxford, 2023. Disponível em: <<https://languages.oup.com/google-dictionary-pt/>>. Acesso em: 28 jun. 2023.
- AZEVEDO, Nathália Helena; DEL CORSO, Thiago Marinho. “A doença dos trabalhadores da estrada de ferro” : uma narrativa histórica e suas potencialidades para explorar aspectos de natureza da ciência. **Cadernos De História Da Ciência**, vol. 13, n. 2, p. 101-126, 2017.
- BALDINATO, José Otávio; PORTO, Paulo Alves. **Variações da história da ciência no ensino de ciências**. *In: Mortimer, E. F. (Org.). ABRAPEC. Anais [...]*, Belo Horizonte, 2008.
- BERNAL, John Desmond. **Ciência na História**. Livros Horizonte, v. 4, p. 695-879, 1969.
- BITENCOURT, Silvana Maria. Gênero e Ciência: relevância e contemplação da temática no cenário brasileiro. *In: Seminário Internacional Fazendo Gênero: corpo, violência e poder*, 8, 2008, Florianópolis. **Anais [...]** Florianópolis: FG8, 2008.
- BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Básica. **Base Nacional Comum Curricular**. Brasília, 2017. Disponível em: http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC_EI_EF_110518_versaofinal_site.pdf. Acesso em: 03 jul. 2023.
- CHEPTULIN, Alexandre. **A dialética materialista: categorias e leis da dialética**. São Paulo: Alfa-Omega, 2 ed., 354 p. 2004.
- CÁSSIO, Fernando Luiz. Base Nacional Comum Curricular: ponto de saturação e retrocesso na educação. **Retratos da Escola**, v. 12, n. 23, p. 239-254, 2018. DOI: <https://doi.org/10.22420/rde.v12i23.887>.
- CATINI, Carolina. Empreendedorismo, privatização e o trabalho sujo da educação. **Revista USP**, n. 127, p. 53-68, 2020. DOI: <https://doi.org/10.11606/issn.2316-9036.i127p53-68>.
- CESAREO, Roberto. **Dos raios X à bomba atômica (1895-1945): os 50 anos que mudaram o mundo**. Brasília: Embrapa, 543 p. 2010.
- CHADWICK, James. Mme. Irène Joliot-Curie. **Nature**, v. 177, n. 4517, p. 964-965, maio 1956.
- COLTURATO, Andriel Rodrigo; MASSI, Luciana. Aportes teóricos e metodológicos para a História da Ciência com base no Materialismo Histórico-Dialético. Salvador: **Germinal**, v. 11, n. 3, p. 170-180, dez. 2019.
- CURIE, Irène; JOLIOT, Frédéric. Production Artificielle D'éléments radioactifs - Preuve chimique de la transmutation des éléments. **Journal Physique et Le Radium**, vol. 5, n. 4, p. 153-156, abril 1934. DOI: <https://doi.org/10.1051/jphysrad:0193400504015300>
- CURIE, Pierre. **Radioactive Substances, Especially Radium**. *In: Nobel Prize, 1903*, Estocolmo. Disponível em: <https://www.nobelprize.org/uploads/2018/06/pierre-curie-lecture.pdf>. Acesso em: 20 jul. 2023.
- CRENSHAW, Kimberlé. Documento para o encontro de especialistas em aspectos da discriminação racial relativos ao gênero. **Revista Estudos Feministas**, v. 10, n. 1, p. 171, 2002.
- CROSSFIELD, E. Tina. Irène Joliot-Curie: Following in Her Mother’s Footsteps. *In:*

- RAYNER-CANHAM, Marelene F.; RAYNER-CANHAM, Geoffrey. W. **A Devotion to their Science: Pioneer Women of Radioactivity**. Québec: Chemical Heritage Foundation, 2005.
- DEBUS, Allen George. **O homem e a Natureza no Renascimento**. Porto: Porto Editora, 2002. ISBN 0-521-21972-8.
- ENGELS, Friedrich. **Dialética da natureza**. São Paulo: Boitempo, 2020.
- FARIAS, Robson Fernandes de. As mulheres e o Prêmio Nobel de Química. **Química Nova na Escola**, São Paulo, n. 14, p. 28-30, 2001.
- FELLINGER, Anne. **Women radio-chemists facing radioactive risks in France**. ESHS. Proceedings of the 2nd International Conference of the European Society for the History of Science, Cracow, 2006.
- FERREIRA, C. G. **Fundamentos históricos-filosóficos do conceito de clássico na pedagogia histórico-crítica**. Tese (Mestrado em Educação Escolar) - Faculdade de Ciências e Letras, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho". Araraquara, 2019.
- GADOTTI, Moacir. **Concepção dialética da educação: um estudo introdutório**. São Paulo: Cortez, 2012.
- GALVÃO, Ana Carolina; LAVOURA, Tiago Nicola; MARTINS, Lígia Márcia. **Fundamentos da didática histórico-crítica**. 1. ed. Campinas: Autores Associados, 2019.
- GATTO, Marcos Antônio; JÚNIOR, José Bento Suart; STANZINI, Enio de Lorena. Subsídios histórico-filosóficos para o ensino do modelo atômico de Dalton. Curitiba: **ACTIO: Docência em Ciências**, v. 2, n. 1, p. 376-400, jan./jul. 2017.
- GILMER Penny Jane. Irène Joliot-Curie, a Nobel Laureate in Artificial Radioactivity. *In*: CHIU, Mei-Hung.; GILMER, Penny. Jane.; TREAGUST, David. **Celebrating the 100th Anniversary of Madame Marie Sklodowska Curie's Nobel Prize in Chemistry**. Sense Publishers, 2011.
- GIL PÉREZ, Daniel. *et al.* Para uma imagem não deformada do trabalho científico. São Paulo, **Ciência & Educação**, v. 7, n. 2, p. 125-153, 2001.
- GONÇALVES-MAIA, Raquel. **Marie Sklodowska Curie: Imagens de outra face**. 1. ed. São Paulo: Livraria da Física, 2012. 105 p. ISBN 978-85-7861-164-4.
- HOBBSAWM, Eric. **Era dos Impérios: 1875-1914**. São Paulo: Companhia das Letras, 2003. ISBN 85-7164-468-3.
- JANDRIÉ, Miroslav; DIMIÉ, Dimitrije. Marie and Irène Curie, Mother and Daughter, Two Ladies, Three Nobel Awards. **Scientific Technical Review**, v. 67, n. 2, p. 3-12, 2017.
- JOLIOT-CURIE, Irène. **Nobel Lecture: Artificial Production of Radioactive Elements**. Nobel Prize, 1935, Amsterdam. Disponível em: <<https://www.nobelprize.org/prizes/chemistry/1935/joliot-curie/lecture/>>. Acesso em: 25 jun. 2023.
- JOLIOT, Frédéric. **Chemical evidence of the transmutation of elements**. *In*: PRÊMIO

NOBEL, 1935, Estocolmo. Disponível em:

<https://www.nobelprize.org/prizes/chemistry/1935/joliot-fred/lecture/>. Acesso em: 20 out. 2023.

KUENZER, Acacia Zeneida. Sistema educacional e a formação de trabalhadores: a desqualificação do Ensino Médio Flexível. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 25, p. 57-66, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/1413-81232020251.28982019>.

KONDER, Leandro. **O que é a dialética**. São Paulo: Brasiliense, 12^a reimpressão, 28 ed., 2011.

KRAGH, Helge. História da ciência anacrônica e diacrônica. *In: Introdução à Historiografia da Ciência*. Porto Editora, cap. 9, 2001, p. 99-118.

LEAL, Karel; FORATO, Thaís Cyrino de Mello. As garotas do rádio e sua busca por justiça e dignidade: possibilidades de abordagens históricas para o ensino de ciências. **Revista Brasileira de História da Ciência (RBHC)**, Rio de Janeiro, v. 14, ed. 2, p. 252-275, 8 dez. 2021. DOI <https://doi.org/10.53727/rbhc.v14i2.539>. Disponível em: <https://rbhciencia.emnuvens.com.br/revista/article/view/539>. Acesso em: 6 dez. 2023.

LEMES, Anielli Fabiula Gavioli; PORTO, Porto Alves. Introdução à filosofia da química: uma revisão bibliográfica das questões mais discutidas na área e sua importância para o ensino de química. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 13, n. 3, p. 121-147, mar. 2014.

LESSA, Sérgio; TONET, Ivo. **Introdução à filosofia de Marx**. São Paulo: Expressão Popular, 2011.

LÊNIN, Vladimir Ilyich. **Materialismo e empiriocriticismo**. Lisboa: Editoria Avante, 1982.

LIMA, Betina Stefanello; COSTA, Maria Conceição da. Gênero, ciências e tecnologias: caminhos percorridos e novos desafios. **Cadernos Pagu**, n. 48, ago. 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/18094449201600480005>.

LIMA, Betina Stefanello. O labirinto de cristal: as trajetórias das cientistas na Física. **Estudos Feministas**, v. 21(3), p. 883-906, set.-dez. 2013.

LIMA, Betina Stefanello. **Teto de vidro ou labirinto de cristal? As margens femininas das ciências**. Dissertação (Mestrado em História). Universidade de Brasília. Brasília, 2008. Disponível em: <<http://repositorio.unb.br/handle/10482/3714?mode=full>>.

LIMA, Isabelle Priscila Carneiro de. **Lise Meitner e a Fissão Nuclear: caminhos para uma narrativa feminista**. Tese (Doutorado em Ensino, Filosofia e História das Ciências) – Faculdade de Educação da Universidade Federal da Bahia. Salvador, p. 181, 2019.

LIMA, Larissa Cabral. **Trajetória pessoal e científica de Irène Joliot-Curie pautada em aspectos sociais, políticos e de gênero**. Monografia (Licenciatura em Química) - Instituto de Química, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Araraquara, 2022.

LOMBARDI, José Claudinei; COLARES, Maria Lília Imbiriba Sousa. Fundamentos da Pedagogia Histórico-Crítica. *In: LOMBARDI, José Claudinei. COLARES, Maria Lília Imbiriba Sousa. ORSO, Paulino José. Pedagogia Histórico-Crítica e Prática Pedagógica Transformadora*. Uberlândia: Navegando publicações, 2021.

LOPES, Maria Margaret. *et al.* Intersecções e interações: Gênero em Ciências e Tecnologias na América Latina. *In:* VESSURI, Hebe, KREIMER, Pablo, VELHO, Léa (Orgs.) **Estudos Sociais das Ciências e Tecnologias na América Latina**. Buenos Aires: Esocite, 2014.

MALANCHEN, Julia. Currículo escolar e pedagogia histórico-crítica: Formação emancipadora e resistência ao capital. *In:* LOMBARDI, José Claudinei. COLARES, Maria Lília Imbiriba Sousa. ORSO, Paulino José. **Pedagogia Histórico-Crítica e Prática Pedagógica Transformadora**. Uberlândia: Navegando publicações, 2021.

MARSIGLIA, Ana Carolina Galvão *et al.* A Base Nacional Comum Curricular: um novo episódio de esvaziamento da escola no Brasil. **Germinal: Marxismo e Educação em Debate**, Salvador, v. 9, n. 1, p. 107-121, 2017.

MARTINS, Lígia Márcia; LAVOURA, Tiago Nicola. Materialismo histórico-dialético: contributos para investigação em educação. Curitiba: **Educar em Revista**, v. 34, n. 71, p. 223-239, set./out. 2018.

MARTINS, Lilian Al-Chueyr Pereira. História da Ciência: objetos, métodos e problemas. **Ciência & Educação**, v. 11, n. 2, p.305-317, 2005.

MARX, Karl. **O capital**. São Paulo: Boitempo, 2013.

MASSI, Luciana. *et al.* Incorporação da Pedagogia Histórico-Crítica na Educação em Ciências: uma análise crítica dialética de uma revisão bibliográfica sistemática. **Revista Investigações em Ensino de Ciências**, v. 24, n. 2, p. 212-255, ago. 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.22600/1518-8795.ienci2019v24n2p212>.

MATTHEWS, Michael Robert. **Science Teaching: The Contribution of History and Philosophy of Science Education**. New York: Routledge, 2 ed, 478 p., 2015.

MESSEDER NETO, Hélio da Silva. O Ensino da Química na Pedagogia Histórico-Crítica: Considerações sobre conteúdo e forma para pensarmos o trabalho pedagógico concreto. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 27, n. 2, p. 271-293, 2022.

MESSEDER NETO, Hélio; TEIXEIRA, Lucas André; COLTURATO, Andriel. A categoria trabalho como mediadora entre a transformação e a prática social no Ensino de Química: entrevista com Hélio Messeder Neto. *In:* TEIXEIRA, Lucas André; MASSI, Luciana. (org.). **O papel do conhecimento científico na formação da concepção dos estudantes: desafios da pesquisa em ensino de ciências e de sociologia no Brasil**. Lutas Anticapital, 2022, p. 7-269.

MINELLA, Luzinete Simões. Temáticas prioritárias no campo de gênero e ciências no Brasil: raça/etnia, uma lacuna?. **Cadernos Pagu**, Campinas, n. 40. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-83332013000100003&lng=en&nrm=iso>. Acesso em 22/11/2023.

NETTO, José Paulo. **Introdução ao estudo do método de Marx**. 1 ed. São Paulo: Expressão Popular, 64 p. abril 2011.

PAULING, Linus. **The Place of Chemistry in the Integration of the Sciences**. Main Currents, Vol. 7, p.108–111, 1950.

PAULO NETTO, José. **Introdução ao estudo do método de Marx**. São Paulo: Expressão popular, 2011.

PASQUALINI, Juliana Campregher. Dialética singular-particular-universal e sua expressão na pedagogia histórico-crítica: primeiras aproximações. Botucatu: **Simbio-logias**, v.12, n. 17, p.1-16. 2020.

PASQUALINI, Juliana Campregher. **Seis teses histórico-críticas sobre o currículo escolar e o problema da especificidade da educação infantil**. Campinas: Unicamp, 52 p. 2018.

PINTO, Álvaro Vieira. **Ciência e existência: problemas filosóficos da pesquisa científica**. Rio de Janeiro: Contraponto, 2020.

PIRES, Izadora dos Santos; MESSEDER NETO, Hélio da Silva. A Tríade Conteúdo-forma-destinatário: Uma Análise das Práxis Pedagógicas do Ensino de Ciências Orientadas pela Pedagogia Histórico-crítica. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, p. 1–36, 2022. DOI: 10.28976/1984-2686rbpec2022u873908.

PORTO, Paulo Alves. Michael Sendivogius on Nitre and the Preparation of the Philosophers' Stone. **Ambix**, p. 1-16, 2001. DOI: 10.1179/amb.2001.48.1.1.

RAGAI, Jehane; رجائي جيهان. The Philosopher's Stone: Alchemy and Chemistry. **Journal of Comparative Poetics (JSTOR)**, n. 12, p. 58–77, 1992. DOI: <https://doi.org/10.2307/521636>.

RAMBERG, Peter. J. The Death of Vitalism and The Birth of Organic Chemistry: Wohler's Urea Synthesis and the Disciplinary Identity of Organic Chemistry. **Ambix**, p. 170-195, 2000. DOI: 10.1179/amb.2000.47.3.170

RIBEIRO, Marcos Antônio Pinto; BEJARANO, Nelson Rui Ribas; SANTOS, Jailson Alves dos. A emergência da Filosofia da Química como campo disciplinar. **Revista Brasileira De Pesquisa Em Educação Em Ciências**, v. 16, n. 2, 215–236, 2016.

ROSSITER, Margaret W. The Matthew Matilda effect in science. **Social Studies of Science**, v. 23, n. 2, p. 325-341, 1993.

RUDGE, David Wyss; HOWE, Eric M. An explicit and reflective approach to the use of history to promote understanding of the nature of science. **Science & Education**, v. 18, p. 561-580, 2009.

RUTHERFORD, Ernest; CHADWICK, James; ELLIS, Charles Drummond. **Radiations from radioactive substances**. Cambridge University Press, 2010.

SANTANA, Carolina Queiroz; PEREIRA, Letícia dos Santos. O caso Alice Ball: uma proposta interseccional para o Ensino de Química. **Química Nova na Escola**, São Paulo, vol. 43, n° 4, p. 380-389, nov. 2021.

SANTOS, Victor Ferreira Dias. **Entre o broto e a rosa do clássico: análise histórico-crítica do movimento dos conteúdos nos livros didáticos de química**. Dissertação (Mestrado em Ensino, Filosofia e História das Ciências) - Universidade Federal da Bahia e Universidade Estadual de Feira de Santana. Salvador, 293 p. 2020.

SAVIANI, Dermeval. Antecedentes, origem e desenvolvimento da pedagogia histórico-crítica. *In*: Marsiglia, Ana Carolina Galvão. **Pedagogia Histórico-crítica: 30 anos**. Campinas, SP: Autores Associados, 2011b.

SAVIANI, Dermeval. Caracterização geral da Pedagogia Histórico-Crítica como teoria pedagógica dialética da educação. *In: LOMBARDI, José Claudinei. COLARES, Maria Lília Imbiriba Sousa. ORSO, Paulino José. Pedagogia Histórico-Crítica e Prática Pedagógica Transformadora*. Uberlândia: Navegando publicações, 2021.

SAVIANI, Dermeval. **Escola e Democracia**. Campinas: Autores Associados, 2008.

SAVIANI, Dermeval. **História das Ideias Pedagógicas do Brasil**. Campinas: Autores Associados, 2007.

SAVIANI, Dermeval. O conceito dialético de mediação na pedagogia histórico-crítica em intermediação com a psicologia histórico-cultural. **Germinal: Marxismo e Educação em Debate**, Salvador, v. 7, n. 1, p.26-43, jun. 2015.

SAVIANI, Dermeval. **Pedagogia histórico-crítica: primeiras aproximações**. 11. ed. Campinas: Autores Associados, 2011a.

SCERRI, Eric. The discovery of the periodic table as a case of simultaneous discovery. **Phil. Trans. R. Soc. A**, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1098/rsta.2014.0172>.

SENDIVOGIUS, Michael. **The eleventh treatise**. *In: A New Light of Alchymy*. Tradução inglesa de John French. London: A. Clark for Tho. Williams, p. 30-36, 1674.

SILVA, Isabel Cristina Teixeira da; GOI, Mara Elisângela Jappe. História da Ciência em Livros Didáticos de Química Aprovados no PNLEM/2018. **Abakós**, v. 9, n. 1, p. 83-107, 27 maio 2021.

TROCHIN, D. M. O Movimento e o Desenvolvimento da Natureza e da Sociedade. *In: Tchertkov, Viktor Petrovich; Molodtsov, Vasily Sergeevich; Tronchin; Moroz, Valentin Yakovlevich; Kalochin, F. I.; Ovtchinnikov, Nikolai; Belov; Gaidukov; Leonov, Mikhail Andreevich. Materialismo dialético*. Rio de Janeiro: Vitória, 783 p, 1955.

VALERO, Rafaela; LEONARDO JÚNIOR, Carlos Sérgio; MASSI, Luciana; GOMES, Lucas Bombarda Marques. Análise marxista de elementos da concepção de ciência nos principais filósofos abordados na Educação em Ciências: aspectos ontológicos e epistemológicos. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 39, n. 3, p. 828–858, 2022. DOI: 10.5007/2175-7941.2022.e86571. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/86571>.

VÁZQUEZ, Adolfo Sánchez. **Filosofia da práxis**. São Paulo: Expressão Popular, 2007.

YOUNG, Robert Maxwell. Darwinism and the division of labour. **Science as Culture**, p. 110-124, jun./mar. 1990b.

YOUNG, Robert Maxwell. Marxism and history of science. *In: OLBY, Robert Cecil. et al. (eds.) Companion to the history of modern science*. London: Routledge, 1990a, p. 77-86.

ZATERKA, Luciana; MOCELLIN, Ronei Clécio. **Ensaio de História e Filosofia da Química**. São Paulo: Editora Ideias & Letras, 2022.

WAJCMAN, Judy. **Feminism Confronts Technology** Cambridge. Polity Press, 1996.

WILLIAMS, Robin; EDGE, David. The Social Shaping of Technology. **Research Policy**, Rio de Janeiro, v. 25, p. 856-899, 1996. DOI 10.1016/0048-7333(96)00885-2. Disponível

em:

https://www.researchgate.net/publication/222482133_The_Social_Shaping_of_Technology.

Acesso em: 10 jun. 2023.

APÊNDICES

APÊNDICE A - Narrativa histórica para ensino do conteúdo de radioatividade artificial por meio da história de Irène Joliot-Curie⁵

Além da radioatividade: as consequências de uma (nova) fonte de energia

Prólogo - As notícias do dia

Ao abrir a porta de sua casa, Fernanda pegou o jornal do dia que repousava no chão (Figura 1). Ela lançou um olhar rápido às manchetes e aos artigos, até que seus olhos se detiveram em uma seção específica - a seção científica. Era a parte do jornal que Fernanda esperava ansiosamente para ler. As palavras saltavam das páginas, trazendo notícias sobre um fenômeno que estava ganhando destaque: a radioatividade. Mais uma vez ao se deparar com o tema ela sentiu uma onda de curiosidade.

Fernanda vivia em um Brasil agitado, no calor de agosto de 1945. O país estava no meio de um século marcado por transformações e turbulências globais. As cicatrizes da Primeira Guerra Mundial estavam profundas, e embora a Segunda Guerra estivesse chegando ao fim, as tensões políticas continuavam a crescer. Nesse cenário conturbado, a ciência florescia, impulsionada tanto por avanços em áreas como energia e medicina quanto pelo contexto bélico.

A recente chegada do rádio ao Brasil e os boatos sobre a iminente aparição da televisão abriam novas possibilidades para os meios de comunicação. O jornalismo estava em plena efervescência, e a sede por informações era palpável. O jornal, mesmo com as perspectivas modernas, ainda era uma fonte vital de notícias, conectando as pessoas com o mundo. Nesse contexto, o jornalismo científico desempenhava um papel crucial e Fernanda estava atenta a isso. Ela tinha uma afinidade especial com a ciência e a escrita, uma combinação que a tornava uma aspirante a jornalista científica. E o conteúdo sobre a radioatividade era do tipo que a inspirava a contar histórias de cientistas e dos caminhos que percorreram para compreender tal fenômeno.

Enquanto lia sobre as diversas aplicações da radioatividade (Figura 1) - desde a criação de bombas devastadoras até a promessa de avanços médicos e energéticos - Fernanda começou a se questionar. Como um único fenômeno natural poderia ter usos tão contrastantes? Quem eram os responsáveis por essas descobertas? Quando elas foram feitas? Fernanda achou que o papel dela, como futura divulgadora da ciência, estava se moldando diante de seus olhos e que ela poderia ser uma ponte entre o conhecimento científico e o público, tornando informações complexas acessíveis a todos.

⁵ Esse material é uma produção colaborativa entre a autora dessa dissertação, a Prof^a Dr^a Nathália Helena Azevedo Pereira e a Prof^a Dr^a Luciana Massi, que está sendo preparado para ser publicado como capítulo de um livro que contará com diferentes narrativas históricas nesse mesmo formato.

Figura 1 - Representação de notícias de diferentes jornais brasileiros de 1945.

Brasil Vol nº 25 10 de agosto de 1945

Novo ataque com a bomba atômica

O objetivo desta vez, foi Nagasaki, um dos maiores portos do Japão - O comunicado do general Spaatz - O Departamento de Guerra dos EUA desmente que as zonas atingidas pela bomba atômica continuem a desenvolver radioatividade mortífera por longos anos. Entretanto, confirma-se que foi feito hoje, quinta-feira o segundo ataque com a "bomba atômica", assim como já havia sido feito há dois dias.

A informação veio direto de Nagasaki, um dos mais movimentados portos de todo o Extremo Oriente, é também poderosamente fortificado. O comunicado não declara se apenas uma, como em Hiroshima, ou se mais bombas atômicas foram atiradas. Seu texto é o seguinte: "Ocorreu ao meio dia de 9 de agosto, os membros da tripulação informam que foram bons os resultados.



FIGURA 1: BOMBA "LITTLE BOY" LANÇADA EM HIROSHIMA

A energia atômica também cura



FIGURA 2: MANIPULAÇÃO DE DROGAS RADIOATIVAS

Decididamente a velha frase de que "todo bem traz um mal e todo mal traz um bem" tem sua aplicação no que se refere à energia atômica. Depois de ter sido utilizada para destruir vidas humanas, os átomos bombardeados voltam-se para salvar vidas no tratamento do câncer. O rádio e os raios X são as radiações utilizadas na curieterapia e roentgenterapia (em homenagem aos seus descobridores).

Entretanto sua utilização é caríssima, mas depois que o átomo deixou de ser a última divisão da matéria esses obstáculos parecem ter sido vencidos. A Comissão Americana de Energia Atômica entregará à 28 países corpos radioativos, ou seja, elementos como ferro, iodo, fósforo, ouro etc., previamente submetidos a um intenso "bombardeamento de nêutrons" numa pilha atômica.

Diz-se que esse método abre as mais largas perspectivas à solução dos problemas do câncer. Entretanto apresenta riscos para médicos e enfermeiros que forem o empregar, pois a radiação pode causar danos irreversíveis no corpo saudável também. A medicina caminha a passos gigantescos, os próximos anos nos reservam extraordinárias perspectivas na cura e tratamento dessa doença.

PÁGINA 1

Brasil Vol nº 25 10 de agosto de 1945

Série: Os cientistas premiados nos últimos anos



Photo from the Nobel Foundation archive.
Otto Hahn
Prize share: 1/1

FIGURA 3: OTTO HAHN PREMIADO PELO NOBEL DE 1944

O cientista destacado hoje é Otto Hahn, premiado pelo Nobel de Química do ano passado (1944). Sua pesquisa se dava pelo bombardeamento de elementos com nêutrons, mas especificamente o bombardeamento do urânio que apresentava uma fenômeno nunca visto: a fissão nuclear. Dado o contexto atual, com o estabelecimento da estrutura atômica e a apropriação da radioatividade, sua contribuição tem sido de grande importância.

Otto Hahn é um químico e físico alemão, rodeado por colegas como Lise Meitner, Otto Frisch, Fritz Strassmann e Enrico Fermi. Nascido em 1879, em Frankfurt, Hahn é considerado um dos químicos nucleares mais influentes do momento e segue com suas pesquisas nesta área.

O futuro da radioatividade na França



FIGURA 4: FRÉDÉRIC JOLIOT-CURIE NAS OBRAS

A França pode ser considerada um dos berços dos estudos acerca da radioatividade, já que abrigou as primeiras pesquisas e segue até hoje com avanços na área. Inicialmente esse fenômeno foi muito estudado no Instituto Rádio, um conjunto de laboratórios especializados nesse fenômeno e localizado na capital do país. Entretanto, pós períodos intensos de guerra, Irène Joliot-Curie (diretora do Instituto) e Frédéric Joliot-Curie, percebem que tais pesquisas deveriam estar em uma localização estratégica e não no centro da França. Por isso, os Joliot-Curie têm movido esforços para fundar um novo Instituto fora da capital. Pelas últimas declarações à imprensa, há indicativos que a construção esteja ocorrendo em Orsay, no interior do país.

O novo conjunto de laboratórios deverá ser inaugurado em 1956, e pretende ser o novo centro de energia nuclear. Inclusive, o Instituto contará com o primeiro acelerador de partículas da França, um Síncrotron de prótons.

As linhas de pesquisa que serão contempladas com essa nova instituição estão alinhadas com as ambições acerca da radioatividade que têm circundado o mundo todo:

- Estudo da estrutura dos núcleos atômicos;
- Estudo do mecanismo das reações nucleares geradas por colisões de prótons ou projéteis mais pesados com núcleos estáveis;
- Desenvolvimento da física das altas energias.

Orsay contará com físicos e químicos experimentais que logo se juntarão a um grupo de teóricos, constituindo o núcleo da futura Divisão de Física Teórica Francesa.

PÁGINA 2

Questão para pensar 1) Assim como Fernanda, reflita um pouco sobre essas questões acerca das produções da ciência e seus usos na sociedade. Como você enxerga essa relação?

Fernanda sentiu que estava diante de uma oportunidade de explorar para compreender melhor tais questões. Ela decidiu pesquisar quando e como esse fenômeno natural se transformou em uma ferramenta poderosa nas mãos da humanidade.

Para iniciar sua pesquisa, ela precisa de um ponto de partida, e assim o jornal da Figura 1 a fez lembrar que produções científicas de importância na ciência podem ser reconhecidas pelo prêmio Nobel. Assim, conferir as premiações dos últimos anos, tanto de química quanto de física, poderiam lhe dar alguma pista da origem desse conhecimento.

Na biblioteca (estamos em 1945!), ela recolhe os jornais dos últimos 10 anos para conferir todas as publicações da série “Os cientistas premiados nos últimos anos” e tentar perceber desde quando a ciência tem falado sobre isso. Destacando as premiações com o termo “radioatividade” ou outros termos que normalmente aparecem nas notícias sobre o tema, como “átomo”, “núcleo”, “fissão” etc., e o resultado da busca foi resumido da seguinte forma (Quadro 1):

Quadro 1 - Representação do quadro feito por Fernanda para organização de todos os prêmios Nobel sobre radioatividade entre 1935 e 1945.

Química		
Ano	Nome	Premiado(s) por
1935	Irène Joliot-Curie e Frédéric Joliot-Curie	Sintetizar um novo elemento artificialmente radioativo
1944	Otto Hahn	Descobrir a fissão nuclear
Física		
Ano	Nome	Premiado por
1938	Enrico Fermi	Descobrir novas reações e novos elementos produzidos pelo bombardeamento de núcleos atômicos com nêutrons lentos

Fonte: Elaboração própria.

Questão para pensar 2) Qual das premiações listadas você julgaria ser o início dos estudos que levaram aos atuais usos da radioatividade? No lugar de Fernanda, qual caminho de investigação você tomaria para tentar entender a história desse conhecimento?

Seção 1 - O início da investigação: 1935

Após fazer esse levantamento, Fernanda passa a ter um ponto de partida para a história. Os últimos 10 anos de premiações revelaram duas figuras: Irène Joliot-Curie e Frédéric Joliot-Curie. Com essas informações em mãos, Fernanda embarca em uma nova fase de levantamento de informações. Seu objetivo é entender quem eram esses cientistas, qual era o trabalho deles com a radioatividade e como esse conhecimento evoluiu até 1945, com usos tão diversos e polêmicos.

Na biblioteca, ela mergulha em outros materiais, como livros, artigos e revistas de química e física, a fim de encontrar informações sobre Irène Joliot-Curie e Frédéric Joliot-Curie. Entretanto, ela vai além, consultando livros de história, geografia e jornais franceses dos anos anteriores. Afinal, os Joliot-Curie eram franceses, e entender não apenas o conhecimento que produziram, mas também o contexto que os cercava é fundamental. O primeiro passo desse processo é resumir o que acontecia no ano em que receberam o prêmio, 1935. Eis o resumo que Fernanda elaborou:

“Era 1935, e Paris estava no centro das atenções. Quase duas décadas haviam se passado desde o fim da Primeira Guerra Mundial, e o mundo acompanhava os movimentos alemães e as tensões crescentes na Europa - prenúncios da Segunda Guerra Mundial que estava por vir. Enquanto isso, a industrialização estava a todo vapor, com avanços técnicos acelerados, um mundo cada vez mais conectado e o surgimento de novas máquinas e formas de produção.

Ou seja, este era um ano agitado, afinal o cenário pós-guerra exigiu reconstrução das cidades, enquanto as indústrias buscavam energia e matéria-prima em ritmo acelerado. Simultaneamente o clima pré-guerra estimulava a produção armamentista, de veículos e tudo o que favorecia a expansão territorial ou a proteção de territórios. Embora essas demandas tivessem origens diversas, estavam interconectadas pela ciência.

A ciência, inclusive, estava tentando compreender também irregularidades e desordens, mas especificamente as ciências da natureza, como a Química por exemplo, vinham estudando fenômenos a nível microscópico, mas não os aspectos sociais. Questões sobre a estrutura atômica e a descontinuidade da matéria ocupavam as discussões recentes. Eram propriedades que ainda não podiam ser completamente dominadas, e por isso não eram utilizadas para atender às demandas da sociedade. Em meio a essas discussões, uma cientista se destacava: Irène Joliot-Curie. Ela estava imersa na pesquisa sobre raios alfa e o decaimento de elementos radioativos como rádio e polônio. Seu objetivo era compreender e dominar a radioatividade, buscando maneiras de reproduzi-la em laboratório.”

Questão para pensar 3) Como seria estar no meio desse turbilhão de eventos, em 1935, em um mundo em transformação após a Primeira Guerra Mundial e à beira de outra grande guerra, com indústrias em ascensão, novas tecnologias surgindo e tensões geopolíticas aumentando? Como cientista vivendo no meio de tensões políticas e incertezas globais, você acha que se preocuparia com questões políticas e sociais?

Seção 2 - Quem eram eles e por que a radioatividade?

Seguindo seu levantamento, Fernanda passa a buscar materiais específicos sobre Irène e Frédéric e suas pesquisas, para entender como eles chegaram no conhecimento que lhes rendeu o prêmio Nobel. Eis as anotações de Fernanda:

“Irène é filha de Marie Curie (1867-1934) e Pierre Curie (1859-1906), vencedores do prêmio Nobel em 1903 pela colaboração à descoberta da radioatividade espontânea, juntamente com Antoine Henri Becquerel (1852-1908). Essa parceria

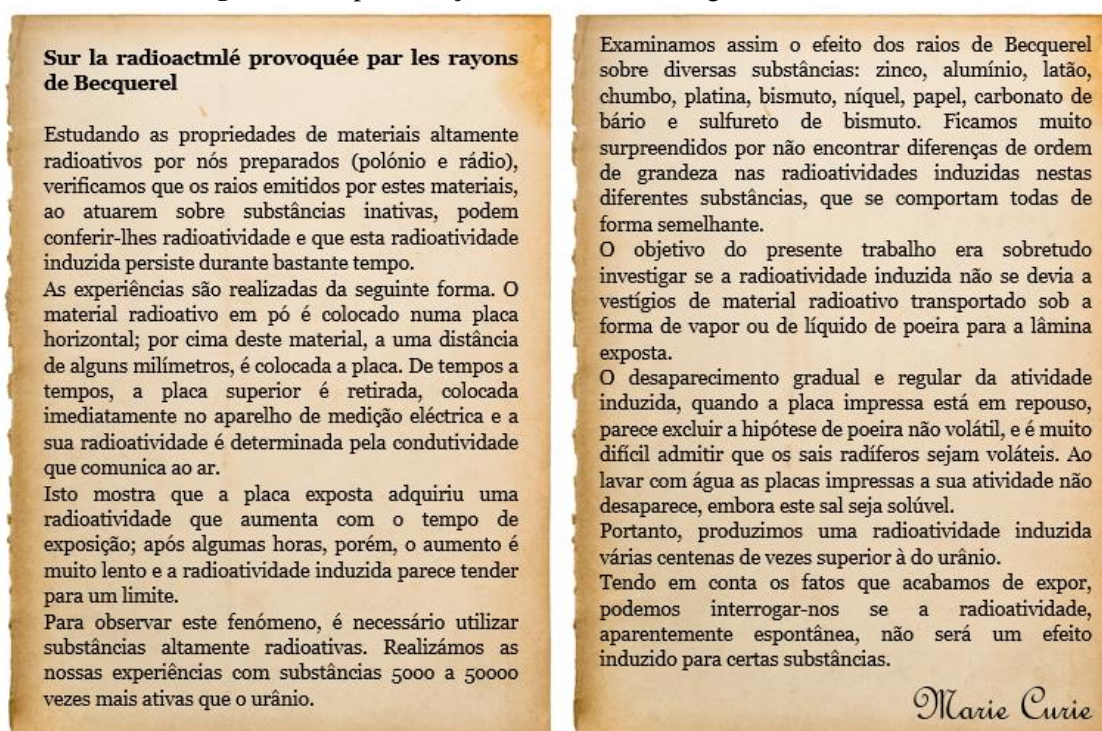
histórica dos seus pais chegou ao fim em 1906, quando Pierre faleceu, mas esse fato não impediu que Marie seguisse trabalhando em suas pesquisas sobre radioatividade. Ela estava desenvolvendo técnicas de isolamento e de produção dos elementos que ela nomeou, o rádio (Ra) e o polônio (Po), por isso tinha grande influência nas quantidades dessas substâncias disponíveis na França e até no mundo. Em suas últimas pesquisas desenvolvidas, Marie explorou as interações entre os raios emitidos por esses elementos e outros materiais, ou seja, tentativas de mapear os efeitos da radiação.

Em todos os seus trabalhos desenvolvidos ao longo da carreira, Marie esteve envolta pela preocupação quanto aos fins que seus resultados teriam, ou seja, como seriam usadas suas produções científicas. Na época da radioatividade natural premiada, ela e Pierre decidiram não patentear o fenômeno, pois acreditavam ser esse um conhecimento pertencente à humanidade, e não aos cientistas que o produziram. Nos últimos anos de vida nos quais trabalhou com a filha, ela vinha também compartilhando essas ideias com Irène, que por sua vez, tem seguido o mesmo caminho encarando a ciência como uma produção do homem e para o homem.

Deste modo, elas estiveram juntas tentando apropriar-se cada vez mais da radioatividade em laboratório, acreditando que quanto mais conhecimento se tem sobre algo, mais autonomia você terá sobre isso. Marie passou então a utilizar a radioatividade natural em laboratório com suas poderosas fontes de polônio (Po) e rádio (Ra) para estudar a interação dos raios emitidos com a matéria, mais especificamente com outros elementos”.

Quanto a isso, Fernanda encontrou o artigo de Marie acerca destes experimentos (Figura 2):

Figura 2 - Representação fictícia de um artigo de Marie Curie.



Fonte: <https://www.biodiversitylibrary.org/page/4794157#page/784/mode/1up>

“As pesquisas sobre as formas de utilização da radioatividade não eram de interesse apenas da família Curie e dos funcionários do Instituto Rádio, o mistério a respeito do fenômeno tornou-se de grande valia para diferentes cientistas, pois sua compreensão poderia promover diferentes usos⁶. Walther Bothe (1891-1957) e Herbert Becker (1887-1955), por exemplo, estavam bombardeando boro (B) e berílio (Be) com partículas α , provenientes também de uma fonte de Po, notando que os elementos emitiam uma radiação de baixa intensidade, porém, mais penetrante que os raios gama (γ). Irène, juntamente com o novo funcionário do Instituto, que posteriormente se tornaria seu marido, Frédéric Joliot-Curie (1900-1958), repetiu esse experimento, já que eles possuíam a fonte poderosa de Po produzida por Marie.”

A Figura 3 traz as anotações a respeito dessa investigação, mas diz respeito especificamente à fonte de Ra decaindo para Po que foi produzida por Marie desde quando isolou o Ra. Estes são, inclusive, os materiais preparados por ela com alta emissão de partículas alfa citados em seu artigo representado na Figura 2. Por isso, era de uso exclusivo dos cientistas do Instituto Rádio, o que lhes dava certa vantagem nas investigações em que precisavam bombardear outros elementos. Esse trecho trata-se também de um achado de Fernanda na biblioteca:

Figura 3 - Representação fictícia das anotações laboratoriais de Irène e Frédéric.

1. Ampolas com rádio (Ra);

2. Decomposição radioativa, formando o rádion (Rn);

3. Decomposição radioativa, formando o polônio (Po);

4. Utilizar respeitando a meia-vida do Po pois ele decai para chumbo (Pb)

Processo em reações:	Observações:
2. ${}^{226}_{88}\text{Ra} \rightarrow {}^{222}_{86}\text{Rn} + {}^4_2\text{He}$	- Liberação de 3 partículas α ;
3. ${}^{222}_{86}\text{Rn} \rightarrow {}^{218}_{84}\text{Po} + {}^4_2\text{He}$	- Meia vida do Po = 138 dias
4. ${}^{218}_{84}\text{Po} \rightarrow {}^{214}_{82}\text{Pb} + {}^4_2\text{He}$	

Fonte: Elaboração própria.

⁶Em 1909 outros países, como Áustria e Estados Unidos, criaram os primeiros centros destinados ao estudo da radioatividade e suas possíveis aplicações, a França então realizou um projeto de colaboração entre a Faculdade de Ciências de Paris e o Instituto Pasteur (estreita ligação entre a investigação básica e a investigação médica já que o rádio já tinha apresentado resultados em aplicações médicas) para instalar um novos laboratórios especializados em radioatividade no país, o Instituto Rádio, sob a direção de Marie Curie.

“Eles também notaram essa misteriosa radiação ao bombardearem Be, e com um contador de partículas de Geiger⁷ melhorado, mediram a intensidade da emissão radioativa, e com uma câmara de nuvens⁸, fotografaram pistas deixadas pelas partículas α emitidas. Eles encontraram a mesma radiação energética de Bothe, capaz de atingir um fino pedaço de parafina [rica em hidrogênio (H) ligados a átomos de carbono (C)] e os núcleos dos H presentes nesse material, rapidamente eram ejetados.

Os Joliot-Curie's alegaram que eram fótons energéticos sendo emitidos do Be irradiado, mas erraram no cálculo sobre a quantidade de energia necessária para tal fenômeno. Apesar de apresentarem pistas para tal descobrimento, foram James Chadwick (1891-1974) e Ernest Rutherford (1871-1937) os responsáveis por demonstrar que eram na verdade nêutrons, partículas subatômicas sem carga, o que os fez ganhar o Nobel ainda em 1935. Além disso, os Joliot-Curie's não conseguiram interpretar o movimento das partículas carregadas na câmara de nuvem de Wilson⁴, mas suas experiências também forneceram a prova da existência do elétron positivo, o pósitron. Carl D. Anderson (1905-1991) e Victor Hess (1883-1964) o descobriram oficialmente por meio do estudo dos raios cósmicos e ganhariam o prêmio Nobel no ano seguinte, 1936.”

Questão para pensar 4) Pensando em organizar os conhecimentos até aqui levantados por Fernanda sobre o nêutron e o pósitron, organize o papel desempenhado por cada cientista que participou de alguma forma (o que cada um fez). Quais as diferentes interações entre seus trabalhos que podem ter contribuído para esses processos?

Seção 3 - Artificialização de um fenômeno natural

Nesta etapa do levantamento, Fernanda passa a investigar especificamente os trabalhos de Irène e Frédéric que os fizeram produzir um elemento artificialmente radioativo, premiado pelo Nobel:

“As produções científicas que Irène e Frédéric presenciaram e contribuíram acabaram sendo atribuídas a outros cientistas, mas eles ainda seguiam na área e mantinham suas pesquisas. Assim, continuaram os experimentos sobre o bombardeamento de elementos com raios α (massa 4 u), e nisso, passaram a bombardear alumínio (Al - massa atômica 27 u e número atômico 13), não mais Be, com a fonte de Po em decomposição radioativa e detectaram prótons. Além das

⁷Johannes Hans Geiger (1882-1945) inventou o contador Geiger que funciona da seguinte maneira: quando a radiação entra pelo tubo contendo argônio, este gás é ionizado, e seu íon fecha o circuito elétrico do aparelho, que é composto de eletrodos de cargas elétricas opostas. Com a formação dos íons, conduz-se eletricidade entre o cátodo e o ânodo, acionando, assim, um contador ou alto-falante.

⁸Charles Thomson Rees Wilson (1869-1959) inventou a câmara de nuvens ou câmara de Wilson que funciona da seguinte maneira: uma câmara com interior saturado de vapor d'água ao ser bombardeada por partículas provenientes de um feixe de raios X ou uma fonte de raios gama, ioniza o gás presente na câmara. Os íons gasosos formados funcionam como núcleos de condensação do vapor, portanto ao se notar condensação, é verificada a existência das partículas emitidas. Tal fenômeno é capaz também de deixar a marca do líquido condensado por onde a partícula passa, por isso seu uso para análise das trajetórias de emissões.

partículas positivas, observaram nesse experimento um elemento radioativo de número atômico 15 (massa atômica 30 u) e um nêutron (n - massa 1 u), como produtos da reação de bombardeamento. Este elemento produzido era inédito, pois não estava na sua forma natural, e sim numa configuração artificial produzida através da radiação emitida pelo Po e induzida no Al.

Com isso, foram para a *Seventh Solvay Conference* em Bruxelas, onde apresentaram esse resultado à comunidade física de elite. Porém, o evento não foi como esperavam e alguns dos cientistas não concordaram com o que lhes foi mostrado.”

Veja a fotografia dessa conferência que Fernanda encontrou em um jornal francês (Figura 4).

Figura 4 - Conferência de Solvay com a presença de Marie Curie, Irène Joliot-Curie e Lise Meitner, além de outros físicos



Fonte: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/a9/Solvay1933Large.jpg>

“Ao retornarem a Paris, continuaram as experiências e confirmaram seus resultados: a reação nuclear de bombardeamento do Al com α tinha massa atômica de $27 + 4 = 30 + 1$ e o número de prótons (número atômico) $13 + 2 = 15 + 0$ (conservação de massa e de carga) produzindo um elemento desconhecido e nêutron. Já o seguinte passo do fenômeno se deu através da transmutação desse elemento produzido (massa atômica 30 u e número atômico 15) em silício (Si - massa atômica 30 u e número atômico 14) e um pósitron (massa atômica 0 e número atômico 1). Ou seja, o erro tinha sido na identificação de próton, que na verdade não é produzido nessa reação de indução radioativa do Al, e sim a antipartícula pósitron⁹. Nesse momento eles têm certeza de que artificializaram o fenômeno da radioatividade, uma vez que essa partícula (antimatéria) e o elemento que se transmutou em Si, não existem naturalmente mas estavam ali, em seus resultados laboratoriais.

Portanto, na série das duas reações nucleares, o Al converte-se em Si estável com liberação de um nêutron no primeiro passo e um pósitron no segundo, com um elemento artificial como intermediário da reação.”

⁹ Antipartículas são partículas com características simétricas às partículas elementares comuns, tendo a mesma carga e massa, apenas com sinais opostos. Assim, a colisão entre uma partícula e sua antipartícula resultaria no aniquilamento das duas entidades. O pósitron por exemplo, é oposto ao elétron, sendo então um “elétron positivo”.

Fernanda percebeu e leu em diferentes revistas da época que eles haviam então conseguido fazer em laboratório a transmutação de elementos. Ela encontrou também o artigo de publicação da descoberta (Figura 5):

Figura 5 - Trecho de um dos artigos que Irène Joliot-Curie e Frédéric Joliot-Curie publicaram sobre a descoberta da radioatividade artificial.

I. PRODUCTION ARTIFICIELLE D'ÉLÉMENTS RADIOACTIFS
II. PREUVE CHIMIQUE DE LA TRANSMUTATION DES ÉLÉMENTS

Par M^{me} IRÈNE CURIE et F. JOLIOT.

Institut du Radium de Paris.

Sommaire. — Le bore, le magnésium et l'aluminium, après irradiation par les rayons α du polonium montrent une radioactivité durable qui se manifeste, dans le cas de B et Al, par l'émission de positrons, tandis que dans le cas de Mg il y a émission d'électrons négatifs et de positrons. Des radioéléments ont été créés par transmutation.

Leur destruction suit une loi exponentielle; la décroissance de moitié a lieu en 14 min., 2 min. 30 sec., 3 min. 15 sec., pour B, Mg et Al respectivement. Elle est indépendante de l'énergie des rayons α excitateurs.

Le rayonnement émis par Al et B irradiés est exclusivement composé de positrons sans électrons négatifs, et forme un spectre continu comme le spectre naturel de rayons β des corps radioactifs. L'énergie maximum du rayonnement de positrons est de l'ordre de $4,5 \times 10^6$ eV pour B, 3×10^6 eV pour Al.

Les électrons positifs et négatifs de Mg forment deux spectres continus et correspondant sans doute à la transmutation de deux isotopes de Mg.

Ces éléments radioactifs nouveaux sont probablement des noyaux $^{13}_7\text{N}$, $^{27}_{14}\text{Si}$, $^{28}_{13}\text{Al}$, $^{30}_{15}\text{P}$, formés à partir des noyaux $^{10}_5\text{B}$, $^{24}_{12}\text{Mg}$, $^{25}_{12}\text{Mg}$ et $^{27}_{13}\text{Al}$.

On a séparé chimiquement, du bore et de l'aluminium, les éléments radioactifs qui s'y forment par irradiation, lesquels présentent, comme il était prévu, les propriétés chimiques de l'azote et du phosphore respectivement. Ces expériences constituent la première preuve chimique des transmutations artificielles.

On propose d'appeler radioazote, radiosilicium, radioaluminium, radiophosphore les nouveaux radioéléments.

Fonte: <https://encr.pw/Zdvxn>

Neste momento do levantamento, Fernanda tem encontrado dificuldades na interpretação desses resultados e experimentos. Ela passa a tentar aprofundar sua compreensão consultando agora em livros de química.

Questão para pensar 5) No lugar da Fernanda, como você interpretaria o trabalho do casal utilizando a química: quais são as reações envolvidas no processo descrito no texto? Qual elemento foi artificialmente produzido por eles? E a fim de entender a especificidade desse conhecimento, quais as diferenças entre os três fenômenos já abordados até aqui e em qual momento do experimento cada um aparece: radioatividade natural, radioatividade induzida e radioatividade artificial?

Com mais informações sobre os conhecimentos que eles produziram, agora passa a ser possível tirar conclusões sobre o que é, afinal, uma produção ao alcance da maior premiação da ciência. Isso porque, para realmente entender essa história, Fernanda acha que precisa compreender não só como esse conhecimento foi desenvolvido, mas também qual foi o impacto dele na ciência para dimensionar sua importância.

Questão para pensar 6) Como Fernanda poderia entender quais as características particulares da radioatividade artificial que os fizeram ganhar o Nobel? O que fez dessa produção científica ser considerada suficiente para ser premiada?

Seção 4 - Premiados, e agora?

Com o avanço do levantamento, Fernanda entendeu que Irène Joliot-Curie e Frédéric Joliot-Curie foram premiados porque reproduziram em laboratório um fenômeno que antes era observado apenas em sua forma natural. Ou seja, através da radioatividade natural do Po, induziram a radioatividade no Al e produziram um elemento artificialmente radioativo que transmutava-se em Si. Assim, a ciência permitiu que o homem controlasse e possivelmente, usasse a seu favor, um fenômeno que antes lhe era alheio. Agora, ela segue mapeando o que aconteceu com esse conhecimento e com seus precursores depois da premiação:

“A repercussão da premiação foi impactante para ambos, Frédéric foi promovido a diretor de pesquisa da *Centre Nationale de la Recherche Scientifique* (CNRS) e aceitou a cadeira de física e química nuclear no *Collège de France*. Irène o substituiu no cargo da Universidade de Paris, além de estar no comando do Instituto Rádio como diretora de pesquisa. E a partir de então, eles praticamente controlavam todo o trabalho nuclear da França, inclusive, influenciando a fundação do Laboratório de Síntese Atômica, para que radioelementos artificiais fossem produzidos em massa.

As consequências de uma premiação como essa devem ser enormes, inclusive agora em 1945 Frédéric foi condecorado com o *Croix de Guerre*, promovido a comandante da *Legion d'honneur* e nomeado chefe do CNRS, onde colabora para a reconstrução de grande parte da comunidade científica francesa especializada em radioatividade. Além disso, foi nomeado Alto Comissário da Comissão da Energia Atômica, na mesma comissão em que Irène foi nomeada membro e deverá cumprir cinco anos de mandato, e ano que vem provavelmente será nomeada chefe da *section chimie*. Assim, com o prêmio e novas responsabilidades, eles passam a expressar opiniões pessoais que podem ter maior impacto, inclusive, em uma das falas públicas de Irène, ela fala sobre sua posição de representatividade:

- Não sou daquelas que pensam que uma mulher [cientista] pode desinteressar-se do seu papel de mulher, seja na vida privada ou pública. Se [o prêmio Nobel] estiver impulsionado meu nome, o nome de uma mulher, um pouco mais à fama [...], sinto que é meu dever afirmar certas ideias que acredito serem úteis para todas as mulheres francesas. Por isso, tenho aceitado cargos em várias reuniões onde são discutidos os direitos das mulheres.”

Fernanda tem percebido outras questões acerca da história que extrapolam o conhecimento produzido e dizem respeito à como a ciência funciona. Então, conferindo seus últimos textos, ela gostaria de tirar algumas conclusões sobre isso com as informações que ela já coletou. Sendo elas, as fotos oficiais de Irène e Frédéric (Figura 6) para o prêmio que ela achou em uma notícia, a foto do congresso que eles participaram em Solvay que ela encontrou em um livro (Figura 4), os diferentes cargos e reconhecimentos recebidos pelos dois após a premiação.

Questão para pensar 7) Quais conclusões Fernanda poderia tirar a respeito da ciência com os fatos dessa história? Quais informações podem ser obtidas a partir das fotos? Como podemos descrever as pessoas nelas? Nesse caso, a ciência e suas formas de premiações podem ser percebidas como um ambiente inclusivo para diferentes pessoas?

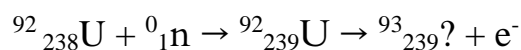
Seção 5 - E o conhecimento, para onde foi?

Depois de perceber que Frédéric foi mais reconhecido do que Irène, com cargos e prêmios, além de notar que as fotografias não valorizam a presença das mulheres na ciência, Fernanda segue com a pesquisa. Pois a ciência é formada por pessoas, mas se define também pelos seus conhecimentos produzidos. Então nessa etapa, ela tem buscado entender quais rumos a radioatividade artificial tomou depois de ser grandemente reconhecida com o prêmio.:

“Nota-se que ambos se mantiveram envolvidos nos rumos do conhecimento que produziram, afinal, o fenômeno da radioatividade foi finalmente artificializado e colocado à disposição do uso humano. Frédéric ficou mais envolvido com questões políticas e burocráticas dos caminhos que a energia nuclear tomaria no país, enquanto Irène se manteve no seio da produção científica. Além disso, as contribuições para a ciência como um todo da produção do casal Joliot-Curie foram imensas, além de campos como medicina e geologia, destaca-se a criação da química e física nuclear, especializadas em estudar a energia proveniente do núcleo atômico.

Por isso, assim como Irène, outros cientistas também estavam interessados na transmutação artificial, mas o foco passou a ser o bombardeamento de elementos com nêutrons, ao invés de partículas alfa. Tal interesse, tornou-se na verdade, uma corrida para se apropriar e obter resultados confiáveis acerca do fenômeno. Isso porque, os cientistas já tinham notado que a produção de elementos artificialmente radioativos era o caminho que permitiria enfim o controle da radioatividade e o uso da energia proveniente do núcleo atômico.

Enrico Fermi (1901-1954), por exemplo, era um professor de física teórica em Roma interessado nesse fenômeno, então bombardeou com nêutrons todos os elementos da tabela periódica a fim de entender os efeitos provocados na estrutura atômica. Ele fazia isso na ordem de número atômico da tabela, até que chegou no urânio (U - número atômico 92) e teve dificuldades, devido a radioatividade natural que ele emite. A reação de bombardeamento era a seguinte:



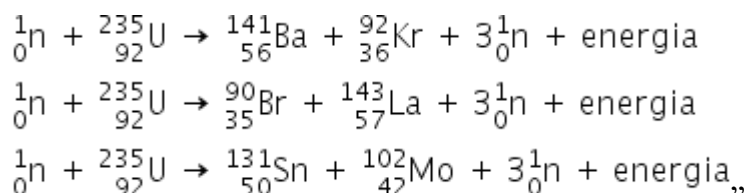
Ou seja, a dificuldade era identificar o que se produzia depois de desestabilizar o núcleo do urânio. Enquanto isso, Irène em colaboração com o físico Pavle Savić (1909-1994), estava tentando caracterizar esse produto formado pelo bombardeamento do U com nêutrons. Eles relataram um possível isótopo de tório (Th - número atômico 90) e um novo isótopo desconhecido com uma meia-vida de 3,5 horas semelhante ao lantânio (La - número atômico 57), que eles acreditam ser um tipo de elemento transurânico.

Após publicarem esses resultados, Otto Hahn (1879-1968) e Lise Meitner (1878-1968), que já estavam pesquisando sobre o fenômeno, observaram em suas experiências esse mesmo La, mas também bário (Ba - número atômico 56), ambos com um número atômico inferior ao do U. O que foi uma surpresa, pois os cientistas esperavam um aumento do número atômico no bombardeio com nêutron, por isso a identificação era difícil. Assim, eles escreveram um trabalho nomeado "Desintegração

do urânio por nêutrons: Um novo tipo de reação nuclear", caracterizando a fissão do núcleo do U em dois outros núcleos mais leves. Em uma das falas de Otto durante discussões em Kungälv com Lise e outros físicos, ele tenta explicar:

- O núcleo de urânio era uma gota instável, pronta para ser dividida com uma mínima perturbação (como o impacto com um nêutron). Mas havia um outro ponto: quando o núcleo de urânio fosse dividido em duas partes por causa da repulsão eletrostática, seriam produzidos cerca de 200 MeV; de onde viria essa energia? [...] A massa final seria inferior à inicial, e quando desaparece a massa, aparece energia.

Ou seja, foi apresentado à comunidade científica o fenômeno da fissão nuclear do U, no qual o núcleo instável de U é desestabilizado com o bombardeamento de um nêutron e ele divide-se em outros dois núcleos de diferentes elementos. Existiam algumas possibilidades de formação desses núcleos formados, a depender da composição e condições da reação. Inclusive o La pode ser produzido, o que significa que mais uma vez, Irène estava certa sobre alguns apontamentos que fez e que possivelmente colaboraram para as conclusões de outros cientistas. A seguir algumas das reações de fissão possíveis e seus produtos:



Fernanda retomou o jornal (Figura 1) em que ela leu as notícias e percebeu que foi por essa descoberta que Otto Hahn foi premiado pelo Nobel em 1944. Portanto, ela conseguiu partir de uma descoberta mais antiga da ciência, que escolheu por pesquisas dos nomes premiados pelo Nobel de 10 anos antes, e traçar uma trajetória histórica até entender porque um conhecimento científico foi capaz de movimentar tanto o mundo.

Além disso, com os resultados obtidos por Irène e pelos outros cientistas da história, Fernanda gostaria de entender mais sobre esse fenômeno da fissão nuclear, pois pode gerar diferentes produtos mesmo se tratando da mesma reação. Para isso, ela busca as diferentes reações a fim de identificar algo em comum entre elas, para estabelecer um padrão.

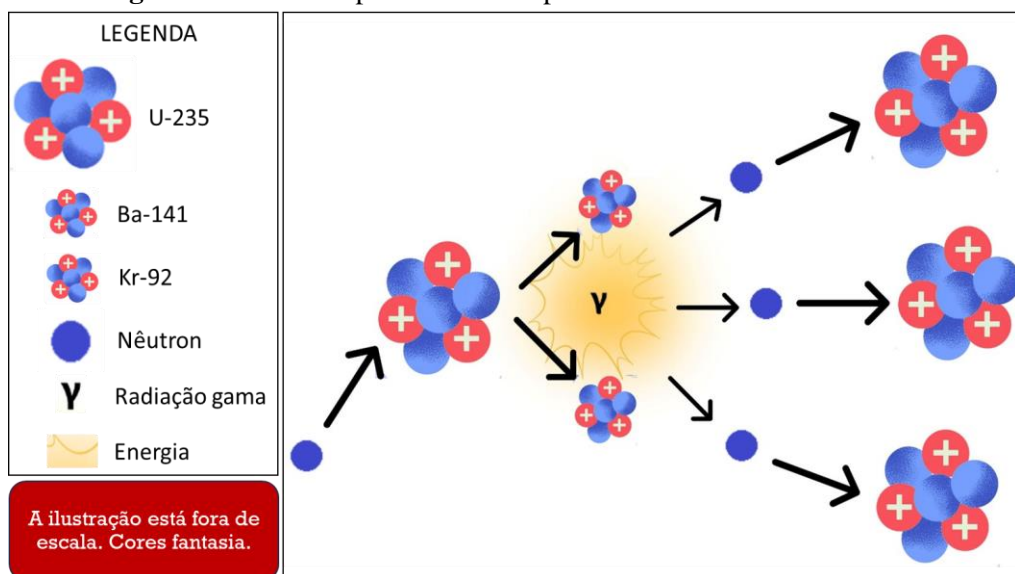
Questão para pensar 8) Compare as possíveis reações de fissão nuclear do U a fim de identificar o que há em comum entre elas (além dos mesmos reagentes) e apontar a especificidade desse tipo de reação. Depois, aponte se as reações que você escreveu na questão 5 podem ter as mesmas características, mesmo se tratando de elementos bombardeados e partículas diferentes.

Seção 6 - A fissão nuclear

Fernanda percebeu que em todas as reações há a utilização de um nêutron enquanto há produção de outros três, além disso, em todas as possibilidades a reação libera energia, ela só

não sabe ainda de quais tipos de energia se trata. Para observar melhor o mecanismo, Fernanda desenhou um esquema (Figura 6) de como isso aconteceria:

Figura 6 - Modelo representativo do processo de fissão nuclear do urânio



Fonte: Elaboração própria

Deste modo, Fernanda concluiu que os nêutrons produzidos pela reação inicial de bombardeamento do U com nêutron, irão colidir com outros três urânios e desencadear outras três reações, que por sua vez produzirão outros três nêutrons cada uma que também colidirão com outros urânios... Infinitamente? Não, mas enquanto tiver U disponível para ser bombardeado. Inclusive, ela descobriu que esse fenômeno foi nomeado em 1944 e os cientistas têm chamado de reação em cadeia.

Questão para pensar 9) Com base no modelo que Fernanda elaborou, quais devem ser os três principais tipos de energia que ela pode afirmar que são produzidos por essa reação? Além disso, considerando que a reação ocorre milhares de vezes seguidas devido ao efeito em cadeia, a energia liberada será correspondente, ou seja, em grande quantidade. Você poderia propor ou imaginar alguns usos para essa fonte de energia?

Fernanda destaca no final do seu levantamento que com o fenômeno controlado, a energia produzida também pode ser controlada de acordo com os interesses de quem a utiliza. Agora, para finalizar o trabalho, ela gostaria de concluir dimensionando os impactos da descoberta de Irène e Frédéric nas utilizações da radioatividade atualmente, em 1945, 10 anos após o Nobel recebido. Pois ela notou que as pesquisas sobre a apropriação da radioatividade foram fortemente direcionadas para que se tornasse uma nova fonte de energia para o mundo, mas seus resultados não foram utilizados apenas para isso.

Questão para pensar 10) Quais os principais impactos que o trabalho de Irène e Frédéric proporcionou para o mundo que estava em guerra? É possível dimensionar os impactos que um conhecimento produzido proporcionará? Ele pode ser guiado a fim de atingir apenas o objetivo

inicial? Os cientistas que os produziram têm responsabilidades sobre o que a descoberta deles foi capaz de proporcionar para a ciência e para o mundo? Por quê?

APÊNDICE B - Material complementar da narrativa histórica¹⁰

ALÉM DA RADIOATIVIDADE: AS CONSEQUÊNCIAS DE UMA (NOVA) FONTE DE ENERGIA

Conteúdo prévio: Partículas subatômicas (nêutron, próton, elétron, etc), radioatividade natural, decaimento radioativo, partículas radioativas (alfa, beta e gama) e isótopos;

Conteúdo: Aplicações da radioatividade [radioatividade induzida, radioatividade artificial e fissão nuclear (geração de energia x produção de bombas)];

Aspectos de natureza da ciência:

- Artificialização da natureza;
- Espectro de motivações do fazer científico;
- Colaborações ou competições entre cientistas: revisão por pares, erros e incertezas, explicações alternativas;
- Credibilidade dos meios de socialização do conhecimento científico (revistas, publicações, congressos, jornais, etc.)
- Papel do preconceito de gênero;
- Responsabilidade social dos cientistas.

Problema investigativo: Como produzir radioatividade visando atender a demanda energética do século XX?

Algumas considerações sobre a narrativa e as “questões para pensar”

Este material tem o objetivo de apontar algumas considerações tanto a respeito da narrativa histórica, nomeada “Além da radioatividade: a apropriação de uma (nova) fonte de energia”, quanto sobre suas “questões para pensar”. A história tal qual é retratada nesse caso, é a de uma futura jornalista científica que em 1945 ao ler o jornal, decide investigar a história da radioatividade para tentar entender e divulgar, como esse conhecimento foi capaz de proporcionar usos tão diferentes no século XX. Inclusive, essa é a personagem da qual o aluno irá assumir o papel, pois ele poderá refletir e propor ideias como se fosse a própria jornalista investigando a história.

Por abordar um conteúdo químico específico, é importante que o docente faça uso da narrativa em uma segunda aula sobre o tema, assim os alunos poderão investigar a história já com os conhecimentos prévios bem determinados. Até porque, como sugere o tema, a ideia é que os alunos possam ir além da radioatividade comumente ensinada, na tentativa de fazê-los entender a grandiosidade das aplicações e desdobramentos que esse conhecimento teve no século XX. Tal entendimento deverá acontecer ao longo da narrativa toda, até porque, mesmo a história acompanhando o trabalho de uma jornalista, o que interessa mais ao caso é a história sobre a qual ela investiga. Ou seja, a história da radioatividade de fato, que mais especificamente trata da descoberta da radioatividade artificial de Irène Joliot-Curie e Frédéric

¹⁰ Esse material deverá ser publicado juntamente com a narrativa histórica, já que tem o objetivo de explicitar para o professor as expectativas quanto às respostas das questões e os aspectos de natureza da ciência que estão sendo mobilizados.

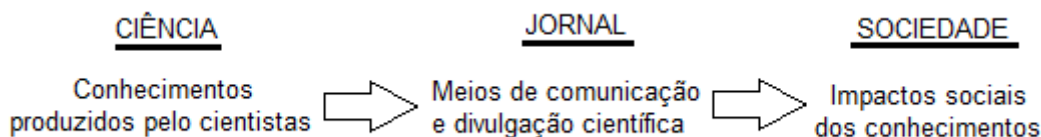
Joliot-Curie, já que é a partir disso que a radioatividade pode ser controlada e utilizada de fato pelo homem.

Deste modo, a narrativa acompanha uma investigação sobre a vida e a carreira de dois cientistas, sendo capaz de não só ensinar o conteúdo proposto, mas também abordar diferentes aspectos de natureza da ciência. Tais aspectos aparecem implicitamente ao longo do caso, mas é durante as “questões para pensar” que eles serão explicitados e discutidos pelos próprios alunos junto com o conteúdo. Por isso, elas devem ser preferencialmente aplicadas de maneira intercaladas à história, a fim de contemplar a função de guiar a investigação, a história e o conteúdo.

Questão para pensar 1

Assim como Fernanda, reflita um pouco sobre essas questões acerca das produções da ciência e seus usos na sociedade. Como você enxerga essa relação?

Nessa questão os alunos já tiveram contato com a personagem da jornalista e com as motivações que a levaram a investigar a história da radioatividade, mas ainda não com o conteúdo de fato. Por isso, aqui espera-se mobilizar apenas aspectos de natureza da ciência, especificamente o de **responsabilidade social dos cientistas**, já que ela se preocupa em buscar o responsável pelo conhecimento que proporcionou tudo o que ela estava lendo nas notícias. Além de poder explorar também o de **credibilidade dos meios de socialização do conhecimento científico**, já que tais notícias foram lidas em um jornal e que se geraram preocupações, é porque o leitor confia nessa fonte de informações. Assim, o docente pode tentar focar nessas discussões, buscando fazer com que o aluno reflita sobre a conexão entre ciência e sociedade da seguinte forma:



Questão para pensar 2

Qual das premiações listadas você julgaria ser o início dos estudos que levaram aos atuais usos da radioatividade? No lugar de Fernanda, qual caminho de investigação você tomaria para tentar entender a história desse conhecimento?

Nessa questão os alunos já entenderam como a jornalista iniciou a investigação e agora deve tomar sua primeira decisão, sobre a qual ele pode opinar. Aqui acontece também o primeiro contato com o conteúdo que será trabalhado ao longo do caso (radioatividade artificial) e os nomes dos cientistas sobre os quais a investigação se desdobrará (Irène Joliot-Curie e Frédéric Joliot-Curie). Não há nenhum aspecto específico de natureza da ciência a ser trabalhado, entretanto, o docente pode instigar reflexões acerca do fato de que é muito difícil estabelecer um início para algum conhecimento científico, já que a ciência não apresenta um desenvolvimento linear. Além disso, pode incitar discussões acerca da importância das premiações científicas, dos registros na ciência e a importância do acesso da população a esse tipo de informação.

Questão para pensar 3

Como seria estar no meio desse turbilhão de eventos, em 1935, em um mundo em transformação após a Primeira Guerra Mundial e à beira de outra grande guerra, com indústrias em ascensão, novas tecnologias surgindo e tensões geopolíticas aumentando? Como cientista vivendo no meio de tensões políticas e incertezas globais, você acha que se preocuparia com questões políticas e sociais?

Nessa questão o aluno já pôde entender o contexto acerca da descoberta dos cientistas Irène Joliot-Curie e Frédéric Joliot-Curie. O aspecto de natureza da ciência aqui explorado é o de **espectro de motivações do fazer científico**, uma vez que entendendo o contexto político da França em 1935 (ano da premiação do Nobel), entende-se minimamente porque era esse tipo de conhecimento que estava sendo premiado na época. Além disso, a questão da relação ciência e sociedade ainda pode ser fortemente destacada, explorando o fato de como uma influencia a outra, principalmente quando se trata de guerra, e no caso do século XX, foram três grandes guerras.

Questão para pensar 4

Pensando em organizar os conhecimentos até aqui levantados por Fernanda sobre o nêutron e o pósitron, organize o papel desempenhado por cada cientista que participou de alguma forma (o que cada um fez). Quais as diferentes interações entre seus trabalhos que podem ter contribuído para esses processos?

Nesse momento da narrativa iniciaram-se os conteúdos químicos sobre a radioatividade, especificamente sobre as partículas subatômicas que foram descobertas pouco antes ou até concomitantemente à radioatividade artificial, e que colaboraram para a produção desse conhecimento. Por isso, é possível trabalhar aqui tanto **espectro de motivações do fazer científico**, já que muitos cientistas desse período na França estavam trabalhando com átomo e seus fenômenos; quanto **colaborações ou competições entre cientistas: revisão por pares, erros e incertezas, explicações alternativas**, uma vez que os cientistas trabalham compartilhando resultados, mas apenas alguns serão reconhecidos por isso. Entretanto, se os alunos encontrarem dificuldades para sistematizar os conhecimentos e atribuí-los a determinados cientistas, o docente pode guiar a discussão a fim de fazê-los perceber como é difícil fazer e até mesmo entender a ciência, já que não seu desenvolvimento não é linear e as relações não são diretas entre produtor e produto.

Questão para pensar 5 e 6

No lugar da Fernanda, como você interpretaria o trabalho do casal utilizando a química: quais são as reações envolvidas no processo descrito no texto? Qual elemento foi artificialmente produzido por eles? E a fim de entender a especificidade desse conhecimento, quais as diferenças entre os três fenômenos já abordados até aqui e em qual momento do experimento cada um aparece: radioatividade natural, radioatividade induzida e radioatividade artificial?

Como Fernanda poderia entender quais as características particulares da radioatividade artificial que os fizeram ganhar o Nobel? O que fez dessa produção científica ser considerada suficiente para ser premiada?

Essa é a seção de maior importância para o conteúdo científico estudado, pois trata-se de como ele foi de fato produzido e recebido pela comunidade científica. Na questão 5 o docente pode orientar os alunos quanto à importância do uso da linguagem química, já que eles

precisarão escrever as reações nucleares do experimento e se atentar às conservações de massa e carga. Vale destacar também a importância da interpretação correta do experimento feito, já que a partir dele é possível notar os três diferentes tipos de radioatividade fazendo com que o aluno perceba como esse conhecimento se desdobrou de diferentes formas além do natural:

- radioatividade natural: fonte de polônio radioativo emitindo naturalmente partículas alfa;
- radioatividade induzida: alumínio bombardeado pelas partículas alfa emitidas pela fonte de polônio;
- radioatividade artificial: fósforo artificialmente radioativo como produto do bombardeamento do alumínio.

Assim, o docente pode destacar que a partir de um fenômeno inicialmente natural, os cientistas puderam produzir outros dois fenômenos diferentes e artificiais, ou seja, que não existiriam se não fosse a ciência. Portanto, trabalha-se aqui o aspecto essencial da química de **artificialização da natureza**. Além de possibilitar também mais discussões acerca das premiações e reconhecimento no meio científico, uma vez que a participação deles no congresso, que não foi como esperavam, rendeu a publicação do artigo e o prêmio, permitindo discussões acerca dos **meios de socialização do conhecimento científico**.

Questão para pensar 7

Quais conclusões Fernanda poderia tirar a respeito da ciência com os fatos dessa história? Quais informações podem ser obtidas a partir das fotos? Como podemos descrever as pessoas nelas? Nesse caso, a ciência e suas formas de premiações podem ser percebidas como um ambiente inclusivo para diferentes pessoas?

Essa questão tem como objetivo promover discussões acerca do meio científico e as características das pessoas que o compõem, já que nessa seção e ao longo das anteriores, o aluno teve contato com diferentes cientistas. Muitos pontos sobre isso podem aparecer, mas espera-se que o aluno aponte especialmente o **preconceito de gênero** que emerge da história, uma vez que acompanhando um casal (Frédéric e Irène), é possível notar diferenças nas trajetórias deles como homem e mulher. Inclusive, utilizando a Figura 4 é possível notar que a quantidade de homens no congresso é extremamente superior ao número de mulheres presentes e com o slide 26 pode-se destacar a diferença entre os cargos que ambos assumiram. Entretanto, se os alunos não notarem isso por conta própria, sugere-se que o docente incite tais discussões.

Material extra:

Para que o docente possa complementar as discussões que surgirem sobre a Figura 4, destaca-se o fato de que as três mulheres presentes na imagem são: Marie Curie, Irène Joliot-Curie e Lise Meitner. Tais mulheres eram, respectivamente: viúva de Pierre Curie, esposa de Frédéric Joliot-Curie e a colega de Otto Hahn. Ou seja, todas têm alguma conexão com algum outro cientista homem, e nenhuma delas está lá apenas pelo seu trabalho na ciência.

Para avançar nas discussões, o docente pode também comentar ou acessar com os alunos os discursos das premiações do Nobel no site do prêmio, a fim de mostrar como são diferentemente armazenadas as falas dos homens e as das mulheres. Tal comentário pode ser feito da seguinte forma:

Os premiados do Nobel são convidados a dar uma palestra no dia da premiação a fim de explicar como alcançaram tais resultados, porém os convites para essa cerimônia são restritos. Então, para ter acesso às falas dos cientistas, devemos acessar o site oficial do prêmio e buscar por “lecture [nome do cientista]”. Ao fazer a busca no

site notamos que: o discurso de Irène está disponibilizado no próprio site ([Irène Joliot-Curie – Nobel Lecture - NobelPrize.org](https://www.nobelprize.org/centennial/irene-joliot-curie)), enquanto o de Frédéric está disponível em PDF ([Frédéric Joliot – Nobel Lecture - NobelPrize.org](https://www.nobelprize.org/centennial/frédéric-joliot-curie)). Curiosamente para tentar entender o motivo disso, devemos acessar outros discursos e conferir também os armazenamentos; então veremos o de Marie, Pierre e Becquerel de 1903: o site diz que Marie não proferiu nenhuma palestra ([Marie Curie – Nobel Lecture - NobelPrize.org](https://www.nobelprize.org/centennial/marie-pierre-becquerel)), enquanto os discursos dos dois estão disponíveis também em PDF ([Pierre Curie – Nobel Lecture - NobelPrize.org](https://www.nobelprize.org/centennial/pierre-curie); [Henri Becquerel – Nobel Lecture - NobelPrize.org](https://www.nobelprize.org/centennial/henri-becquerel)). Por fim, conferindo o de Marie Curie de 1906, prêmio que ela recebeu sozinha, o discurso está armazenado na página do site ([Marie Curie – Nobel Lecture - NobelPrize.org](https://www.nobelprize.org/centennial/marie-curie)), assim como o de Irène.

Assim, o docente pode demonstrar que os discursos de mulheres são registrados e disponibilizados como uma página normal da internet, enquanto o dos homens são armazenados em formato de documento (PDF).

Ainda no site do prêmio, estão disponibilizada as fotos oficiais da premiação (Figura 1):

Figura 1 - Fotografias de Frédéric Joliot-Curie e Irène Joliot-Curie para registro do Nobel.



Fonte: <https://www.nobelprize.org/prizes/chemistry/1935/summary/>

Por isso, é possível ainda discutir as visíveis diferenças presentes nessas duas fotografias, já que Irène nem direciona o olhar para o fotógrafo, enquanto Frédéric o encara diretamente. Vale também ouvir a opinião dos alunos quanto a essas informações do site, principalmente tentando fazê-los refletir sobre os motivos e impactos dessas diferenças.

Questão para pensar 8

Compare as possíveis reações de fissão nuclear do U a fim de identificar o que há em comum entre elas (além dos mesmos reagentes) e apontar a especificidade desse tipo de reação. Depois, aponte se as reações que você escreveu na questão 5 podem ter as mesmas características, mesmo se tratando de elementos bombardeados e partículas diferentes.

Nessa questão os alunos podem desenvolver uma resposta importante para a narrativa, pois é a partir daqui que eles poderão notar a maior consequência do conhecimento produzido por Irène e Frédéric. Por isso, ela aborda exclusivamente o conteúdo químico de reações nucleares em cadeia, que é o fenômeno que vai direcionar o uso dessas reações posteriormente.

Além disso, ela está conectada com a questão 5, para que os alunos percebam que os Joliot-Curie, mesmo produzindo também uma reação nuclear artificializada, não poderiam tê-la usado para tais fins.

Questão para pensar 9 e 10

Com base no modelo que Fernanda elaborou, quais devem ser os três principais tipos de energia que ela pode afirmar que são produzidos por essa reação. Além disso, considerando que a reação ocorre milhares de vezes seguidas devido ao efeito em cadeia, a energia liberada será correspondente, ou seja, em grande quantidade. Você poderia propor ou imaginar alguns usos para essa fonte de energia?

Quais os principais impactos que o trabalho de Irène e Frédéric proporcionou para o mundo que estava em guerra? É possível dimensionar os impactos que um conhecimento produzido proporcionará? Ele pode ser guiado a fim de atingir apenas o objetivo inicial? Os cientistas que os produziram têm responsabilidades sobre o que a descoberta deles foi capaz de proporcionar para a ciência e para o mundo? Por quê?

Nessa última seção há a finalização tanto da história investigada, que termina com o entendimento sobre como a radioatividade proporcionou diferentes aplicações, quanto do conteúdo, que conectado com as aplicações, faz o aluno refletir sobre a energia produzida e quais suas possibilidades de uso. Desse modo, o aspecto de natureza da ciência aqui trabalhado é o de **responsabilidade social dos cientistas**, já que o aluno poderá finalmente vislumbrar a história completa e opinar se realmente há um “culpado” para os atuais impactos provocados pela radioatividade. O docente inclusive, pode colaborar com as reflexões dos alunos lembrando o fato de como as pesquisas científicas emergem das necessidades sociais, para que depois, volte para suprir então essas demandas. Assim, os cientistas podem ser apontados como mediadores desse processo de produção do conhecimento para a humanidade, mas não como culpados, pois os usos de suas descobertas extrapolam suas áreas de atuação e deixam de ser suas responsabilidades.