



UEPB

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CAMPUS I
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE FÍSICA
CURSO DE LICENCIATURA EM FÍSICA**

JOILSON ZACARIAS ARAÚJO

**HISTÓRIA DA RADIOATIVIDADE PARA O ENSINO DE FÍSICA: uma proposta de
projeto didático**

**CAMPINA GRANDE
2021**

JOILSON ZACARIAS ARAÚJO

HISTÓRIA DA RADIOATIVIDADE PARA O ENSINO DE FÍSICA: uma proposta de projeto didático

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento do Curso de Física da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do título de Licenciatura em Física.

Orientador: Prof. Me. José Antonio Ferreira Pinto.

**CAMPINA GRANDE
2021**

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

A663h Araújo, Joilson Zacarias.

História da radioatividade para o ensino de Física [manuscrito] : uma proposta de projeto didático / Joilson Zacarias Araujo. - 2021.

50 p. : il. colorido.

Digitado.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Física) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 2021.

"Orientação : Prof. Me. José Antonio Ferreira Pinto ,
Coordenação do Curso de Licenciatura em Física - CCTS."

1. História da Ciência. 2. Radioatividade. 3. Ensino de Física. I. Título

21. ed. CDD 509

JOILSON ZACARIAS ARAÚJO

HISTÓRIA DA RADIOATIVIDADE PARA O ENSINO DE FÍSICA: uma proposta de projeto didático

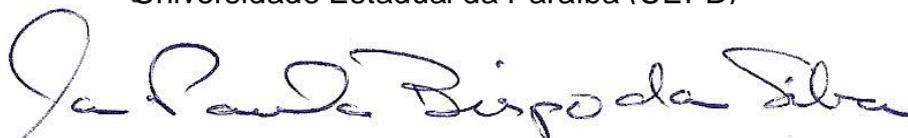
Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Física da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do título de Licenciado em Física.

Aprovada em: 07 /10 /2021.

BANCA EXAMINADORA



Prof. Me. José Antonio Ferreira Pinto (Orientador)
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Profa. Dra. Ana Paula Bispo da Silva
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Prof. Me. Luciano Feitosa do Nascimento
Instituto Federal da Paraíba (IFPB)

À Maria Izabelle Amâncio Rodrigues da
Silva (in memoriam), DEDICO.

AGRADECIMENTOS

À Deus, por sempre me abençoar durante toda a minha vida, me proporcionando momentos inesquecíveis além de me conceder força para conquistar meus sonhos.

À minha amada mãe Alexsandra, pelo companheirismo, apoio, amor, carinho e orgulho, mostrando a força de ser uma mulher guerreira, a quem eu amo eternamente.

Ao meu amado pai Joailton, por sempre estar ao meu lado, e ter orgulho das minhas conquistas, a quem eu amo eternamente.

Aos meus irmãos Alexsandro e Danielle, por toda amizade, amor e carinho.

A todos os meus tios e tias, por todo amor e carinho, em especial à Adriana por todo o incentivo e amor que carinhosamente posso chamá-la de mãe.

Aos meus amados avós, por todo carinho e amor, especialmente a minha amada avó Maria Severina (in memoriam), por carinho, amor, dedicação e incentivo que lembrarei por toda a minha vida.

À minha amada namorada Keren-Hapuquen, por todo amor, carinho, dedicação, companheirismo e apoio, me proporcionando momentos felizes e marcantes.

Ao meu orientador José Antonio Ferreira Pinto, por todo apoio, companheirismo e amizade que o curso nos proporcionou, pela paciência e confiança no meu trabalho.

Ao professor Alessandro Frederico da Silveira, por ter me dado oportunidades em seus projetos, me proporcionando grandes aprendizados.

À professora Ana Paula Bispo da Silva, pelas valiosas aulas de história da física, assim como, indicações de valiosos textos sobre história da ciência.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela Concessão da bolsa durante o período que participei da residência pedagógica.

A todos os meus amigos e amigas, que o curso pode me proporcionar:
Cassiano, Maércio, Alcimar, Erinaldo, Carlos, Lizandra, Vicente, Thalita, Ingrid,
Valderlan, Carol, José João.

À UEPB, por todo o conhecimento adquirido durante minha graduação.

RESUMO

O ensino de ciências na educação básica ainda é bastante deficitário, o que resulta em uma carência de conhecimentos sobre ciência e tecnologia. Por outro lado, o ensino de física vem sofrendo transformações com o intuito de melhorar esse cenário. É o caso de propostas que buscam levar discussões sobre natureza da ciência a partir de uma abordagem histórico investigativa para a sala de aula, no intuito de contribuir para formação crítica dos estudantes, abordando práticas de pesquisa, construções de hipóteses e experimentos, assim como a construção do conhecimento científico. A história da radioatividade pode servir de contexto e cenário para tais discussões. A utilização da abordagem histórico-investigativa no tratamento do episódio histórico da radioatividade pode contribuir para que docentes levem os aspectos epistêmicos e não epistêmicos da construção da ciência para a sala de aula de física. Pensando nisso, construímos uma narrativa histórica, focando nos métodos utilizados pelos cientistas, abordando os principais fenômenos e hipóteses. Além disso, elaboramos um projeto didático que pode auxiliar professores e professoras da educação básica, a discutirem em sala de aula questões voltadas à natureza da ciência.

Palavras-Chave: História da Ciência. Radioatividade. Ensino de Física.

ABSTRACT

Science teaching in basic education is still quite deficient, which results in a lack of knowledge about science and technology. On the other hand, the teaching of physics has been undergoing changes in order to improve this scenario. This is the case of proposals that seek to bring discussions about the nature of science from an investigative historical approach to the classroom, in order to contribute to the critical education of students, addressing research practices, construction of hypotheses and experiments, as well as construction of scientific knowledge. The history of radioactivity can serve as a context and setting for such discussions. The use of the historical-investigative approach in the treatment of the historical episode of radioactivity can help teachers to bring the epistemic and non-epistemic aspects of the construction of science to the physics classroom. With this in mind, we built a historical narrative, focusing on the methods used by scientists, addressing the main phenomena and hypotheses. In addition, we developed a didactic project that can help teachers in basic education to discuss issues related to the nature of science in the classroom..

Keywords: History of Science. Radioactivity. Teaching Physics.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | | |
|-------------|--|----|
| Figura 1 – | Tubo de Crookes..... | 19 |
| Figura 2 – | Gravura do tubo de raios catódicos de Lenard..... | 20 |
| Figura 3 – | Eletroscópio de folhas | 21 |
| Figura 4 – | Laboratório de Roentgen..... | 22 |
| Figura 5 – | Modelos esquemático das primeiras conclusões de Röntgen..... | 23 |
| Figura 6 – | Radiografias feitas por Roentgen em 1895: (a) ossos das mãos de sua esposa, Bertha, com dois anéis no dedo médio; (b) caixa de madeira contendo pesos de balança; (c) bússola, com caixa metálica (com escala em tinta metálica); (d) amostra de metal (zinco) mostrando irregularidades | 24 |
| Figura 7 – | Reconstrução do experimento de Niewenglowski – vista lateral..... | 26 |
| Figura 8 – | Reconstrução do experimento de Niewenglowski – visto de cima.... | 26 |
| Figura 9 – | Pepita de urânio..... | 28 |
| Figura 10 – | Fotografia obtida por Becquerel, utilizando uma modela entre o sal de urânio e a chapa fotográfica, coberta por um papel opaco | 28 |
| Figura 11 – | Esquema da câmara de ionização..... | 31 |
| Figura 12 – | Câmara de ionização com cristal piezoelétrico..... | 31 |
| Figura 13 – | Pechblenda..... | 33 |

SUMÁRIO

| | | |
|------------|---|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 10 |
| 1.1 | Aspectos Metodológicos..... | 11 |
| 2 | REFERENCIAL TEÓRICO | 12 |
| 2.1 | História da ciência e ensino de física | 12 |
| 2.2 | Abordagem histórico-investigativa e o ensino de ciências | 13 |
| 2.3 | Dimensões do uso didático de episódios históricos | 15 |
| 3 | EPISÓDIO HISTÓRICO | 18 |
| 4 | PROPOSTA DE PROJETO DIDÁTICO | 36 |
| 4.1 | Parte 1 - RAIOS X: um novo fenômeno ou apenas uma propriedade dos fenômenos conhecidos?..... | 37 |
| 4.2 | Parte 2- Iluminando a conjectura de Poincaré..... | 40 |
| 4.3 | Parte 3- No rastro dos raios: rádio, radiação e radioatividade..... | 42 |
| 5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS..... | 47 |
| | REFERÊNCIAS | 49 |

1. INTRODUÇÃO

O ensino de física vem sofrendo modificações durante as últimas décadas, e com elas a proposição de diferentes metodologias que buscam, entre outras coisas, contribuir para uma formação mais crítica e integral do alunado.

Apesar de vivermos em uma sociedade dependente da tecnologia, parece que a população, de maneira geral, não compreende ou não se interessa pela ciência envolvida na produção de equipamentos ou mesmo no impacto gerado na sociedade. A ciência e a tecnologia passaram por várias mudanças em seu desenvolvimento. Ao mesmo tempo em que havia uma grande confiança de que o investimento no desenvolvimento e aplicações da ciência e tecnologia resultaria no bem estar social, foi se observando que isso não acontecia como consequência natural, ao contrário, ficou claro que ambas sofriam e sofrem influências sociais e políticas, tornando-se benéficas ou maléficas (BAZZO, 1998).

O processo histórico de desenvolvimento pode ser tão interessante quanto a importância de algumas das aplicações tecnológicas que fazem parte do nosso dia a dia. Explorar episódios históricos, incorporando-os à prática do ensino em sala de aula é uma forma de contribuir para os objetivos formativos dos estudantes da educação básica, a saber, compreender o mundo em que vivem e desenvolver a capacidade de aprender a aprender.

Acreditamos que é de extrema importância que o ensino de ciências nas escolas discuta conhecimentos epistêmicos e não epistêmicos, para que a formação possibilite a análise crítica e bem informada das questões científicas e tecnológicas do mundo em que vivemos. São considerados aspectos epistêmicos, tudo aquilo que compreende os conhecimentos científicos e da epistemologia da ciência, sendo os aspectos não epistêmicos tudo o que se relaciona com as crenças culturais, morais, sentimentos e emoções (ACEVEDO-DIAZ, 2006)

Nesse contexto, trazemos como proposta discutir o episódio da radioatividade, a partir de uma abordagem histórico-investigativa, buscando explorar diferentes enfoques que auxiliem na promoção de um ensino crítico e voltado às questões de ciência, no entendimento de como ela é construída e como se dá trabalho de cientistas.

Com base no livro de Roberto A. Martins (2012), intitulado *Becquerel e a descoberta da radioatividade: uma análise crítica*, construímos uma narrativa cujo foco está nos métodos envolvidos no estudo da radioatividade e como afetaram os diferentes trabalhos. Em seguida, buscamos por elementos de natureza da ciência que possibilitaram construir questões que vieram a compor a proposta didática dessa pesquisa. Desenvolvemos um material voltado para professores e professoras que possa auxiliar na construção de projetos didáticos nas aulas da educação básica com o tema da radioatividade.

1.1. Aspectos metodológicos

A presente pesquisa se deu em duas etapas: primeiro, foi realizada uma pesquisa bibliográfica para construção de uma narrativa sobre a radioatividade em fontes secundárias, em especial o livro de Martins (2012). Logo após, buscamos construir um eixo narrativo que não focasse nos personagens, mas buscando observar os métodos empíricos envolvidos.

Na segunda etapa, construímos uma proposta de projeto didático, voltado à educação básica, com uma abordagem histórico-investigativa. Para orientar os problemas investigativos, nos baseamos nas orientações dos parâmetros de Forato (2012) para o uso da História da Ciência (HC) no ensino de ciências e nas indicações de Allchin (2013) para os temas de Natureza da Ciência (NdC), que podem ser explorados a partir de episódios históricos. O resultado está na forma de problemas e questões específicas que podem ser exploradas nas aulas, apresentadas para cada etapa do projeto didático que compõe o capítulo 4.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. História da ciência no ensino de física

De acordo com Chicórá, Camargo e Toppel (2015), boa parte das escolas do nosso país priorizam os conceitos e equações nos estudos dos fenômenos físicos, assim, podendo levar os estudantes a terem uma ideia de ciência exata e neutra. Dessa forma, os papéis históricos, culturais e sociais da física são excluídos. Uma tentativa de superar os problemas de um ensino descontextualizado e acrítico é com a presença da HC no ensino.

Deve-se ter em mente, no entanto, que não se pode esperar que qualquer metodologia, sozinha, seja suficiente para sanar os problemas no ensino de ciências, ou contemple todas as necessidades formativas dos estudantes (HODSON, 1992).

Pesquisadores que vêm se dedicando ao estudo da HC no ensino de ciências se debruçaram em diferentes vertentes, desde estudos empíricos acerca da concepção de alunos, professores e cientistas sobre concepções de ciências (LEDERMAN, 1992; HODSON, 1994), até estudos teóricos e empíricos que apontam possíveis benefícios, e também limitações, para seu uso no ensino (MATTHEWS, 1994; MARTINS, 2006; HÖTTECHE; SILVA, 2010; HODSON, 2014; PINTO; SILVA; FERREIRA, 2017).

Dentre as contribuições que o uso da abordagem histórica da ciência pode trazer para o ensino de física, estão a humanização das ciências, conectando-as com preocupações pessoais, éticas, culturais e políticas; tornar as aulas mais desafiadoras e estimular o desenvolvimento de habilidades e pensamento crítico; promover uma compreensão mais profunda e adequada dos próprios conteúdos científicos; melhorar a formação dos professores, auxiliando-os numa compreensão mais rica e autêntica da ciência; ajudar os professores a apreciar melhor as dificuldades dos estudantes, alertando para as dificuldades históricas no desenvolvimento do conhecimento científico; e promover nos professores uma compreensão mais clara de debates contemporâneos na área de educação com um forte componente epistemológico (MATTHEWS, 1994; MARTINS, 2006).

Como apontado por Matthews (1995), um dos benefícios trazidos pela presença de HC no ensino de ciências é a possibilidade de entender a natureza da ciência (NdC). Praia, Gil-Pérez e Vilches (2007), destacam a importância de se ensinar sobre a NdC, sendo essa, uma das várias formas de buscar melhorar o ensino de ciências, em que o estudante, ao se compreender enquanto cidadão, pode e deve tentar entender e participar de decisões tecnocientíficas.

Além disso, é importante a superação das visões distorcidas da NdC no ensino de ciências. Segundo Praia, Gil-Pérez e Vilches (2007), existe uma necessidade de incluir aspectos essenciais numa investigação científica e que podem favorecer uma melhor aprendizagem, não memorizada dos estudantes, com sua participação na construção do conhecimento científico.

Devemos nos atentar aos aspectos culturais, sociais, e morais que são intrínsecos a NdC, buscando quebrar visões distorcidas, que mostram a ciência distante de interesses e conflitos. Dessa forma, o uso da NdC (e tecnologia) contribui para o enriquecimento do ensino de ciências, desde que a prática do ensino não se limite à exposição de conceitos científicos (PRAIA; GIL-PÉREZ; VILCHES, 2007).

A HC pode mostrar aos estudantes que a ciência é mutável, e assim, dependendo de contextos históricos e culturais, desconstruindo mitos e “gênios”, dessa forma, apontando que o conhecimento científico é suscetível de transformações (CHICÓRA; CAMARGO; TOPPEL, 2015). Portanto, existem diferentes maneiras de abordar a história da ciência em sala de aula. Aqui, utilizaremos a abordagem histórico-investigativa, conforme apresentaremos a seguir.

2.2. Abordagem histórico-investigativa e o ensino de ciências

A área de ensino de ciências contempla, entre outras coisas, a aprendizagem sobre ciências, a compreensão de sua natureza e de aspectos relacionados às suas práticas. Essa multiplicidade de dimensões é refletida nas pesquisas que buscam esclarecer o que e como abordá-las em sala de aula. Nesse contexto, o ensino investigativo (EI) vem sendo considerado uma alternativa de maneira que alguns dos objetivos para o ensino de ciências sejam contemplados.

Abd-EL-Khalick et al. (2004) elencam três dimensões que devem ser observadas para a promoção de ensino investigativo: uma dimensão envolve os

tipos de conhecimentos conceitual, de resolução de problemas, social e epistêmico; outra considera uma série de atividades relacionadas à investigação, como a proposição de problemas, coleta de dados, construção de modelos, a comunicação e negociação de afirmações e a ampliação de novas perguntas e soluções; e a terceira dimensão refere-se a um conjunto de habilidades matemáticas, linguísticas, manipulativas, cognitivas e metacognitivas para facilitar o engajamento dos alunos nas investigações.

Os autores trazem ainda a importância de que se desenvolva um olhar que considere os diferentes entendimentos epistemológicos sobre a natureza da ciência, para além da investigação científica (ABD-EL-KHALICK et al., 2004). Essa interação pode ser feita pela associação da abordagem investigativa com a HC, na chamada abordagem histórico-investigativa (HI).

Além de se basear na moderna historiografia da ciência, a abordagem histórico-investigativa está associada ao ensino investigativo e à utilização de instrumentos e experimentos de cunho histórico que podem promover a contextualização do ensino, o desenvolvimento de habilidades de investigação e a compreensão do fazer científico (KLASSEN, 2006; CARVALHO, 2013; HEERING, HÖTTECKE, 2014; BATISTA; SILVA, 2018). Heering e Höttecke (2014) elencam algumas ênfases que são consideradas importantes na abordagem histórico-investigativa:

- Contextualização da ciência com sua história e filosofia;
- Ênfase nos materiais, aspectos sociais e / ou culturais da ciência;
- Possibilidade de ensinar e aprender sobre “natureza da ciência” (NDC);
- Explorações práticas, mais ou menos guiadas, dos estudantes sobre fenômenos naturais ou técnicos;
- Investigações dos estudantes em atividades de pesquisa relacionadas à ciência do passado;
- Reflexões críticas dos estudantes sobre suas próprias ações e aprendizado, bem como estimular suas habilidades de raciocínio;
- Utilização de aspectos da HC para permitir que os estudantes deduzam seu próprio significado de suas experiências com entidades materiais e suas manipulações e vice-versa.

A abordagem HI visa, portanto, associar esses diferentes campos do conhecimento, buscando que os estudantes possam discutir problemas científicos,

construir modelos, comunicar e propor explicações, refletir sobre resultados de investigações e posicionar-se criticamente acerca de questões internas e externas à ciência, além de desenvolverem habilidades de raciocínio (HEERING; HÖTTECKE, 2014).

Conforme o objetivo dessa pesquisa, buscamos trazer para a proposta didática alguns dos elementos citados acima, de maneira à auxiliar o professor ou a professora no uso de atividades com a abordagem histórico-investigativa. No intuito de diminuir os problemas historiográficos na transposição para a sala de aula da educação básica, levamos em consideração os parâmetros propostos por Forato (2009) e discutiremos brevemente no próximo tópico.

2.3. Dimensões do uso didático de episódios históricos

Como vimos, existem diferentes possibilidades e contribuições para a introdução da história da ciência no ensino de ciências. Ao se debruçar no estudo de um episódio histórico, com o intuito de transformá-lo didaticamente, o professor ou a professora precisa levar em consideração as recomendações para o uso adequado da história, e ainda possibilitar que seja acessível ao público do ensino médio.

Isso porque, na maioria das vezes o material que trata da HC é bastante hermético e requer conhecimentos específicos da área que muitas vezes não são do domínio do professor ou professora que não passaram por formação específica. Ao mesmo tempo, se considerarmos a urgência de que o ensino de física passe por uma reforma que possibilite ao alunado fazer uso crítico dos conhecimentos envolvidos nessa ciência, é preciso um esforço para que seja viabilizado, com o mínimo de deturpações e equívocos, a inserção de conteúdos não epistêmicos na sala de aula da educação básica.

Preocupados com essa questão, pesquisadores vêm se envolvendo em pesquisas que lidam com a relação entre as contingências da educação básica e o uso adequado da HC. Entre elas, temos a pesquisa de Forato (2009) que aponta alguns parâmetros que auxiliam na escolha e planejamento de aulas com abordagem histórica no ensino. Ao todo, a autora propõe vinte parâmetros que, de maneira resumida, apontam a necessidade de que sejam definidos de maneira clara os objetivos para cada escolha dos conteúdos históricos, as lacunas existentes no contexto em que serão aplicadas, as escolhas do que será discutido e/ou omitido e

analisar como isso pode afetar nas visões de ciência e do trabalho científico que será levado para a sala de aula.

Tomamos isso como ponto de partida e esclarecemos que a leitura e decisões relacionadas ao episódio histórico que será trabalhado é particular de cada docente. Qualquer sugestão, indicação e/ou proposição que resulta desta e de outras pesquisas devem ser entendidas como possibilidades que serão recriadas e reestruturadas de acordo com as intenções e objetivos didáticos de cada profissional docente.

Agora, pensando nas escolhas dos objetos de conhecimento que irão configurar o planejamento, vamos nos basear na concepção de que sendo o contexto histórico sempre complexo e multifacetado, desde que as orientações sobre o uso adequado da HC sejam contempladas, todas as informações podem ser importantes para se discutir em sala de aula. Nesse sentido, os aspectos epistêmicos e não epistêmicos da ciência deveriam ser tratados de maneira integral, possibilitando que o tema trabalhado seja contemplado sob diferentes perspectivas. Essa concepção é proposta por Allchin (2013), ao que ele chamou de ciência integral (Whole Science, em inglês).

Allchin (2013) propõe que o episódio histórico seja trabalhado a partir do que considera dimensões de confiabilidade do conhecimento científico. São elas a dimensão conceitual, envolvendo teorias e conceitos presentes na época e tratados diacronicamente; dimensão observacional, que considera todos os elementos relacionados ao processo de experimentar, mensurar, analisar dados, relacionar com as teorias, quando essas existirem, etc.; e a dimensão sociocultural, que volta o olhar para os condicionantes sociais, políticos e culturais, ou também chamado de extracientíficos, que afetam diretamente ou indiretamente o desenvolvimento das ciências.

Dessa maneira, desenvolver um projeto, ou plano didático, que associe a HC com a investigação é um desafio para o professor/professora pois precisam criar um cenário didático que envolva algum problema que será discutido e investigado pelos estudantes de maneira livre e ampla, orientado pelo material histórico.

Uma dificuldade que precisa ser levada em consideração é que nem todos os episódios históricos irão permitir que sejam realizados experimentos físicos e, quando possível, a precisão histórica nem sempre poderá ser alcançada pela dificuldade de encontrar os materiais utilizados nos experimentos originais, o que

pode resultar na necessidade de uma adaptação. Usamos nessa pesquisa a concepção de que atividades práticas serão consideradas qualquer ação que materialize uma demanda no processo investigativo que tenha relação com aspectos observacionais do tema estudado. Por exemplo, a construção de relatórios com conclusões a partir da análise das descrições dos aparatos experimentais e de seu uso, presentes nos relatos dos trabalhos dos personagens do episódio histórico, quando esses não forem passíveis de reprodução, é considerado uma atividade prática.

Tanto na construção da narrativa, quando na proposta do projeto didático, foram levados em consideração a possibilidade de que as diferentes dimensões de confiabilidade de Allchin (2013) fossem exploradas no curso da investigação. Elas se materializaram na forma de problemas investigativos e de questões pontuais descritos nas propostas didáticas. A seguir, apresentaremos a narrativa que produzimos com foco nos métodos que levaram à definição da radioatividade.

3. EPISÓDIO HISTÓRICO

O episódio a seguir trata de como ocorreu a descoberta da radioatividade, mostrando de forma contextualizada os métodos utilizados para estudar materiais que supostamente poderiam emitir algum tipo de radiação invisível. Serão abordados os métodos utilizados para estudar os fenômenos envolvidos, assim como, alguns cientistas, o contexto social, político e cultural do fim do século XIX e início do XX.

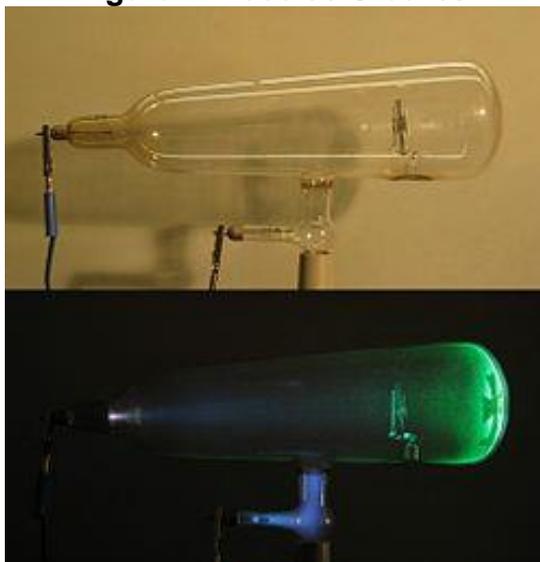
A descoberta da radioatividade, assim como outras descobertas, só ocorreu pelo fato de que vários cientistas estavam estudando outros fenômenos. Não estou afirmando que a descoberta da radioatividade foi por acaso, mas, foi graças às contribuições de vários cientistas que houve de fato a descoberta.

Iremos contextualizar a história focando nos métodos utilizados para os estudos. Veremos, que alguns deles não foram totalmente eficazes para o processo de descoberta, admitindo hipóteses e confirmações errôneas. Após o aperfeiçoamento dos mesmos, as pesquisas levaram a observações e interpretações mais coerentes do fenômeno.

O tubo de Crookes e a descoberta dos raios catódicos

O processo de descoberta teve início em meados de 1850, nessa época era comum a fabricação e comercialização de bombas de vácuo. Foi quando Geissler (1814-1879), desenvolveu uma bomba de mercúrio capaz de produzir baixas pressões da ordem de 10^{-4} atmosferas, podendo ser utilizado para estudar o comportamento de gases rarefeitos. Quando esses gases eram submetidos a descargas elétricas de alta tensão conseguia-se produzir uma luminosidade no gás. Julius Plukcer (1801-1868), observou que algo produzido a partir dessas descargas com pressões cada vez menores, conseguia deixar a parede do tubo de vidro luminescente (MARTINS, 1998).

Figura 1: Tubo de Crookes.



Fonte: https://pt.wikipedia.org/wiki/Tubo_de_Crookes

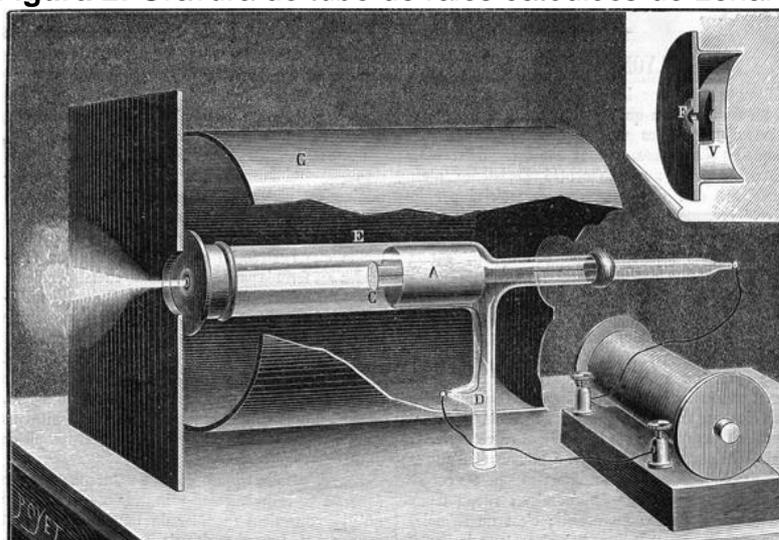
A figura 1 representa um tubo de Crookes que ao ser ligado, pode-se observar uma coloração esverdeada. Isso ocorre pelo fato de que os raios catódicos podem ionizar o gás rarefeito, tornando-o luminescente.

Johann Wilhelm Hittorf (1824-1914), aluno de Plucker, observou que ao colocar um objeto dentro do tubo aparecia uma mancha escura no vidro. Isso o fez concluir que se tratava de algo que era emitido pelo cátodo, em linha reta na direção do vidro, ao que chamou de “raios de brilho”. Posteriormente começou a ser chamado de raios catódicos, pelo fato de que os raios eram emitidos a partir dos cátodos que ficavam dentro do tubo, futuramente o aparelho passou a ser chamado de tubo de Crookes. Alguns pesquisadores, acreditavam que os raios catódicos eram ondas transversais que poderiam ser desviadas a partir de campos magnéticos. Jaumann (1863-1924), sugeriu que os raios eram ondas longitudinais; sua hipótese era justificada pela teoria de Maxwell, aplicada em meios materiais (MARTINS, 1998).

Henri Poincaré (1854-1912), acredita que a propagação dessas ondas seria sempre ao longo de linhas de força elétrica. Em 1895, Jean Perrin (1870-1942), mediu a carga elétrica emitida pelos raios catódicos, e concluiu que eram cargas negativas; desta maneira, no mesmo ano, pesquisadores ingleses começaram a defender a ideia de que os raios catódicos são um fluxo de partículas de carga elétrica negativa, hoje sabemos que são um fluxo de elétrons (MARTINS, 1998).

Heinrich Hertz (1857-1894), estudou esse fenômeno e concluiu que os raios catódicos podiam atravessar folhas finas de metal. Seu aluno, Philipp Lenard (1862-1947), desenvolveu um outro tubo em que os raios catódicos podiam passar por uma janela pequena de alumínio, dessa forma, poderia estudar os efeitos dos raios catódicos no ar. Ele observou que os raios tinham a capacidade de descarregar um eletroscópio, posto a poucos centímetros do tudo, além da capacidade de sensibilizar chapas fotográficas (MARTINS, 1998).

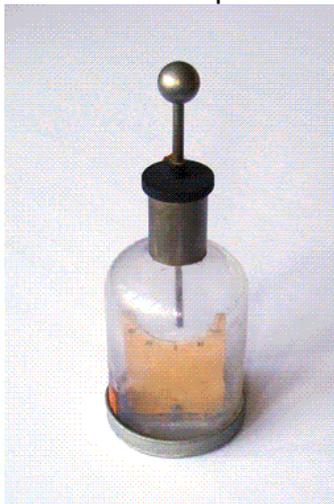
Figura 2: Gravura do tubo de raios catódicos de Lenard.



Fonte: Schirmacher (2002)

O eletroscópio é um instrumento que tem como objetivo identificar se um corpo está carregado ou não; ao aproximar um objeto carregado da esfera que fica no topo do aparelho. Logo abaixo da haste existem duas folhas de alumínio que irão se repelir ou se atrair quando carregadas ou descarregadas.

Figura 3: Eletroscópio de folhas.



Fonte: <http://physicsvirtuallmuseum.ufop.br/electrostatics/eletroscopio-de-folhas-de-aluminio.html>

Foi graças aos estudos dos raios catódicos, principalmente os de Hertz e Lenard, que possibilitou com que Roentgen fizesse sua pesquisa ocasionando na descoberta dos raios x.

A descoberta dos raios X e o método usado para detectá-los

Wilhelm Conrad Roentgen (1845-1923), foi um físico experimental que trabalhou, entre outras coisas, na investigação da eletricidade em vários materiais, tendo especial interesse por fenômenos que envolviam a influência das altas pressões em cristais e líquidos (MARTINS, 2012).

Roentgen estava interessado no efeito dos raios catódicos nos tubos de vácuo, especialmente aqueles tratados nos trabalhos desenvolvidos por Hertz e Lenard. Por volta de 1894, quando teve acesso aos materiais e instrumentos necessários, fez alguns dos experimentos já conhecidos e obteve resultados positivos na detecção de raios catódicos no ar e no hidrogênio. No entanto, precisou interromper suas pesquisas nessa área provavelmente por ter assumido outras responsabilidades na universidade em que trabalhava, retomando-as por volta de 1895 (MARTINS, 2012).

Na versão do tubo apresentada por Roentgen, ele cobriu o tubo de Crookes com uma blindagem preta, pois, provavelmente queria observar fracas luminosidades, já que podia observar um fraco brilho em materiais luminescentes. Ao ligar o aparelho, observou que em um pedaço de papel contendo platino-cianeto

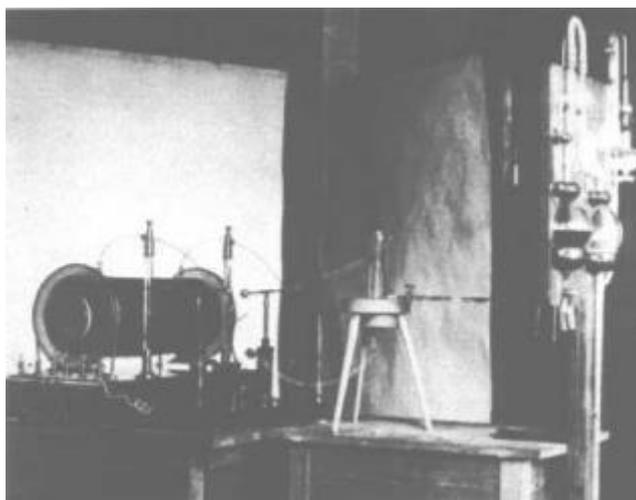
de bário, surgia silhueta escura, esse papel estava em cima de uma mesa distante do tubo de Crookes.

Roentgen sabia que os raios catódicos não tinham a capacidade de atravessar o tubo de Crookes por uma longa distância, dessa forma, ele deduziu que se tratava de um novo fenômeno. Com alguns experimentos, pode-se verificar que esses novos raios não ocorriam polarização, reflexão e interferência, já que nos raios catódicos ocorrem esses fenômenos.

O próximo passo que Roentgen seguiu foi o de tentar descobrir as propriedades básicas daquele novo fenômeno, portanto, durante semanas buscou determiná-las até conseguir êxito. Após refazer os experimentos, ele se depara com novas evidências.

Segundo Martins (2012, p. 64), Roentgen conclui que os novos raios, tem a propriedade de se propagar em linha reta, além de poder atravessar diversos materiais como, livros, madeira e placas de metal. Também foi observado que os raios eram absorvidos pelo chumbo. Essa radiação, podia excitar chapas fotográficas. Por conseguinte, Roentgen sugere que esses raios seriam ondas longitudinais do éter¹.

Figura 4: Laboratório de Roentgen.



Fonte: (MARTINS, 1998, p. 379).

¹ Segundo Martins (2012), Roentgen deduz que pode existir uma relação entre os raios x e os raios de luz, por conta da formação de sombras e pela luminescência. Ele afirma que já é de conhecimento a possível existência de ondas longitudinais no éter, embora não tenha sido comprovado. Dessa forma, ele cria a sua hipótese de que os raios x são ondas longitudinais do éter. Hoje em dia, é de nosso conhecimento que isso não existe.

De maneira geral, as características dos raios X encontradas por Roentgen e comparado com os fenômenos já conhecidos, de acordo com Martins (2012, p. 54), são:

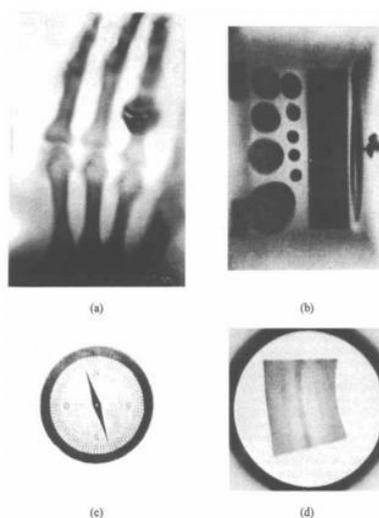
Figura 5: Modelos esquemático das primeiras conclusões de Roentgen.

| Novo fenômeno | Luz(visível) | Radiação ultravioleta | Raios catódicos |
|--|---------------------|------------------------------|------------------------|
| Produzido quando o tubo de Crookes é ligado | = | = | = |
| Produz um brilho no papel com platino-cianeto de bário | = | = | = |
| Produz sombra (caminha em linha reta) | = | = | = |
| Atravessa o vidro do tubo e o papelão que o envolve | ≠ | ≠ | ≠ |
| Produz efeitos a grandes distâncias (2 metros) da origem | = | = | = |

Fonte: Martins (2012, p.54)

Após fazer essas conclusões, Roentgen manda para a publicação o seu trabalho, ainda no natal de 1895. De acordo com Martins (2003; 2012), após mandar o trabalho para publicação, ele mesmo pega algumas separatas e envia para seus amigos, junto ainda lhes mandou algumas fotografias(radiografias) da mão de sua esposa Bertha Roentgen, e outros objetos que havia radiografado (Figura 6).

Figura 6: Radiografias feitas por Roentgen em 1895: (a) ossos das mãos de sua esposa, Bertha, com dois anéis no dedo médio; (b) caixa de madeira contendo pesos de balança; (c) bússola, com caixa metálica (com escala em tinta metálica); (d) amostra de metal (zinco) mostrando irregularidades.



Fonte: Martins (1998, p. 380).

Após a publicação de seu trabalho, existiu uma grande repercussão, tanto pelos jornais da época, como também, pelos cientistas; as pessoas ficavam fascinadas com o que chamamos hoje de radiografia, que é a imagem de ossos de pessoas vivas graças aos raios X. Na época eram chamados de raios de Roentgen. Muitas pessoas queriam fazer radiografia e, pouco tempo depois, começou a se pensar no seu uso na medicina. Mais tarde, em 1901, Roentgen ganhou o prêmio Nobel (MARTINS, 2012).

Nessa época, o método utilizado para detectar os raios X consistia na capacidade que eles tinham de excitar chapas fotográficas. Porém, ao longo do tempo, foi observado que esse método não era muito eficaz, pois poderia sofrer influência da umidade, da luz e até mesmo da química dos materiais utilizados.

Hoje a radiografia é muito utilizada nos hospitais e clínicas. De fato, a descoberta de Roentgen foi de extrema importância, não só para a utilização em hospitais, mas também pela enorme contribuição na descoberta da radioatividade. Na época, não demorou muito para começarem a construir laboratórios de radiografia.

De acordo com Martins (2012), após alguns meses, observou-se queimaduras e queda de cabelo em pacientes submetidos à radiografia, por conta das altas doses de radiação e do longo tempo de exposição. Por ser algo novo, não se tinha conhecimento dos riscos e dos cuidados necessários para fazer uma radiografia de forma segura. Nos primeiros anos de pesquisas e aplicações, mais de 300 pessoas morreram por conta do excesso de radiação.

Como resultado da repercussão do trabalho de Roentgen pelos cientistas e jornais da época, Poincaré apresentou a seus colegas da academia de ciências de Paris a descoberta de Roentgen.

O próprio Poincaré refez os experimentos realizados por Roentgen e observou quando os raios X atingiram o tubo de Crookes. O vidro se tornava fluorescente, levando-o a conjecturar que os raios X tem uma relação com a luminescência; ele acreditou que corpos com uma luminescência intensa poderiam emitir raios X e, assim, descartando uma relação elétrica na emissão. Essa hipótese ficou conhecida como “Conjetura de Poincaré”.

Até esse momento da história, o método utilizado por Roentgen e outros cientistas para detectar a existência dos raios X era por meio da utilização de uma chapa fotográfica.

A radiação dos corpos luminescentes e o método da chapa fotográfica

Em 1896, houve várias sessões da academia de ciências de Paris nas quais vários cientistas publicaram trabalhos sobre pesquisas realizadas a respeito dos raios X. Dentre eles, Moreau afirmou que os raios X eram emitidos pela descarga elétrica de alta voltagem de uma bobina de indução descartando, desta forma, a relação dos raios catódicos.

Os estudos sobre a fosforescência de diversos materiais iniciaram-se por conta da conjectura de Poincaré. Vários cientistas estudaram a possível emissão de raios X a partir de objetos que tinham a capacidade de emitir algum tipo de luz brilhante, como os raios catódicos que tinham uma coloração amarelo-esverdeado. Para detectá-los, utilizou-se o método da chapa fotográfica.

Dentre as várias pesquisas que ocorreram, vários cientistas trabalharam na possível emissão de raios X de diversos minerais e até a possível emissão pelo açúcar. Além disso, houve pesquisas utilizando a luminescência de diversos animais, como moluscos e vagalumes, que conseguiram sensibilizar chapas fotográficas. Mas logo depois todas essas possíveis emissões foram contestadas.

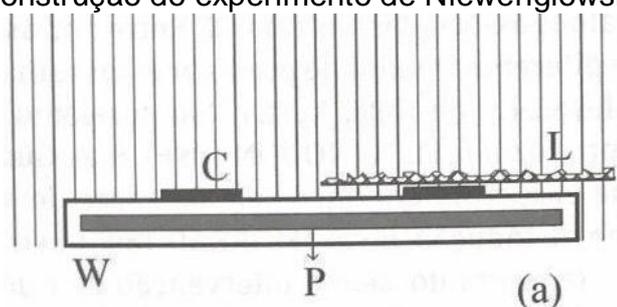
Charles Henry, um membro da academia de ciências de Paris, testou se o sulfeto de zinco fosforescente era capaz de aumentar a emissão dos raios X; após cobrir parte de um objeto metálico com uma camada de sulfeto de zinco, ele observou que a radiografia de tal objeto era até mais forte se comparada com a

outra metade que estava sem o sulfeto de zinco. Assim, concluiu que a radiografia era mais nítida por conta do material fosforescente (MARTINS, 1990).

Uma semana após as afirmações de Henry e Niewenglowski, utilizando sulfeto de cálcio que é um material fosforescente, fez novos experimentos com esse material e confirmou os resultados de Henry (MARTINS, 2012).

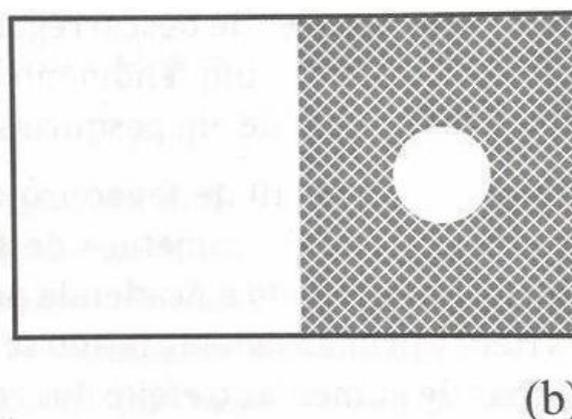
Conforme as figuras abaixo, o esquema do experimento realizado por Niewenglowski envolvia: uma placa fotográfica embrulhada (P) papel opaco (W) (Figura 6). Nela ele colocou duas moedas (C) sobre o papel opaco, e uma placa de vidro contendo sulfeto de cálcio fosforescente (L) cobrindo metade da placa. Depois da exposição à luz do sol, a metade da placa que continha o pó de sulfeto de cálcio tornou-se escura, com um círculo claro, correspondendo à moeda (Figura 7).

Figura 7: Reconstrução do experimento de Niewenglowski - vista lateral.



Fonte: Martins (2012, p. 98).

Figura 8: Reconstrução do experimento de Niewenglowski – visto de cima.



Fonte: Martins (2012, p. 98).

Niewenglowski vai mais além: após deixar o sulfato de cálcio sobre a luz do sol, e em seguida deixá-lo em um local escuro, pôde observar que tinha os mesmos

resultados; assim, concluiu que mesmo no escuro o material fosforescente era capaz de sensibilizar chapas fotográficas.

As chapas fotográficas não eram muito sensíveis aos raios X de menor comprimento de onda, que chamamos de raios X “duros”; os raios X de comprimento de onda maior, chamamos de raios X “moles”. As chapas fotográficas eram muito sensíveis aos raios X “moles” e isso pode ter influenciado nas conclusões de Henry e Niewenglowski (MARTINS, 2012).

Outro resultado foi descrito por Piltchikof que afirmou que ao colocar um material fosforescente no local onde os raios catódicos colidem com a parede de vidro do tubo de Crookes, pode-se observar um grande aumento de emissão de raios X. Desta forma, era possível fazer uma radiografia em apenas 30 segundos, diferente de antes, que para fazer uma radiografia demorava-se vários minutos, ou mesmo horas (MARTINS, 1990).

Dessa maneira, a conclusão de Piltchikof foi extremamente importante para o avanço tecnológico e social da época, fazendo com que a radiografia fosse mais eficiente e rápida. Isso pode ter ajudado a salvar muitas vidas, já que a exposição prolongada aos raios X é nociva.

A conjectura de Poincaré contribuiu para a melhoria das aplicações dos raios X, tanto no avanço tecnológico como na saúde das pessoas, mesmo que ainda não soubessem disso. Hoje em dia sabemos que não existe relação entre os raios X e a luminescência.

Após a conjectura de Poincaré, Antoine Henri Becquerel (1852-1908), decidiu estudar se minerais fosforescentes e luminescentes poderiam emitir raios X.

Becquerel pertencia a uma família de cientistas; seu avô e seu pai fizeram vários estudos sobre fenômenos elétricos, magnéticos, radiação ultravioleta, fenômenos fosforescentes e fluorescentes (MARTINS, 1990).

Influenciado por sua família, Becquerel fez vários estudos sobre fenômenos pertencentes à óptica. Entre 1882 e 1887 ele fez vários trabalhos sobre fosforescência invisível (também chamado de hiperfosforescência) de vários materiais, incluindo sais de urânio.

Figura 9: Pepita de urânio.



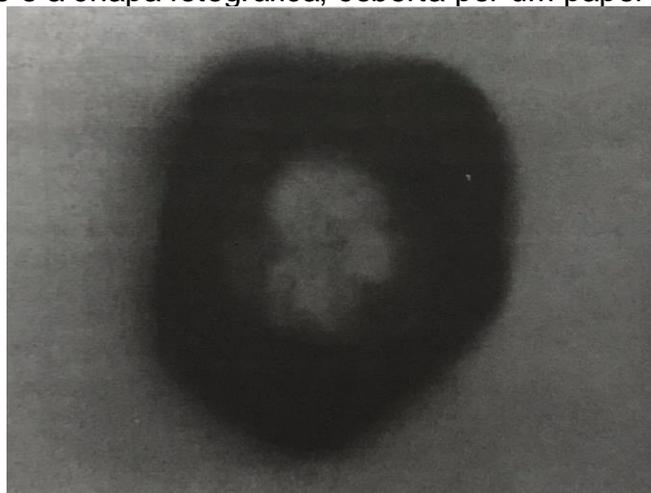
Fonte: <https://www.istockphoto.com/br/foto/tr%C3%AAs-ur%C3%A2nio-minerais-de-zaire-3-8-cm-de-largura-gm487834501-39037208>

Influenciado² pela conjectura de Poincaré, Becquerel decide estudar sobre os raios x e a possível emissão desses raios a partir da fosforescência de vários materiais incluindo sais e sulfato duplo de urânio e potássio. Martins (1990), destaca que após dois meses da publicação de Roentgen, Becquerel apresenta o seu primeiro trabalho refazendo os experimentos de Niewenglowski, mudando apenas o material fosforescente utilizando sulfato duplo de urânio e potássio.

Becquerel confirma a conjectura de Poincaré, após observar que o material utilizado também tinha a capacidade de sensibilizar chapas fotográficas.

Logo abaixo, na figura 10, temos uma fotografia obtida por Becquerel.

Figura 10: Fotografia obtida por Becquerel, utilizando uma moeda entre o sal de urânio e a chapa fotográfica, coberta por um papel opaco.



Fonte: Martins (2012).

² Existem controvérsias, mas o presente autor está de acordo com as alegações feitas por Martins (2012).

Na mesma época, Arsène d'Arsonval (1851-1940), afirma ter produzido radiografias utilizando uma lâmpada fluorescente ao colocá-la sobre o material que pretendia radiografar. Essa lâmpada continha sal de urânio, segundo ele, todos os corpos que emitem luz amarelo-esverdeada fluorescente, também emitem radiações capazes de sensibilizar chapas fotográficas.

Becquerel apresentou o seu segundo artigo, onde afirma ter feito novas observações com o sulfato duplo de urânio e potássio, após comparar a radiação produzida pelos raios x com a do sulfato duplo de urânio; concluindo que essa radiação penetra de forma diferente em outros materiais. Ele relata em seu artigo como fez o experimento que concluiu essas observações, havia preparado o mesmo experimento, porém, o sol apareceu apenas de modo intermitente, então decidiu guardar o objeto de estudo já pronto em uma gaveta escura, alguns dias depois, pegou a chapa fotográfica que estava na gaveta e ao revelar esperando encontrar uma imagem muito fraca, acabou encontrando uma silhueta nítida causada pelo sal de urânio (BECQUEREL, 1896, p. 502 apud MARTINS, 2012, p. 108).

Ao repetir os experimentos, colocando dentro de uma caixa com papel opaco, depois dentro de outra caixa e, em seguida, colocando essa caixa em um quarto escuro, obteve resultados ainda melhores com imagens mais nítidas. Ele conseguiu fazer mais observações sobre os compostos de urânio, deduzindo que a radiação emitida pelo urânio se tratava de uma fosforescência invisível ou também chamada de hiperfosforescência (MARTINS, 1990).

Becquerel observou que os sais de urânio, mesmo depois de passar 7 dias no escuro, ainda consegue sensibilizar chapas fotográficas. Em outro trabalho utilizou compostos de urânio que não são luminescentes, conseguindo observar os mesmos efeitos. Outras observações feitas com os compostos de urânio, sendo luminescentes ou não, tinham a capacidade de emitir essa radiação, encontrando uma emissão ainda mais forte no urânio metálico (MARTINS, 1990).

Na época, era difícil conseguir os compostos de urânio, dessa maneira, poucos cientistas fizeram pesquisas sobre essa hiperfosforescência de Becquerel. Além disso, nada em relação à natureza dos raios emitidos pelo urânio, tinha sido estabelecido.

O método elétrico e a descoberta de novos elementos radioativos

Joseph John Thomson (1856-1940), juntamente com McClelland e Ernest Rutherford (1871-1937), fizeram um estudo qualitativo e propuseram que os raios X podem romper as moléculas neutras do ar, produzindo nesse processo íons positivos e negativos, fazendo o ar ser capaz de conduzir eletricidade. Mas, por causa dos sinais opostos, esses íons acabam se recombinando e tornando o ar isolante novamente (MARTINS, 2003).

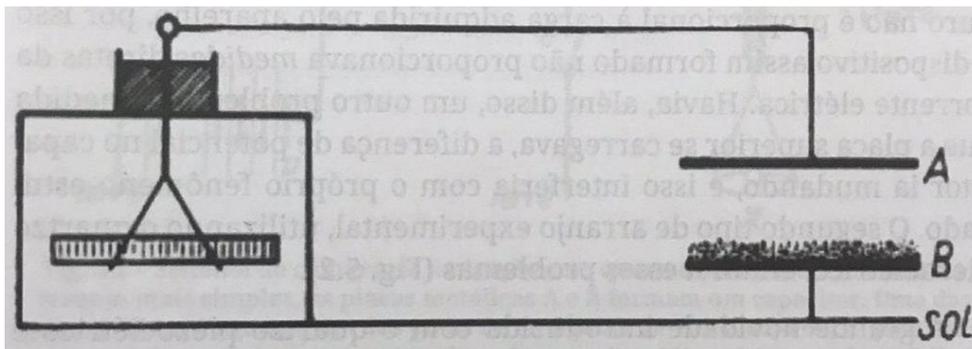
O novo método consistia em observar se uma determinada substância poderia ou não ionizar o ar; com isso, fazendo existir um fluxo elétrico. Pode-se considerar que foi um aperfeiçoamento do estudo elétrico dos raios X, feito do J.J. Thomson e seus colegas.

O estudo utilizando o método elétrico era muito mais eficaz que o método da chapa fotográfica, pois consistia em medir o fluxo elétrico ao invés da sensibilização do material que recobria a chapa fotográfica. Georges Sagnac (1869-1928), ao estudar sobre os raios X, notou que ao colidir com esses raios em uma placa metálica, eram emitidos raios secundários, chamados de raios S; que produziam uma forte ionização no ar; além disso, podiam ser absorvidos de forma mais fácil comparado com os raios X. Sagnac também observou que os raios secundários tinham fortes efeitos sobre chapas fotográficas e eletroscópios.

Gerhard Carl Nathaniel Schimidt (1865-1949), utilizando o método elétrico, constatou que vários materiais luminescentes comuns, não tinham a capacidade de ionizar o ar; portanto, concluiu que não emitem radiação ionizante. Ele também observou que todos os compostos do urânio, tinham a capacidade de ionizar o ar; procurou por novos materiais que tivessem a capacidade de ionização, encontrou que o tório tinha essa propriedade.

De acordo com Martins 2012, o esquema da aparelhagem do método elétrico utilizado por Schimidt, tinha a seguinte forma:

Figura 11: Esquema da câmara de ionização.



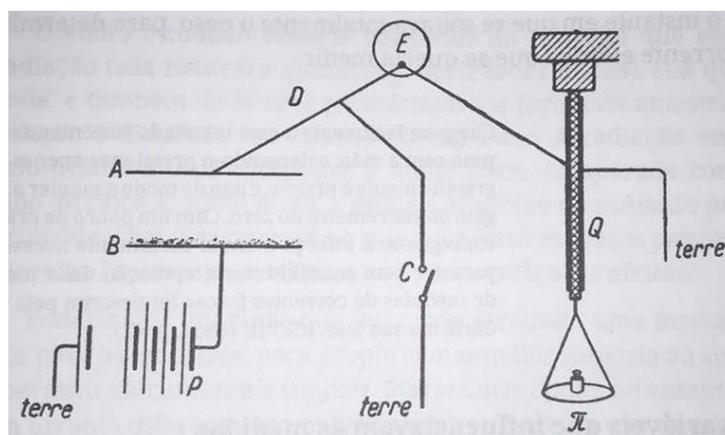
Fonte: Martins (2012, p. 253).

As placas metálicas A e B formam um capacitor, sendo uma das placas ligadas à terra (sol) e a outra conectada às folhas de ouro de um eletroscópio. A blindagem externa do eletroscópio está também conectada à terra. O material que se deseja examinar é colocado dentro do capacitor, sobre a placa B. Nesse tipo de montagem, é fornecida inicialmente uma carga ao eletroscópio e à placa A, e observa-se a velocidade de descarga do capacitor pelo movimento das folhas de ouro na escala do eletroscópio (CURIE, 1900, p. 96 apud MARTINS, 2012, p. 253).

Podemos observar, que a utilização do método elétrico contribuiu para uma melhor verificação dos materiais, podendo excluir os materiais luminescentes que podiam sensibilizar chapas fotográficas, mas não ionizavam o ar; concluindo que não emitem raios X ou especificamente radiação ionizante.

Marie Sklodwska Curie (1867-1934), utilizando uma aparelhagem construída por seu esposo Pierre Curie (1859-1906), juntamente com seu irmão, e consistia na utilização do método elétrico utilizando um eletrômetro e um cristal piezoelétrico.

Figura 12: Câmara de ionização com cristal piezoelétrico.



Fonte: Martins (2012, p.255).

Sistema de câmara de ionização com quartzo piezoelétrico. Como no arranjo mais simples, as placas metálicas A e B formam um capacitor. Uma das placas (B) está ligada a um dos polos de uma pilha de volta, cujo outro polo está conectado à terra (terre). A outra placa do capacitor (A) está conectada às folhas de ouro de um eletroscópio (E). O eletroscópio pode ser conectado à terra, para se descarregar, através de um interruptor (C). O quartzo piezoelétrico (Q) pode ser tracionado por um peso colocado sobre um prato π . A tensão no quartzo produz o surgimento de cargas elétricas sobre suas superfícies opostas, que estão recobertas por folhas metálicas e conectadas, respectivamente, à terra e ao eletroscópio (CURIE, 1899, p. 42 apud MARTINS, 2012, p.255).

A utilização do cristal piezoelétrico, contribuiu para que a carga elétrica transmitida até a placa superior seja neutralizada, de modo que a pequena descarga do cristal faz com que o potencial dessa placa seja nulo. A carga elétrica produzida é proporcional ao peso do cristal, podendo-se saber a corrente elétrica produzida transmitida pelo ar (MARTINS, 2012).

De forma independente a Schmidt, Marie Curie publicou a descoberta da capacidade do tório de emitir radiação, ainda mais forte que o urânio, analisando diversos compostos de urânio. Ela concluiu que a intensidade da radiação ionizante emitida por eles era proporcional a quantidade de urânio ou tório, e a radiação tem relação com a estrutura molecular ou cristalina dos compostos. Em seu trabalho, Marie Curie afirma que a radiação dependia da quantidade de átomos do urânio (MARTINS, 1990; MARTINS, 2012).

A princípio, Marie Curie tinha formulado a hipótese da emissão secundária parecida com os raios x “moles” e os “duros”. Ela acreditava que a radiação do urânio podia ser explicada por essa hipótese e deduz a existência de uma radiação “cósmica”, onde só os materiais de grande peso atômico como o urânio e tório, tem a capacidade de absorver essa radiação e depois emití-la (MARTINS, 2003).

Utilizando a câmara de ionização, Marie Curie se dedica a busca por novas substâncias capazes de emitir radiações como o urânio e o tório recém descoberto. De acordo com Martins (2003), as substâncias investigadas por Marie Curie foram o cobre, zinco, chumbo, estanho, platina, ferro, ouro, paládio, cádmio, antimônio, molibdênio e tungstênio. Como não detectou nenhuma condutividade no ar, concluiu

que nenhuma dessas substâncias emitem radiação ionizante. Posteriormente, ela decide examinar a pechblenda.

A pechblenda é um material que em sua composição pode ser encontrado o óxido de urânio. Sabendo disso, Marie Curie decide verificar a emissão de radiações emitidas pelo mineral. Observou que a emissão de radiação ionizante era bem maior, comparado ao urânio metálico; onde Becquerel afirmava que a emissão de radiação é maior em relação a outros compostos do urânio.

Figura 13: Pechblenda



Fonte: <https://www.picuki.com/tag/Pechblenda>

Foi observado que a pechblenda e a calcolita (fosfato de cobre de uranila), eram bem mais ativas que o urânio metálico. Marie Curie concluiu que esses minerais podem conter algo ainda mais ativo que o próprio urânio (CURIE, 1898, p. 1002 apud MARTINS, 1990, p. 39).

De acordo com Martins (2003), a pechblenda contém em sua composição vários outros elementos incluindo o tório. Marie Curie refaz os experimentos utilizando o tório e conclui que ele emite radiação ionizante, faz também para o nióbio e conclui que não emite radiação.

Marie Curie usou a experimentação para deduzir quais materiais realmente poderiam emitir radiações. Ela percebe que no decorrer de seus experimentos e observações feitas, que o nióbio não emite radiações diferentemente do tório. De acordo com Martins (1990), como a radiação estudada não era mais um caso isolado que acontecia exclusivamente com o urânio, Marie Curie então dá o nome de radioatividade.

Os raios urânicos foram frequentemente chamados raios de Becquerel. Pode-se generalizar esse nome, aplicando-o não apenas aos raios urânicos, mas também aos raios tóricos e a todas as radiações semelhantes. Chamarei de radioativas as substâncias que emitem raios de Becquerel. O nome de hiperfosforescência, que foi proposto para o

fenômeno, parece-me dar uma falsa ideia de sua natureza (CURIE, 1899 apud MARTINS, 1990, p. 40).

Nesse momento, a hipótese da hiperfosforescência é desprezada por Marie Curie; ela nomeia o fenômeno e sugere que os materiais que emitem radiação ionizante sejam chamados de radiativos. Marie Curie utiliza um método de pesquisa que possa lhe auxiliar a determinar a existência de um novo elemento na pechblenda.

Martins (1990), destaca que Marie Curie se dedica totalmente ao seu trabalho tentando isolar uma nova substância, fazendo um trabalho totalmente de química analítica separando os compostos da pechblenda, testando um por um na câmara de ionização e separando as partes fracionadas que emitem radiação. Após um longo processo de separação, utilizando vários agentes químicos, o material ativo ficou ainda unido ao bismuto. Ela utilizou alguns processos de sublimação fracionada, e ainda assim, o novo elemento continuou unido ao bismuto. Pôde-se concluir que o elemento obtido era 400 vezes mais radioativo que o urânio puro.

Marie Curie juntamente com seu esposo Pierre Curie, afirmaram a possível existência do novo elemento, pois ainda não havia sido confirmado. Mesmo assim eles sugerem o nome desse novo elemento.

Creemos, portanto, que a substância que retiramos da pechblenda contém um metal ainda não identificado, vizinho ao bismuto por suas propriedades analíticas. Se a existência desse novo metal for confirmada, propomos dar-lhe o nome de polônio, nome do país de origem de um de nós. (CURIE & CURIE, 1898 apud MARTINS, 1999, p. 40,41).

Ela afirma não ter observado reflexão, refração e polarização da radiação do urânio, e ainda nega que a radioatividade pode ser intensificada quando o elemento é exposto ao sol. Ela acredita que a radioatividade é uma propriedade atômica (MARTINS, 1990).

De acordo com Martins (2012), os Curie foram obrigados a parar as pesquisas seguintes por motivos de saúde, segundo ele, não existem provas documentais que isso realmente tenha acontecido.

Ambos sofriam de fato uma fadiga inexplicável e leves, mas preocupantes problemas de saúde. Pierre sentia em todo o corpo certas dores que eram devidas, como ele explicava aos seus amigos, ao reumatismo. Eles haviam se tornado mais frágeis e pegavam doenças; eles se fatigavam depressão e deviam lutar contra uma letargia perpétua. Além

disso, as extremidades dos dedos de Marie se tornavam cada vez mais dolorosas à medida que ela manipulava mais substâncias purificadas. (REID, *Marie Curie derrière la légende*, p.90 apud, MARTINS, 2012, p. 301).

Obviamente, sabemos que a exposição prolongada a altas doses de radiação ionizante pode causar danos gravíssimos à saúde. Dessa forma, é bem provável que essa versão histórica realmente tenha ocorrido.

Ao retomar os trabalhos, buscando por outro elemento ainda mais radioativo como afirma Martins (2012), eles já sabiam da existência de algo ainda mais radioativo que o polônio, ainda junto do bário, após fazer todo o processo químico para separar, por meio de um árduo trabalho braçal com a ajuda de um auxiliar de laboratório e um dos chefes do laboratório chamado George Bémont, fizeram todo o processo analítico que resultou na descoberta de um novo elemento que deram o nome de rádio.

Durante os anos seguintes, Marie Curie se dedicou em tentar separar o rádio do outro material, um trabalho mais intenso e trabalhoso. Porém, conseguiu uma amostra do rádio quase puro, medindo o seu peso atômico e registrando um valor de 225 (MARTINS, 2012).

Marie Curie não definiu a natureza da radioatividade, não definiu o comportamento da radiação, apenas seguiu sua hipótese da emissão secundária, posteriormente, foi corrigida.

A natureza da radioatividade foi descrita inicialmente em 1899, por Rutherford. Ele conseguiu observar que o urânio era capaz de emitir dois tipos diferentes de radiação, uma das radiações observadas era penetrante, já a outra podia ser absorvida. Chamou de radiação α e β (MARTINS, 1990).

Em 1900, Villard (1860-1934), verificou que os raios emitidos pelo polônio não eram desviados por ímãs. Ele concluiu que existiam dois tipos de raios, o α com pouco poder de penetração, e outro γ tinha um poder muito mais de penetração que denominou raios γ . Só em 1903, que novas descobertas foram acontecendo sobre a carga elétrica dessas radiações e seus comportamentos (MARTINS, 1990).

Conforme foi mostrado, o processo de descoberta da radioatividade foi gradual, onde vários cientistas contribuíram para as descobertas posteriores. Não existe um único “descobridor” de tal fenômeno. A descoberta acontece de forma gradual, demorada e natural, com a existência de analogias e diferentes contribuições.

4. PROPOSTA DE PROJETO DIDÁTICO

Uma proposta didática, de maneira geral, tem como objetivo sugerir uma intervenção em sala de aula. Em sua estrutura encontra-se objetivos gerais e específicos, bem como os conceitos do conteúdo que irá ser abordado pelo docente, a proposta de avaliação e, por fim, o tempo necessário para cumprir o que é proposto.

No nosso caso, compreendemos que antes trata-se de uma proposta de projeto didático, ou seja, esperamos que diferentes possibilidades didáticas possam ser desenvolvidas a partir da proposta ensaiada aqui. Nomeado projeto porque pode ser desenvolvido como objeto de investigação, inter e transdisciplinarmente, ao longo de diferentes períodos letivos em acordo com o modelo em que a escola se enquadra, podendo ser de ensino integral e desenvolvido em espaços fora da disciplina de física, ou em escolas regulares no formato atual ou já pensando em itinerários formativos dentro do novo ensino médio.

Assim, a partir do episódio apresentado, propomos um conjunto de atividades que compõem isso que denominamos de projeto de investigação em que os professores e professoras podem envolver seus estudantes em atividades de pesquisa. Para tanto, trazemos algumas sugestões que podem ser adaptadas de acordo com o contexto em que será aplicado.

O primeiro passo é construir um cenário didático investigativo. Nosso cenário trata-se de dois grupos de pesquisa que estão discutindo os trabalhos dos recortes históricos que tratam da descoberta dos raios X, da conjectura de Poincaré e a radioatividade. Em todos os casos, os grupos serão considerados como um conjunto de pesquisadores que vivenciaram os primeiros momentos logo após cada um dos acontecimentos. Dessa maneira, são propostas 3 partes:

1. Os dois grupos irão buscar construir um relatório discutindo se os raios X se tratam, ou não, de um fenômeno novo.
2. A experiência da primeira etapa será importante para introduzir a etapa seguinte em que serão debatidos os argumentos a favor e contra a conjectura de Poincaré.
3. A partir do conjunto de conhecimentos acumulados, cada grupo irá apresentar uma explicação para o fenômeno da radioatividade: um grupo apoiando a

hipótese de que o fenômeno resultou do trabalho de Becquerel e o outro apoiando a hipótese de que na verdade foi resultado do trabalho de Marie Curie e colaboradores.

4.1. Parte 1 - RAIOS X: um novo fenômeno ou apenas uma propriedade dos fenômenos conhecidos?

O problema:

- O que Roentgen pretendia estudar com o tubo de Crookes?
- Havia fenômenos semelhantes?
- Como ele chegou à conclusão que teria descoberto um novo fenômeno?

Explicação do problema.

O objetivo de Roentgen ao fazer estudos com o tubo de Crookes era estudar o efeito dos raios catódicos em materiais luminescentes, ou seja, ele pretendia observar o fraco brilho nesses materiais. Por esse motivo, ele cobriu o tubo com uma cartolina preta. Feito isso, ao ligar o aparelho, ele percebeu que apareceu uma mancha escura em um pedaço de papel contendo platino-cianeto de bário. O papel estava em cima de uma mesa, distante do tubo, e foi observado que na chapa apareceu uma mancha escura.

Roentgen sabia que os raios catódicos não se propagavam por uma longa distância, apenas por alguns centímetros. Ele supôs que acabou de observar um novo fenômeno. A partir disso, começou a fazer estudos por meio de uma analogia do conhecido com o desconhecido: na época já eram conhecidas as propriedades da luz, os raios ultravioleta, infravermelho e raios catódicos.

Após fazer vários experimentos e fazendo analogias com as propriedades dos outros fenômenos, ele concluiu que o novo fenômeno se propaga em linha reta, por esse motivo ele os chama de raios. Além disso, ele também observou que não ocorriam polarização, reflexão e interferência; no caso dos raios catódicos essas propriedades eram observáveis.

O próximo passo seguido por Roentgen foi determinar as propriedades básicas dos raios, ou seja, buscar por fenômenos que só ocorreriam com os novos raios e não com os demais fenômenos. Fazendo isso, ele observou que os raios tinham a capacidade de atravessar diversos tipos de materiais, dos menos densos aos mais densos, como livros, madeira, e placas de metal.

Na época já era sabido que a luz assim como alguns materiais luminescentes, podia sensibilizar chapas fotográficas. Roentgen também observou que os raios sensibilizaram chapas fotográficas, mas de uma forma diferente: com os novos raios poderia fazer fotografias dos ossos de uma pessoa, que mais tarde foi chamado de radiografia. Após publicar sua descoberta, os novos raios foram chamados de raios de Roentgen, mas ficou mais conhecido como raios X.

Questões pontuais de discussão para sala de aula.

- A importância do conhecimento prévio e/ou analogias.
- O método de pesquisa utilizado por Roentgen para detectar os raios X
- O papel da experimentação.

Fontes e recursos de pesquisa para auxiliar os estudantes

- Sobre a história da descoberta dos raios x - https://www.if.ufrgs.br/tex/fis142/fismod/mod06/m_s01.html
- Material que pode ser produzido pelo próprio docente.
- Raios x e suas características - <https://mundoeducacao.uol.com.br/quimica/raios-x.htm>
- Características dos raios x e suas aplicações - <https://museuweg.net/blog/como-funciona-o-raio-x-descubra-sua-historia-e-suas-caracteristicas/>
- Raios catódicos - <https://www.portalsaofrancisco.com.br/fisica/raios-catodicos>
- História da radiação ultravioleta - <http://cienciaviva.org.br/index.php/2019/06/13/como-johann-ritter-descobriu-o-ultravioleta/>

- Platino-cianeto de bário - <http://dicionario.sensagent.com/platinocianeto%20de%20bario/pt-pt/>
- Processo de revelação de uma fotografia utilizando chapa fotográfica - <https://fotojornalismojf.wordpress.com/2013/05/29/video-mostra-como-funciona-o-processo-de-fotografia-em-chapas-de-colodio-umido/>

Proposta de atividade para os estudantes.

Os estudantes serão divididos em dois grupos. Cada grupo irá defender um posicionamento a respeito da descoberta dos raios x. Feito isso, terão que construir um conjunto de evidências trazendo características, fatos históricos e experimentais; que possam ajudar a esclarecer o seu posicionamento.

O(A) professor(a) indicará fontes e recursos de pesquisas para auxiliar os estudantes. Vale salientar, que as fontes de pesquisas mencionadas no subtópico **“fontes e recursos de pesquisa para os estudantes”** contêm erros históricos e/ou conceituais, isso é intencional. Parte da atividade consiste em comparar informações, características e acontecimentos. As evidências mais confiáveis podem ser encontradas no livro de Martins (2012), **“Becquerel e a descoberta da radioatividade: uma análise crítica.”** No capítulo 1, páginas 17 a 34.

Cada grupo, ao final das pesquisas feitas, irá preencher a seguinte tabela com o conjunto de características encontrados sobre: Raios x, luz visível, radiação ultravioleta e raios catódicos.

| AVALIAÇÃO | | | | |
|------------------------|----------------|---------------------|------------------------------|------------------------|
| CARACTERÍSTICAS | Raios X | Luz(visível) | Radiação ultravioleta | Raios catódicos |
| | | | | |
| | | | | |

O processo de preenchimento da tabela possibilitará aos estudantes a busca por características dos raios X de forma a demonstrar se são iguais ou diferentes aos fenômenos já conhecidos. Após o preenchimento, o professor deverá promover um debate para comparar as tabelas e verificar a existência de equívocos. Após essa etapa, os estudantes poderão retornar à fase de pesquisa para coletar novas informações e evidências quando persistirem divergências e falta de consenso.

Feito isso, os grupos irão apresentar suas tabelas e debater sobre os resultados obtidos. Desta forma, podem chegar a uma conclusão que precisa ser coerente com os objetivos da etapa do projeto que busca, entre outras coisas, identificar os raios X como sendo, realmente, um novo fenômeno. Quando isso não ocorre, é uma oportunidade de avaliar quais questões ainda necessitam ser trabalhadas e empreender novos momentos de investigação.

4.2. Parte 2- Iluminando a conjectura de Poincaré

O problema.

Como foi visto no episódio histórico, a conjectura de Poincaré consistia em que corpos com uma luminescência intensa poderiam emitir raios X. Desta forma, um problema que pode ser trabalhado na sala de aula são as evidências a favor e contra a conjectura de Poincaré.

Explicação do problema.

Logo após a conjectura de Poincaré, houveram diversas pesquisas sobre a possível emissão de raios X, pela luminescência. Como foi tratado no episódio histórico, o método da chapa fotográfica era utilizado para detectar os raios X. Esse método não era muito preciso, pois sofria interferência da química dos materiais utilizados, da luz visível e da umidade do ar.

As evidências a favor da conjectura de Poincaré eram justamente as afirmações da presença dos raios X em materiais luminescentes. Muitas delas estavam presentes nos estudos de Becquerel sobre os compostos de urânio, que enfatizavam a luminescência e fosforescência como agentes causadores da emissão dos raios X. O método da chapa fotográfica não era tão confiável pois, muitas vezes, era sensibilizada por conta da interferência e isso levava os cientistas a acreditarem que o material luminescente utilizado emitia raios X.

A contestação da conjectura de Poincaré ocorreu pela criação de um novo método para detectar os raios X, e a radiação emitida pelo urânio, que foi a construção de uma câmara de ionização. De acordo com o episódio histórico “Joseph John Thomson (1856-1940), juntamente com McClelland e Ernest Rutherford (1871-1937), fizeram um estudo qualitativo e propuseram que os raios X podiam romper as moléculas neutras do ar, produzindo nesse processo, íons positivos e negativos, dessa forma, fazendo o ar ser capaz de conduzir eletricidade”.

Após as contribuições feitas por Thomson e seus colegas, foi possível a construção dessa câmara que consistia em verificar se um determinado material poderia ionizar o ar ou não; caso ocorresse a ionização, o material emitiria os raios X ou a radiação do urânio. Desta forma, a criação de um método mais confiável contribuiu para o aprofundamento das pesquisas envolvendo os raios X e a radiação do urânio, que em seguida resultou na descoberta de novos elementos radioativos.

Questões pontuais de discussão na sala de aula.

- A utilização de qualquer material luminescente e animais na possível emissão de raios X.
- O método da chapa fotográfica e suas deficiências na detecção dos raios X.
- A capacidade dos raios x de ionizar o ar.
- O método elétrico e a construção da câmara de ionização.

Fontes e recursos de pesquisa para auxiliar os estudantes

- Da página 91 a 132, no capítulo 2, do livro de Martins (2012), ***“Becquerel e a descoberta da radioatividade: uma análise crítica.”***
- O que é ionização? - <https://brasilecola.uol.com.br/quimica/ionizacao.htm>
- Rigidez dielétrica do ar - <https://mundoeducacao.uol.com.br/fisica/a-rigidez-dieletrica.htm>
- Processo de revelação de uma fotografia utilizando chapa fotográfica - <https://fotojornalismojf.wordpress.com/2013/05/29/video-mostra-como-funciona-o-processo-de-fotografia-em-chapas-de-colodio-umido/>

- O(A) professor(a) pode fazer um material de pesquisa sobre a câmara de ionização da época, a maioria dos sites trazem apenas os modelos mais atuais.

Proposta de atividade para os estudantes

A primeira etapa pode contribuir para que os estudantes tenham um conhecimento do que significa um estudo pré-teórico, técnico e experimental sobre os fenômenos envolvidos, e métodos utilizados pelos cientistas na descoberta dos raios X. Na segunda etapa o(a) professor(a) deverá dividir a turma em dois grupos. O objetivo é que os estudantes busquem por evidências históricas, conceituais e experimentais a favor e contra a conjectura de Poincaré.

O processo de pesquisa e apresentação deve ser feito da mesma forma que na primeira etapa. Após as pesquisas e o preenchimento da tabela abaixo, deve ser feita a apresentação e discussão dos resultados. Feito isso, os grupos poderão chegar a um consenso e decidir se a conjectura de Poincaré estavam ou não corretas.

| Conjetura de Poincaré | A favor | Contra |
|------------------------------|----------------|---------------|
| Evidências | | |

4.3. Parte 3- No rastro dos raios: rádio, radiação e radioatividade

O problema.

Muitos materiais (de divulgação, didáticos, e mesmo artigos em periódicos) apresentam informações que podem levar a controvérsias a respeito de quem teria descoberto o fenômeno da radioatividade. Algumas pessoas defendem a ideia de que a radioatividade foi descoberta a partir dos trabalhos de Becquerel. Outras, acreditam que Marie Curie e seus colaboradores descobriram o fenômeno. Afinal, quem descobriu a radioatividade? Becquerel ou Marie Curie? Quais os métodos

utilizados por cada um deles? As suas contribuições foram importantes para a descoberta?

Explicando o problema.

O filme *Radiactive* (2019), retrata a descoberta da radiatividade por Marie e Pierre Curie. Bem como, discussões sobre gênero e dificuldades que ela teria enfrentado. Neste filme, alguns acontecimentos foram mostrados de uma maneira distorcida e isso acaba contribuindo para uma visão equivocada da história da ciência.

Pensando nisso, a Dra. Ana Paula Bispo, fez uma análise do filme em que discutiu pontos importantes da história, abordando de maneira crítica história da ciência. A análise foi apresentada como seminário do departamento de física da UEPB e publicado no canal do youtube do GHCEM (Grupo da História da Ciência e Ensino).

A história contada no filme não condiz com o verdadeiro e longo processo de descoberta. Já foi retratado no episódio histórico, que não existe um “descobridor” da radioatividade. Existem contribuições de diversos cientistas e algumas delas foram errôneas e outras não. A descoberta não aconteceu de forma simples e rápida.

Após a conjectura de Poincaré, vários experimentos foram feitos e levaram os cientistas a concluir que a conjectura estava correta. Esses estudos e afirmações errôneas, não levaram a uma contribuição para a descoberta de novos elementos.

Além disso, os estudos feitos por Becquerel o levaram a concluir que a radiação do urânio se tratava de uma hiperfosforescência e não de um novo fenômeno. Becquerel acreditava que essa hiperfosforescência era algo particular que ocorria apenas com o urânio. Vale ressaltar que ele utilizava o método da chapa fotográfica.

Após a construção do novo método, Schmidt, ao estudar sobre vários compostos, identificou que todos os compostos do urânio podem ionizar o ar. Também observou que o tório tinha a mesma capacidade. Marie Curie, assim como Schmidt, utilizando a câmara de ionização, também observou a radiação do tório, que era mais forte do que a radiação do urânio. Ela afirmou que a intensidade da radiação era proporcional à quantidade de urânio ou tório.

Marie Curie procurou por novas substâncias com a capacidade de ionizar o ar. Ela testou diversos materiais e observou que a pechblenda emitia uma radiação maior que o urânio puro, cerca de 400 vezes mais. Isso a fez deduzir que existiria algum outro material misturado ao minério. A partir disso, ela decide separar os compostos e encontra um novo elemento misturado com bismuto, e lhe dá o nome de polônio.

Ela dá o nome de radioatividade ao fenômeno de radiação ionizante. Por não se tratar de uma hiperfosforescência como Becquerel tinha afirmado, ela chama os elementos com essa capacidade de elementos radioativos. Em outros trabalhos, Marie encontra outro novo elemento quase puro, pois ainda existe um pouco de bismuto misturado e lhe dá o nome de Rádio, que é mais radioativo que o polônio.

Em 1899, Rutherford observou que o urânio emitia dois tipos de radiação. Uma penetrante e outra que era absorvida, ele as chamou de radiação α e β . Em 1900, Villard verificou que o polônio emite dois tipos de radiação. A já conhecida α e outra que ele chamou de radiação γ .

Questões pontuais de discussão na sala de aula.

- Como o método da chapa fotográfica utilizado por Becquerel influenciou seus trabalhos e quais as suas contribuições na descoberta da radiatividade?
- O que mudou com a substituição na maneira como se detectava radiação para o método da câmara de ionização utilizado por Marie Curie e quais suas contribuições na descoberta da radioatividade?
- O que significa “descoberta” na ciência?
- Como as questões de gênero influenciaram o trabalho de Marie Curie?

Fontes e recursos de pesquisa para auxiliar os estudantes

- Descoberta da radioatividade. - <https://mundoeducacao.uol.com.br/quimica/descoberta-radioatividade.htm>
- A descoberta da radioatividade. - <https://www.preparaenem.com/quimica/a-descoberta-radioatividade.htm>

- Material que pode ser produzido pelo docente.
- Radioatividade no cotidiano. - <https://brasilecola.uol.com.br/quimica/a-radioatividade-presente-nosso-cotidiano.htm>
- Efeito da radioatividade no corpo humano. - <https://veja.abril.com.br/saude/os-efeitos-da-radioatividade-no-corpo-humano/>
- Benefícios e riscos da radioatividade. - <https://www.unimedvtrp.com.br/radiacao-beneficios-x-riscos/>
- Da página 227 a 313, trata dos métodos utilizado por Marie Curie e colaboradores e as contribuições de Rutherford e colaboradores. Página 380 a 382, “conclui quem teria descoberto a radioatividade”. livro de Martins (2012), **“Becquerel e a descoberta da radioatividade: uma análise crítica.”**
- **Filme: Radioactive (2019).**
- GHGEN (Grupo da História da Ciência e Ensino). Análise do filme **“Radioactive”** <https://www.youtube.com/watch?v=3SePKJZ3nzY>. Análise feita pela Dra. Ana Paula Bispo.

Proposta de atividade para os estudantes

Nesta etapa, os estudantes irão pesquisar e apresentar uma explicação para o fenômeno da radioatividade, quem descobriu, a importância para sociedade, aplicações e como a radioatividade age no corpo humano. A turma deverá ser dividida novamente em dois grupos.

O primeiro grupo irá argumentar apoiando-se na hipótese de que as contribuições feitas por Becquerel lhe dão o título de descobridor, defender que a radioatividade não serve para sociedade e que a mesma não tem utilidade e os malefícios causados no corpo humano.

O segundo, irá argumentar sobre as contribuições feitas por Marie Curie que lhe atribuem o título de descobridora, defender que a radioatividade é importante para sociedade e os benefícios para o corpo humano.

As pesquisas serão feitas embasadas no material que o próprio(a) professor(a) pode construir utilizando como base o episódio histórico do presente

trabalho, assim como o livro de Martins (2012). Também podem ser disponibilizados sites que contenham, a história da radioatividade, a importância para sociedade, aplicações e os perigos de altas doses de radiação. Comparando informações para determinar quais são mais plausíveis e/ou confiáveis.

Cada grupo será dividido em grupos menores que focarão em tipos diferentes de argumentos: argumentos experimentais, conceituais e socioculturais. O conjunto de aula será dividido entre os debates de cada subgrupo a partir de um desses enfoques.

A pesquisa deverá levar os estudantes a concluir que os dois cientistas citados, assim como vários outros, contribuíram para a descoberta, ou seja, é um processo coletivo e não linear.

Além disso, a turma vai poder observar que a radioatividade é de extrema importância para sociedade. No percurso de sua pesquisa, perceberão que existem malefícios e benefícios.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A compreensão sobre ciência e tecnologia geralmente é pouco discutida no ensino de ciências, sendo este realizado, na maioria das vezes, por meio de aulas monótonas, focadas nas resoluções de exercícios, que pouco dialogam com o universo simbólico dos estudantes. Desse modo, o ensino de física tradicional parece não dialogar com as prescrições presentes nas pesquisas e nos documentos oficiais que advogam por uma formação que, entre outras coisas, fomentem senso crítico sobre diferentes questões, como aquelas que envolvem a ciência e tecnologia.

O presente trabalho pretendeu utilizar o episódio da história da radioatividade para levar para a educação básica discussões acerca de como o processo de construção desse conhecimento mobilizou diferentes personagens e, principalmente, como os diferentes métodos desenvolvidos foram essenciais para a identificação de equívocos e avanços no estudo da radioatividade.

Para tanto, nos voltamos para aspectos de NdC no intuito de possibilitar discussões sobre a ciência e o trabalho dos cientistas a partir da narrativa construída do episódio histórico. Dessa forma, trabalhar com HC no ensino de física, utilizando elementos de NdC, pode levar a discussões de acontecimentos históricos, construções de hipóteses, diferentes métodos de pesquisas, a importância dos métodos na ciência; assim como, a desconstrução das visões distorcidas sobre a própria ciência.

A importância do conhecimento sobre essa área, assim como as influências sociais e políticas que vem sofrendo ao longo do tempo justifica-se pela presença dessa temática no nosso dia a dia. Por isso, discutir essas questões também pode contribuir para a formação sociocientífica dos estudantes.

O eixo narrativo aqui construído nos auxiliou na construção proposta de projeto didático, utilizando uma abordagem histórico-científica, podendo auxiliar os professores e professoras da educação básica a ter um conjunto de aulas mais diversificadas e reflexivas a respeito de questões de NdC encontradas no episódio histórico.

Vale salientar que enquanto proposta, o trabalho aqui desenvolvido não pode ser encarado como uma receita a ser aplicada. Ao contrário, servirá de guia, orientações e/ou sugestões para introduzir elementos da história da radioatividade

em sala de aula. Além disso, é importante considerar a complexidade envolvida nos diferentes contextos educacionais, bem como as características e habilidades dos professores e professoras que estão atuando no ensino médio. Por isso, a indicação temática desse projeto deixa margem para que docentes possam experimentar e/ou utilizar dentro de suas reais possibilidades e limitações.

Por fim, consideramos que outras propostas como essa poderão ser desenvolvidas pelos próprios docentes, considerando as etapas e recomendações apresentadas ao longo do texto. Além disso, dentro do contexto atual de reforma da educação básica, os pressupostos temáticos e investigativos presentes em nossa proposta podem já apresentar-se como uma alternativa para o novo modelo de ensino de ciências que se anuncia.

REFERÊNCIAS

ABD-EL-KHALICK, F. et al. Inquiry in science education: international perspectives. **Science Education**, v.88, n.3, p.397-419, 2004.

ACEVEDO-DIAZ, J. A. Relevancia de los factores no-epistémicos en la percepción pública de los asuntos tecnocientíficos. **Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias**. 3(3), 2006, pp. 369- 390.

ALLCHIN, D. **Teaching the Nature of Science: Perspectives & Resources**. Saint Paul: SHIPS Education Press, 2013.

BATISTA, R. F. M.; SILVA, C. C. A abordagem histórico-investigativa no ensino de Ciências. **Estudos Avançados**, 32 (94), 2018.

BAZZO, W. A. **Ciência, Tecnologia e Sociedade: e o contexto da educação tecnológica**. Florianópolis: Ed. da UFSC, 1998.

CARVALHO, A. M. P. O ensino de Ciências e a proposição de sequências de ensino investigativas. In: CARVALHO, A. M. P. **Ensino de Ciências por investigação - condições para implementação na sala de aula**. São Paulo: Cengage Learning, p.1-21, 2013.

CHICÓRA, T.; CAMARGO, S.; TOPPEL, A. HISTÓRIA E FILOSOFIA DA CIÊNCIA NO ENSINO DE FÍSICA MODERNA. ISSN. 2176-1396, in: Formação docente e sustentabilidade: um olhar transdisciplinar. **Anais do XII Congresso Nacional de Educação-EDUCERE e III Seminário Internacional de Representações Sociais, Subjetividade e Educação – SIRSSE, V Seminário Internacional sobre Profissionalização Docente (SIPD/CÁTEDRA UNESCO) e o IX Encontro Nacional sobre Atendimento Escolar Hospitalar – ENAEH**. Curitiba, PR: PUCPR, 2015.

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

FORATO, T. C. M.; PIETROCOLA, M.; MARTINS, R. A. Enfrentando obstáculos na transposição didática da história da ciência para a sala de aula. In: PEDUZZI, L. O. Q.; MARTINS; A. F. P.; HIDALGO, J. M. Temas de história e filosofia da ciência no ensino. Natal: EDUFRN, p.123-54, 2012.

HEERING, P.; HÖTTECKE, D. Historical-Investigative Approaches in Science Teaching. In: MATTHEWS, Michael R. (Ed.). **International handbook of research in history, philosophy and science teaching**. Springer, p. 1473-1502, 2014.

HODSON, D. Nature of Science in the Science Curriculum: Origin, Development, Implications and Shifting Emphases. In: M. Matthews (Ed.), **International handbook of research in history, philosophy and science teaching**. Dordrecht: Springer, p. 911-970, 2014.

HODSON, D. Assessment of practical work. **Science & Education**, v. 1, n. 2, p. 115-144, 1992.

HODSON, D. Seeking directions for change: the personalisation and politicisation of science education. **Curriculum Studies**, v. 2, n. 1, p. 71-98, 1994.

HÖTTECKE, D.; SILVA, C. C. Why implementing history and philosophy of science in school science education is a challenge: an analysis of obstacles. **Science & Education**, v. 20, n. 3-4, p. 293-316, 2010.

KLASSEN, S. The science thought experiment: how might it be used profitably in the classroom? **Interchange**, v.37, n.1, p.77-96, 2006.

LEDERMAN, N. G. Students' and teachers' conceptions of the nature of science: A review of the research. **Journal of research in science teaching**, v. 29, n. 4, p. 331-359, 1992.

MARTINS, R. A. A Descoberta dos Raios X: O Primeiro Comunicado de Röntgen. **Revista Brasileira de Ensino de Física**. V.20, n.4, p. 373-391, dezembro, 1998.

MARTINS, R. A. As primeiras investigações de marie curie sobre elementos radioativos. **Revista Brasileira de História da Ciência**. v.1, n.1, p. 29-41, 2003.

MARTINS, R. A. Como becquerel não descobriu a radioatividade. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**. Florianópolis, v.7, p. 27-45, jun, 1990.

MARTINS, R. A. **Becquerel e a descoberta da radioatividade: uma análise crítica**. Campina Grande, PB: EDUEPB/Livraria da Física, 2012.

MARTINS, R. A. Introdução: a história das ciências e seus usos na educação. **Estudos de história e filosofia das ciências: subsídios para aplicação no ensino**. São Paulo: Livraria da Física, p. 17-30, 2006.

MATTHEWS, M. R. História, filosofia e ensino de ciências: a tendência atual de reaproximação. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**. V.12, n.3, p. 164-214, dezembro, 1995.

PINTO, J. A. F.; SILVA, A. P. B.; FERREIRA, É. J. B. Laboratório desafiador e história da ciência: um relato de experiência com o experimento de Oersted. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 34, n. 1, p. 176-196, 2017.

PRAIA, J.; GIL-PÉREZ, D.; VILCHES, A. O papel da natureza da ciência na educação para a cidadania. **Revista Ciência & Educação**. v.13, n.2, p. 141-156, 2007.