



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA**  
**PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA**  
**MESTRADO EM ENSINO DE CIÊNCIAS E MATEMÁTICA**

**FLAVIANNE ALEXANDRE MONTEIRO**

**DISCUTINDO A CIÊNCIA ATRAVÉS DE EPISÓDIOS HISTÓRICOS: O CASO DOS  
RAIOS-X E DA RADIOATIVIDADE**

**CAMPINA GRANDE – PB**

**2011**

**FLAVIANNE ALEXANDRE MONTEIRO**

**DISCUTINDO A CIÊNCIA ATRAVÉS DE EPISÓDIOS HISTÓRICOS: O CASO DOS  
RAIOS-X E DA RADIOATIVIDADE**

Dissertação apresentada ao Curso de  
Mestrado em Ensino de Ciências e  
Matemática da Universidade Estadual da  
Paraíba, em cumprimento para obtenção  
de título de Mestre em Ensino de Ciências  
e Matemática

Orientadora: Prof<sup>a</sup> Dra. Ana Paula Bispo da Silva

CAMPINA GRANDE – PB

2011

É expressamente proibida a comercialização deste documento, tanto na sua 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 da dissertação

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL-UEPB

M775d Monteiro, Flavianne Alexandre.  
Discutindo a ciência através de episódios históricos [manuscrito]: o caso dos raios-x e da radioatividade / Flavianne Alexandre Monteiro. – 2011.  
96 f.

Digitado.

Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Ciências e Matemática), Centro de Ciências e Tecnologias, Universidade Estadual da Paraíba, 2011.

“Orientação: Profa. Dra. Ana Paula Bispo da Silva, Departamento de Física”.

“Co-Orientação: Profa. Dra. Morgana Lígia de Farias Freire, Departamento de Física”

1. Conhecimento Científico. 2. História da Ciência. 3. História da Radioatividade. I. Título.

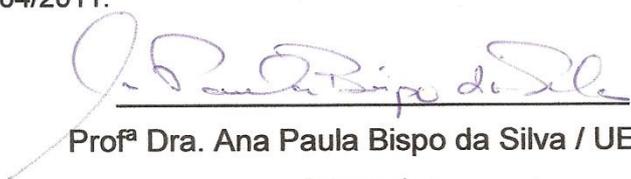
21. ed. CDD 508

**FLAVIANNE ALEXANDRE MONTEIRO**

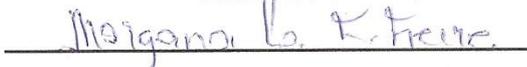
**DISCUTINDO A CIÊNCIA ATRAVÉS DE EPISÓDIOS HISTÓRICOS: O CASO DOS  
RAIOS-X E DA RADIOATIVIDADE**

Dissertação apresentada ao Curso de  
Mestrado em Ensino de Ciências e  
Matemática da Universidade Estadual da  
Paraíba, em cumprimento para obtenção  
de título de Mestre em Ensino de Ciências  
e Matemática

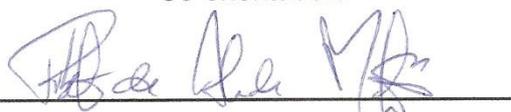
Aprovada em 08/04/2011.

  
Prof<sup>a</sup> Dra. Ana Paula Bispo da Silva / UEPB

Orientadora

  
Prof<sup>a</sup> Dra. Morgana Lígia de Farias Freire / UEPB

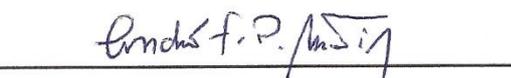
Co-orientadora

  
Prof. Dr. Roberto de Andrade Martins / UEPB

Examinador

\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Marcelo Gomes Germano / UEPB

Examinador - Suplente

  
Prof. André Ferrer Pinto Martins / UFRN

Examinador

*Aos meus filhos, Gabriel e Layane  
Aos meus pais, Edimilton e Marleide  
Ao meu esposo Giovanni Alexandre  
DEDICO.*

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus por me conceder a concretização desse sonho e por seus feitos inquestionáveis em minha vida.

A Professora Dra. Ana Paula Bispo da Silva por toda a orientação, ensinamentos e compreensão ao longo desse trabalho.

## RESUMO

Pesquisas na área de Ensino de Ciências argumentam que a História e a Filosofia da Ciência (HFC) podem ajudar os estudantes a entenderem como se dá o processo de aquisição do conhecimento científico. Para atingir este objetivo, o processo do conhecimento científico deve ser enfatizado ou explorado explicitamente de forma a mostrar como a ciência é uma atividade complexa. Neste sentido, controvérsias científicas apresentam muitos aspectos a serem explorados. Neste trabalho, escolhemos um episódio histórico sobre raios-X e radioatividade para ensinar os estudantes sobre o processo de aquisição do conhecimento científico. O episódio escolhido apresenta tanto uma controvérsia do ponto de vista conceitual, já que discute os problemas sobre a natureza dos raios-X; quanto sobre o processo científico, já que também discute sobre a prioridade na descoberta da radioatividade. A intervenção constou de três passos para a introdução das ideias sobre o episódio histórico e sobre a ciência: uma dinâmica que simulava o processo da ciência e duas aulas em que foram discutidos textos sobre os episódios históricos. Os resultados mostraram que a elaboração de textos sobre episódios históricos é um processo desafiador e deve ser tomado com extremo cuidado ao explicitar a ciência, caso contrário pode levar a uma distorção tanto da história quanto da complexidade do conhecimento científico.

**PALAVRAS-CHAVE:** História da Ciência. Ensino de Ciências. Controvérsia Científica. História dos Raios-X. História da Radioatividade.

## **A B S T R A C T**

Much research argues that the History and Philosophy of Science (HPS) can help students to learn about the process of science. To reach this goal, some aspects of the scientific knowledge must be emphasized or to be explored explicitly to show how science is a complex activity. In this sense, scientific controversies present many aspects to be explored. In this work, we choose a historical episode about X-ray and radioactivity to teach students about the process of scientific inquiry. This episode presents a controversy about the nature of the X-ray and about the priority of the discovery of the radioactivity. We used three steps to introduce the ideas about the episode and about the science in classroom: a hands-on activity and two classes exploring the historical episode by texts. The results show that the use historical material must be carefully prepared to reach the goal of explicit the process of scientific inquiry or the historical episode can be misunderstood.

**KEYWORDS:** History of Science. Science Teaching. Scientific Controversy. History of X-ray. History of Radioactivity.

# SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	9
CAPÍTULO 1.....	13
1.1 História e Filosofia da Ciência (HFC) .....	13
1.2 A História e a Filosofia da Ciência e a Natureza da Ciência.....	18
CAPÍTULO 2.....	25
2.1 Episódio Histórico .....	25
2.2 O Papel da Descoberta.....	29
2.3 O caso dos Raios X .....	31
A descoberta dos Raios X .....	31
2.4 O caso da Radioatividade .....	38
CAPITULO 3.....	52
3.1 Preparando o Terreno.....	52
3.2 Dinâmica: Simulando a Ciência .....	53
3.3 As intervenções com o Episódio Histórico .....	55
4. Discussão e análise dos resultados .....	58
4.1 Simulando a ciência.....	58
4.2 O raios- X .....	61
4.3 A radioatividade .....	66
5. Considerações finais.....	71
REFERÊNCIAS.....	74
APÊNDICE.....	86

## INTRODUÇÃO

A atuação como professora de ensino médio em escola pública trouxe reflexões iniciais que serviram para nortear os objetivos e métodos desta dissertação. Apesar de ter se tornado quase um lugar comum dizer que “os estudantes atualmente estão desmotivados, principalmente com as aulas de física” essa afirmação continua verdadeira.

O professor deve preocupar-se em como o aluno aprende e elaborar propostas didáticas que proporcionem o desejo em adquirir novos conhecimentos ou sistematizar os já adquiridos, pois este é um dos grandes papéis da escola. Mas o indivíduo certamente terá mais disponibilidade a aprender aquilo que lhe interessa, que tenha significado em sua vida, que aguce sua curiosidade, enfim que o motive. O professor deve planejar as aulas de maneira a alcançar tais objetivos, o que, considerando-se as demais dificuldades da escola, é um verdadeiro dilema na educação. Nessa perspectiva tem surgido trabalhos em diversas linhas de pesquisa, como metodologia e didática, o uso das tecnologias, a inserção da história e da filosofia, entre outros. Todos com suas vantagens e também limitações.

O ensino de Ciências, em particular, merece atenção, pois muitos não compreendem como a Ciência se desenvolve porque os conhecimentos relativos

a ela são transmitidos de maneira distorcida, fora de contexto, por professores ou pela mídia. Por vezes a Ciência é apresentada como um produto de gênios, de forma linear, inalterável, indiscutível, alheia ao tempo e a realidade, promovendo visões distorcidas. Para uma educação científica de qualidade, muitos autores defendem a inserção da História e Filosofia da Ciência como recurso didático capaz de modificar tal realidade. A abordagem histórica e filosófica é capaz de desmistificar a ciência, tornando-a mais humana. É capaz de realizar um resgate, trazendo à tona como a Ciência foi construída, suas discordâncias, a contribuição de diversas pessoas, tornando-a, portanto, algo coletivo, susceptível a erros.

A Ciência não é neutra, já que não há descoberta ao acaso: o cientista sempre está alicerçado por teorias e conhecimentos prévios. A construção da ciência é influenciada pela realidade em questão, como a sociedade, a política, a religião, ou seja, as diversas áreas que sustentam seu desenvolvimento. Enfim, a História e Filosofia da Ciência inserida de maneira coerente, pode ser uma excelente proposta a ser explorada em sala de aula com intuito de melhorar a aprendizagem do aluno e propiciar uma visão adequada do fazer científico, até porque de acordo com os PCNs (Brasil, 2002), a formação do aluno deve ter como alvo principal a aquisição de conhecimentos básicos, **a preparação científica e a capacidade de utilizar as diferentes tecnologias relativas às áreas de atuação.**(grifo feito pelo autor)

No entanto, a História e Filosofia da Ciência não devem ser postas como uma nova disciplina, mas inserida de maneira adequada no currículo já existente, dando significado e coerência às disciplinas. Nessa linha, autores como Martins (2007), Stinner (2003) e Portela (2006), entre outros, defendem a utilização de episódios históricos – que são contextos com uma ideia unificadora, concebidos de acordo com as orientações para escrita de um grande problema contextual -, permitindo uma abordagem problematizadora, com a participação dos alunos. Assim é possível discutir e vivenciar a construção da ciência através de um “recorte” bem trabalhado, evitando os “insights” de história que por vezes são utilizados por professores e acabam implicando numa visão errada sobre ciência por parte dos alunos.

Considerando-se a importância de uma abordagem histórica, esse trabalho tem como objetivo explorar episódios históricos em sala de aula de forma a provocar os alunos, e levá-los a uma visão mais adequada da Natureza da Ciência.

No capítulo 1 fazemos uma breve revisão bibliográfica sobre trabalhos que relatam as vantagens e contribuições da abordagem histórica e filosófica da ciência, advertindo os cuidados que se deve ter para que não se apresente uma história falsificada, e se distancie dos objetivos traçados.

No capítulo 2 justificamos a utilização de um episódio histórico como ponto de partida para as discussões a que esse trabalho se pretende. A escolha do

episódio da descoberta da radioatividade também não aconteceu por acaso. Tendo em vista que é um tema presente no cotidiano dos alunos, provavelmente despertará a curiosidade deles, e resgatará uma descoberta de grande influência nas diversas áreas, e principalmente na medicina, que foram os Raios X.

No capítulo 3 apresentamos as atividades que foram aplicadas em uma turma de 3ª série do Ensino Médio na Escola Estadual São Sebastião, na Paraíba. Iniciamos com uma atividade introdutória que consistiu numa dinâmica que simulava alguns dos passos do fazer científico. Depois foi a vez de aplicar os episódios escolhidos, A descoberta dos raios X, e a Descoberta da Radioatividade: Becquerel *versus* Marie Curie, todos em sala de aula. Após a apresentação dos textos referentes aos episódios foram sugeridas três questões para cada um, com o objetivo de avaliar se e como estes contribuíram na visão de ciência dos alunos em questão.

No capítulo 4 temos uma discussão dos resultados das atividades propostas no capítulo anterior. Temos a oportunidade de verificar pontos altos e baixos da pesquisa. Ver como os alunos se comportaram diante das atividades, e inclusive saber o que não deu tão certo, ou pelo menos ficou aquém do almejado.

Finalizamos com o capítulo 5, que traz as considerações finais, mencionando os principais pontos da pesquisa, como também os resultados e problemas encontrados.

## CAPÍTULO 1

### 1.1 História e Filosofia da Ciência (HFC)

A utilização da História e Filosofia da Ciência (HFC) como estratégia didática e metodológica para uma educação científica de qualidade tem sido objeto de várias pesquisas. Mudanças curriculares em diversos países e os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN) apontam que a introdução de elementos da História e Filosofia da Ciência, ou a história como forma de abordagem didática em ciências naturais, levaria a uma melhor compreensão da ciência em si e de conceitos científicos. Diversos autores defendem a presença da HFC nas salas de aula nos diversos níveis de ensino (MATTHEWS, 1995; BRASIL, 2002; MARTINS, 2006; BATISTA, 2004; STINNER, 2003).

Vejamos as vantagens do uso da HFC como conteúdo das disciplinas de acordo com autores que a consideram como uma estratégia didática facilitadora.

Matthews (1995) argumenta que a HFC:

- Podem humanizar as ciências e aproximá-las dos interesses pessoais, éticos, culturais e políticos da comunidade, na medida em que a HFC gera reais significados a essas diversas áreas de atuação do cotidiano das pessoas.

- Podem tornar as aulas de ciências mais desafiadoras e reflexivas, permitindo o desenvolvimento do pensamento crítico, tendo em vista que a HFC colabora na formação do cidadão e são verdadeiras armas para a explicação e justificativa dos acontecimentos e avanços obtidos.
- Podem contribuir para um entendimento mais integral de matéria científica. A História e a Filosofia mostram a construção da ciência, e na medida em que isso acontece a ciência aparece com significado implicando em um entendimento mais plausível.
- Podem melhorar a formação do professor auxiliando o desenvolvimento de uma epistemologia da ciência mais rica e mais autêntica, pois na medida em que ele pesquisa observa a construção da ciência, possibilitando a visualização conhecimentos muitas vezes obscuros.

Martins (2005) considera que a HFC surge como uma necessidade formativa do professor, contribuindo para:

- Evitar visões distorcidas sobre o fazer científico, como por exemplo, mostrar que a ciência não é neutra e seu desenvolvimento está sempre relacionado com os fatos da atualidade;

- Permitir uma compreensão mais refinada dos diversos aspectos envolvendo o processo de ensino-aprendizagem;
- Proporcionar uma intervenção mais qualificada em sala de aula, pois dará autonomia ao aluno, até porque ele irá perceber que a Ciência não é exclusividade de super dotados, mas que ela está presente em seu cotidiano, e ele, o aluno, faz parte de sua construção.

Nas orientações Educacionais dos parâmetros Curriculares Nacionais (PCN) (BRASIL, 2002) observa-se a importância da contextualização histórica para o desenvolvimento das habilidades e competências nas aulas de Física, Química e Biologia, enfatizando também a abordagem histórica dos conhecimentos matemáticos.

Diante das considerações é possível avaliar que a História e Filosofia da Ciência contribuem de maneira relevante para o entendimento do fazer científico, pois possibilita a percepção de uma ciência mutável, que vai se construindo aos poucos, que não é absoluta, e que está inserida em um contexto histórico e social, não sendo privilégio de gênios.

É importante colocar, que a ideia defendida aqui é que a HFC não devem ser postas como uma disciplina a mais no currículo, mas utilizá-la de maneira a contextualizar, dando significado às disciplinas já existentes como Física, Química, Biologia e Matemática.

Apesar das diversas vantagens da utilização da História e Filosofia da Ciência, há algumas críticas quanto a real prática em sala de aula, pois nem sempre são inseridas de maneira a obter o efeito desejado.

Thomas Kuhn, por exemplo, adverte sobre o tipo de história da ciência geralmente encontrada nos livros didáticos e outros tipos de literatura deles derivadas, que são utilizados no ensino de ciências e objetivam propagar a ciência normal. Para Kuhn a ciência amadurecida retratada nos livros didáticos, que ele denomina manuais, não contempla a relação com o seu contexto histórico e “acaba escondendo o processo que está na raiz dos episódios mais significativos do processo científico” (KUHN, 1987, p 187). Entretanto, a própria posição de Kuhn sobre o papel da HC nos livros didáticos é discutida entre os pesquisadores, não havendo concordância sobre sua posição a favor ou contra esta introdução.

Essa “falha” também pode ser encontrada nos livros didáticos, descrevendo o que se denomina “pseudo-história” ou “quase-história”, onde erros podem acontecer devido a omissões e distorções. Pode haver ainda uma falsificação da história com aspectos da autêntica história (ALLCHIN, 2004; MARTINS, 1995, WHITAKER, 1979a e 1979b). Muitas vezes a pseudo-história, caracterizada pela linguagem de “romance” que atribui aos personagens e processos da ciência, é apresentada pelo professor por ingenuidade, com a intenção de despertar “paixão” pela ciência (ALLCHIN, 2004). Mas, infelizmente, leva à formação de uma visão pseudo-científica, tratando a ciência como atividade neutra, ideal, que leva a

certezas eternas. Por outro lado, a quase-história é apresentada sem nenhuma ingenuidade, com o propósito claro de fazer com que o leitor “tenda” para uma visão de ciência igual a do autor (WHITAKER, 1979a e 1979b). De certa forma, a quase-história é mais difícil de identificar, pois implica um conhecimento de história que muitas vezes o leitor não tem. Isso faz com que ela seja apresentada e repetida por gerações de professores, perpetuando falsas compreensões de programas de pesquisa. Portanto, há que se ter bastante cuidado ao se trabalhar história para que esta não passe de uma quase-história em uma melhor moldura. Desta forma, é importante a busca de referências confiáveis e materiais selecionados que dêem credibilidade à pesquisa.

Segundo Portela (2006), alguns argumentos de Matthews (1990) já haviam sido incluídos nos primeiros projetos de física que visavam mudanças curriculares com a introdução da HFC, como o projeto Harvard. Alguns destes argumentos foram colados em “xeque” durante um simpósio sobre o tema realizado em MIT em 1972 sob a direção de Stephen Brush e Allen King. Os ataques estiveram concentrados fundamentalmente sob dois pontos de vista:

- A única história possível nos cursos de ciência é uma pseudo-história;
- A exposição à história da ciência enfraquece as convicções científicas requeridas para um completo sucesso na aprendizagem.

Estes pontos de vista coincidem com a discussão já levantada acerca da presença de uma história da ciência “deformada”.

Porém, uma dificuldade encontrada é a indisponibilidade de materiais históricos adequados para uso em salas de aula, ou seja, uma literatura com linguagem acessível à demanda de ensino fundamental e médio, levando o professor a dar pequenos “insights” de história nas aulas, de maneira até a prejudicar a visão da natureza da ciência por seus alunos, já que acaba por mostrar a ciência como algo pronto, acabado e inerente a gênios. As distorções na história têm sido objeto de investigação por vários pesquisadores, tanto com relação à sua apresentação em sala de aula, quanto àquela presente em livros didáticos ou materiais paradidáticos (SILVA; MOURA, 2008). De uma maneira geral, muito de HFC que aparece nesses materiais provém de pesquisas em enciclopédias ou de manuais de referências que se limitam a uma exposição cronológica de nomes e datas. Desta forma, esse material não pode contribuir como argumenta Matthews (1995).

## **1.2 A História e a Filosofia da Ciência e a Natureza da Ciência**

Um dos principais aspectos em que a HFC contribuem para a sala de aula é na compreensão da natureza da ciência, tendo em vista que é de grande importância seu adequado conhecimento, como vem sendo tratado por vários

autores (EL-HANI, 2006; GIL-PEREZ et al, 2001; STINNER et al, 2003; MCCOMAS, 2005; FORATO, 2009, ALTERS, 1997; VÁZQUEZ ALONSO *et al.* 2009)<sup>1</sup>. Para Stinner (2003), por exemplo, a aprendizagem no domínio da ciência quando ocorre com uma história contextualizada, proporciona ao aluno um senso de que as teorias científicas são desenvolvidas em um cenário histórico e que confrontos e competição entre teorias na ciência desempenham um importante papel no desenvolvimento de novas ideias. Na medida em que o aluno compreende como conceitos científicos foram adquiridos, ele fica habilitado a visualizar os produtos e processos da ciência de uma forma mais autêntica de natureza da ciência. No entanto esse conhecimento tem ficado muito aquém do desejado. A ciência vem sendo, em muitos casos, apresentada desmemoriada da sua história, de maneira pronta e acabada, como se não houvesse mais nada a ser descoberto, levando os alunos a serem meros receptores, ausentes do processo, criando uma gigantesca barreira entre o conhecimento científico e a comunidade.

Dentro dessa perspectiva autores como McComas (2005), Gil-Perez et al. (2001) e Pumfrey (1991) falam sobre a maneira de apresentar a natureza da ciência para que se possa diminuir os índices de analfabetismo científico, porém destacam que não há um consenso sobre uma visão adequada de natureza da ciência. Dentre as diferentes visões de natureza da ciência, podemos destacar alguns pontos que são semelhantes entre McComas, Gil e Pumfrey, como:

---

<sup>1</sup> Gil-Perez *et al* (2001) e Forato (2009) apresentam uma longa lista de referências bibliográficas que mostram as pesquisas atuais na relação entre HFC e Natureza da Ciência (NDC).

- Uma observação relevante não é possível sem uma ideia pré-existente. Quando se observa algo, uma situação, uma experiência, o observador não o faz de forma neutra, mas traz consigo ideias sobre o tema analisado.
- Pessoas de diferentes culturas podem contribuir para a ciência, portanto ciência é um trabalho coletivo, com diferentes influências e pontos de vista.
- Teorias científicas não podem ser provadas. As experiências servem para comprovar determinadas situações, mas não definem teorias.
- Na ciência a discordância é sempre possível. Não há uma verdade absoluta e incontestável. Até porque a ciência é passível de mudanças, ela não é estática e convergente.
- Deve-se evitar a visão elitista da ciência, onde o conhecimento científico é visto como obra de gênios isolados. A ciência é construída paulatinamente por muitos, das diversas raças e classes.

Gil-Perez *et al.* (2001), traz uma interessante visão do fazer científico, onde destacam pontos de concordância entre numerosos grupos de professores em formação inicial e em formação contínua e a análise de artigos sobre educação

científico-didática das ciências, buscando conhecer as possíveis deformações sobre a natureza da ciência.

Uma das visões mais presente entre professores é a da concepção empírico-indutivista e ateórica, em que destaca o papel “neutro” da observação e da experimentação, deixando um pouco de lado o papel essencial das hipóteses como orientadoras da investigação. No entanto, essa visão de certa forma é equivocada, pois o observador traz consigo uma bagagem de conhecimento que não deve ser ignorada, e o que ele vê é afetado pelo seu conhecimento e experiência. Algum tipo de teoria precede as observações.

A transmissão de uma visão rígida, algorítmica e exata do fazer científico, apresentando-o como um conjunto de etapas a ser seguido mecanicamente (GIL-PEREZ et al, 2001) continua a predominar nas aulas de ciências, principalmente nas aulas de física, onde a disciplina certas vezes é entendida apenas como a solução de problemas através de fórmulas. Esta visão pode também deformar o entendimento da natureza da ciência, pois transmite uma ideia de método científico único, gerando uma ciência certa. Uma das concepções sobre natureza da ciência em que filósofos e educadores concordam, é de que ela é feita por tentativas e hipóteses, além da criatividade e coletividade dos cientistas (EL-HANI, 2006)

Boa parte do material a que professores e alunos têm acesso, transmitem uma visão aproblemática e ahistórica. Desta forma se transmitem os conhecimentos já elaborados, sem que os problemas que lhe deram origem sejam mostrados e

discutidos, o que possibilitaria uma melhor compreensão da evolução das ideias, enfatizando as limitações do fazer científico. Segundo Matthews (1998), a presença de controvérsias durante as aulas de ensino de ciências é fundamental para que o aluno tenha consciência crítica e não seja apenas “doutrinado” segundo o que acredita o professor.

Da mesma maneira, os livros e demais materiais didáticos, em sua maioria, transmitem uma visão cumulativa com crescimento linear dos conhecimentos científicos, restringindo-se muitas vezes a nomes, datas, anedotas, etc. Uma ótima maneira de mostrar que a construção da ciência não se faz simplesmente por acumulação de dados, é através do conhecimento histórico, que permite mostrar erros e controvérsias que levam ao rompimento de paradigmas.

A história aproblemática, e linear leva a uma visão individualista e elitista da ciência, em que os conhecimentos científicos aparecem como obras de gênios isolados, ignorando-se o papel do trabalho coletivo e cooperativo.

Embora auxilie na elaboração dos currículos e passe despercebida por boa parte de professores, uma visão exclusivamente analítica, que destaca a necessária divisão parcelada dos estudos, acaba por influenciar na concepção de ciência do aluno (GIL-PEREZ et al, 2001). A divisão das disciplinas em diferentes tópicos ou assuntos, e mesmo a separação das disciplinas, como se tratassem de assuntos completamente não-relacionados entre si acaba por transmitir a ideia de que o conhecimento pode ser restrito. Assim, a separação dos assuntos “termodinâmica” e

“mecânica” não permite ao aluno entender que modelos mecânicos foram utilizados para a explicação da teoria dos gases, por exemplo. A separação no currículo, das disciplinas cálculo e física, por exemplo, torna distante a compreensão de que ambas estão estreitamente relacionadas e foram construídas em conjunto. Muitas vezes essa visão é disfarçada pelas tentativas de “projetos interdisciplinares ou multidisciplinares”, e os próprios professores não percebem que a visão analítica é problemática (GIL-PEREZ, et al., 2001). Através do conhecimento histórico é possível entrelaçar assuntos e disciplinas, mostrando a real complexidade da construção da ciência.

As visões mostradas acabam por introduzir, ainda que inconscientemente, a ideia de que a ciência é socialmente neutra, esquecendo as complexas relações entre ciência, tecnologia e sociedade. A ciência é um produto dinâmico do conhecimento humano, criado por indivíduos em dado contexto cultural e histórico, e sua construção depende de criatividade, tradições sociais, culturais, e se dá por processos evolutivos e revolucionários.

Abd-El-Khalic e Lederman (2000) evidenciaram, em um estudo feito com professores, que a HFC podem contribuir na modificação das visões de ciência desde que seja de modo explícito. Se houver um uso implícito da HFC, com a simulação dos problemas por que passaram os cientistas, muitas vezes não é possível encontrar uma mudança, pois há a tendência de repetir a visão distorcida. Esses são alguns parâmetros sobre natureza da ciência e como eles se refletem na

visão de ciência dos professores. Não há consenso sobre uma visão “adequada da natureza da ciência”, porém é possível observar, pela pesquisa de Gil-Perez *et al.* (2001) que existe um consenso nas visões distorcidas sobre ciências dos professores. A partir das visões distorcidas é possível estabelecer quais parâmetros sobre natureza da ciência precisam de um aprofundamento baseado na HFC, já que muitas das distorções também estão presentes entre os alunos (VÁZQUEZ ALONSO; MANASSERO MAS, 1999).

Neste trabalho escolhemos três características da natureza da ciência para serem explorados em sala de aula visando desconstruir um modelo pré-existente sobre conhecimento científico. São elas:

- uma observação não é possível sem ideias pré-existentes.
- a necessidade de divulgação entre pares para validar o conhecimento adquirido.
- é sempre possível mais de uma interpretação para o mesmo fenômeno.

Estas características foram, na medida do possível, destacadas nas intervenções realizadas.

## **CAPÍTULO 2**

Neste capítulo apresentamos o episódio histórico que serviu de base para a discussão da natureza da ciência na intervenção realizada, bem como as justificativas da escolha feita. Como poderá ser observado, tanto a parte relacionada aos raios-X quanto em relação à radioatividade foram baseadas em apenas uma fonte de referência secundária, que corresponde à tese de livre docência de Roberto de Andrade Martins (MARTINS, 2002). Tal escolha se deu pelo fato de não termos encontrado outras referências relevantes em português e porque o presente trabalho se concentrou na pesquisa em sala de aula e não na pesquisa histórica.

### **2.1 Episódio Histórico**

Segundo Silva e Moura (2008), a História e Filosofia da Ciência são recheadas de episódios de alto poder pedagógico e didático. A análise de um episódio histórico pode fornecer elementos que ficam obscuros nas abordagens didáticas mais tradicionais, responsável por acarretar uma visão distorcida da ciência, muitas vezes repleta de erros conceituais e visões equivocadas do fazê-la. O estudo de episódios particulares da história da ciência pode fornecer subsídios para a discussão de aspectos da Natureza da Ciência em sala de aula, uma vez que oferece uma visão mais profunda e detalhada do processo de construção do

conhecimento científico, suas influências sobre a sociedade da época e a sua eventual rejeição, o que mostra que a natureza da ciência não é simples e tampouco de fácil entendimento, mas rica em detalhes e extremamente fascinante aos olhos de quem a vê (SILVA; MOURA, 2008).

Silva e Moura (2008) consideram que certos episódios possam colaborar no aprendizado de teorias físicas e que o estudo deles, com vistas à criação de materiais didáticos, possa ser uma maneira de superar algumas das dificuldades enfrentadas por professores, o que conseqüentemente colaboraria numa melhor concepção por parte dos alunos.

Para Stinner et al (2003) os episódios históricos, ou estudos de casos históricos, são contextos com uma ideia unificadora, concebidos de acordo com as orientações para escrita de um grande problema contextual. E para apresentar tal episódio é necessário certo cuidado com o episódio escolhido, mostrando a criatividade, a luta intelectual, as dificuldades de comunicação, e a necessidade de se chegar a um acordo sobre definições, princípios e teorias. Assim os autores trazem algumas orientações importantes ao se realizar o estudo de casos históricos. É interessante, por exemplo, traçar um quadro com uma ideia unificadora central, sendo importante no domínio da ciência e susceptível de captar a imaginação do aluno, e é importante que as principais ideias, conceitos e problemas sejam gerados naturalmente pelo contexto, levando a uma melhor integração e compreensão do aluno com a situação em estudo. E na abordagem do episódio histórico devem-se

levar em conta os conhecimentos pré-existentes do aluno, de maneira a proporcioná-lo experiências que possam ser relacionadas com seu cotidiano, e que façam sentido para ele.

Um episódio pode funcionar como uma “estória”, que possibilita dramatizar uma ideia principal. Desta forma, as opiniões contrárias de diferentes personagens e as situações conflitantes da história são trabalhadas de maneira natural, dentro do contexto da “estória”.

O episódio histórico pode funcionar como o caminho para que o romance siga em direção a pontos específicos da história. Isto permite que o aluno compreenda que as situações problemáticas são parte intrínseca da ciência. As situações controversas presentes no episódio mostram também que conceitos científicos podem ter diferentes interpretações de acordo com a posição dos cientistas.

Adotar o episódio histórico como uma “estória”, mantendo-se a precisão de ideias e excluindo-se um romance desnecessário permite uma maior aproximação com o aluno, estimulando-o a discutir em sala de aula. O aluno também se sentirá mais estimulado se fizer parte do programa de pesquisa trabalhado no episódio, onde o professor servirá como líder.

É imprescindível a resolução dos conflitos e questões gerados pelo contexto, como também encontrar conexões entre as ideias e concepções discutidas e ideias

atuais, para mais uma vez aproximar o aluno da real forma de construção da ciência, uma vez que ele se sentirá inserido no processo.

Nesse sentido a utilização de episódios históricos em que são mostradas ideias contrárias contribui melhor para a compreensão da natureza da ciência do que a apresentação de ideias prontas e acabadas sobre uma visão adequada de ciência (MATTHEWS, 1998).

Para Kipnis (2006), livros didáticos contribuem para suscitar dúvidas sobre a interpretação da ciência, em particular, pela exclusão de todos os erros e fracassos. Até porque, na maioria das vezes os livros mostram a ciência pronta, omitindo como se deu a construção, e conseqüentemente os problemas enfrentados, levando, portanto, os estudantes a pensarem que a pesquisa científica nunca termina em fracasso, ao contrário de outras atividades humanas, instigando a ser obra de gênios. Então o estudo de episódio histórico é uma boa maneira de educar os alunos sobre a natureza da descoberta na ciência, pois na medida em que se descreve em detalhes o episódio, mostra-se que a descoberta é um produto coletivo, como bem diz Kipnis (2006): “todas as atividades humanas dependem do trabalho dos outros com influências do presente ou do passado”, ou seja, a descoberta não se dá de forma neutra; analisam-se os “erros” surgidos no processo; possibilitando um melhor entendimento da construção da ciência.

## 2.2 O Papel da Descoberta

No dicionário Aurélio a palavra Descoberta é descrita como: “1. coisa que se descobriu; invenção. 2. *Restr.* Terra descoberta, achada. 3. Achado, invenção, inovação.” (FERREIRA, 2008). Então temos o termo descoberta aqui como algo achado, encontrado, percebido.

No artigo *Discovery in science and teaching science*, Kipinis (2006) apresenta um diálogo fictício entre estudantes de ensino médio (high school, equivalente ao nosso ensino médio) sobre o que é preciso para se caracterizar uma observação como uma descoberta. As conclusões dos estudantes são um misto de meias-verdades e senso comum. E segundo o autor, uma compreensão mal definida da natureza de uma descoberta pode levar os estudantes a creditar que a atividade científica nunca leva a falhas, não podendo ser executada por seres humanos normais. Portanto, uma maneira de se mostrar a real natureza de uma descoberta científica é descrevendo aos alunos várias descobertas científicas históricas, ou seja, analisando um determinado episódio da ciência. O autor recomenda que “descoberta’ não seja utilizado como um título, mas sim relacionado com sua utilidade e a resposta que obteve. A simples menção de descobertas de fulano ou sicrano, deve ser substituída pelo contexto da descoberta, suas consequências e as reações, o significado da descoberta em si. A reprodução de descobertas históricas,

com um aprofundamento dos aspectos envolvidos permite que os alunos compreendam o processo de aquisição do conhecimento pelo cientista.

Segundo Portela (2006) não se pode apostar numa história somente como elemento motivador, limitada a datas e nomes de cientistas, fatos caricaturais ou anedotas (reais ou inventadas) ou em descobertas sensacionais como é feito em muitos livros didáticos. É importante um “balanço racional” dos aspectos históricos abordados. Essa história deve também desmistificar o papel da descoberta, como caracterizada por um título, que torna o pesquisador o gênio. E a escolha de um bom episódio acontecido na história possivelmente permitirá uma melhor compreensão da natureza da ciência.

Sendo assim, nesse trabalho utilizaremos um episódio histórico que já foi detalhadamente estudado por historiadores da ciência, evidenciando seu potencial pedagógico e suas implicações ao ensino. Desta forma, o presente trabalho ficará restrito a fontes históricas secundárias em que se evidenciam uma abordagem da história de forma a contribuir para os aspectos da natureza da ciência que buscamos que o aluno compreenda.

Os episódios escolhidos são sobre a descoberta dos raios X e sobre a descoberta da radioatividade, que apresentam uma história repleta de controvérsias, bem como permite uma aproximação maior do aluno com a história da ciência. A intenção é de problematizar o desenvolvimento histórico da ciência, para que eles venham perceber que a ciência não se dá de forma linear, neutra, sem um

conhecimento teórico do tema, enfim entender como acontece o desenvolvimento da ciência e superar a visão distorcida e simplista que carregam consigo.

## **2.3 O caso dos Raios X**

### ***A descoberta dos Raios X***

Tendo em vista que a descoberta da radioatividade está ligada à divulgação da existência dos raios X, em 1896, Martins (2002) acha importante abordar primeiramente a descoberta e divulgação dos raios X.

Os livros de física moderna trazem que os raios X foram descobertos pelo cientista Wilhelm Conrad Röntgen (1845-1923), em 1895. Considera-se geralmente que essa descoberta foi feita ao acaso, como se Röntgen tivesse apenas percebido a existência de um novo tipo de radiação. De acordo com Martins (2002), esse tipo de descrição passa uma visão errada sobre o processo de pesquisa científica, sendo importante desfazer esse tipo de mito. Ele argumenta que a pesquisa experimental pode ter alguma contribuição do acaso, mas em sua maior parte é um trabalho sistemático, racional, dirigido por pressupostos teóricos e exige muito nas observações e teste das hipóteses. O autor considera que ao analisar detalhadamente as contribuições de Röntgen poderá se compreender melhor o processo de descoberta de um novo fenômeno físico.

Sobre a descoberta dos raios X, Röntgen publicou três artigos: um no final de dezembro de 1895, um em março de 1896 e o terceiro em março de 1897. O primeiro artigo é o mais famoso, Röntgen enviou pelo correio cópias aos principais líderes científicos da época, e em poucas semanas seu trabalho começou a ser debatido e reproduzido no mundo todo. Mais de mil artigos sobre raios X foram publicados apenas no ano de 1896, e em 1901 ele foi premiado com o primeiro Prêmio Nobel de Física, por essa descoberta.

Mas nos trabalhos publicados por Röntgen ele não informou como aconteceu a descoberta do novo fenômeno, e são poucas as informações confiáveis. Martins (2002), no entanto, traz uma das pouquíssimas fontes de informação da própria época, que foi uma entrevista que Röntgen concedeu a um jornalista americano, Henry Dam, talvez em janeiro de 1896. Mas o autor deixa claro que a entrevista deve ser utilizada com cautela, pois Dam não falava bem alemão, Röntgen não falava bem inglês, e em parte da conversa ambos utilizaram o francês para se comunicar.

Primeiramente, Röntgen informou a Dam que havia partido das pesquisas anteriores sobre raios catódicos em tubo de vácuo, estudados por Hertz e Lenard.

Na época não se tinha um consenso sobre a natureza dos raios catódicos. Hoje em dia sabemos que são um fluxo de elétrons, e em 1895 os pesquisadores ingleses já defendiam a hipótese de que eles eram um fluxo de partículas dotadas de carga elétrica.

No entanto, os pesquisadores alemães (como Eugen Goldstein, Johann Wilhelm Hittorf, Gustav Wiedmann e Philipp Lenard) tinham uma opinião diferente: seriam ondas transversais, mas sujeitas a fenômenos capazes de desviá-las em campos magnéticos – um tipo de luz magnética. Gustav Jaumann, em 1895, sugeriu que os raios catódicos fossem ondas longitudinais, e justificava sua opinião com base em um fenômeno que se parecia com a formação de ondas estacionárias no tubo de descarga. No final de 1895 Jean Perrin conseguiu medir a carga elétrica transportada pelos raios catódicos, mostrando que eles eram dotados de carga negativa. (MARTINS, 2002, p 10)

Martins (2002) alega que havia muitas dificuldades na época, em se conceber os raios catódicos como um fluxo de partículas eletrizadas, pois embora fossem desviadas por ímãs, não se observava seu desvio em campos eletrostáticos; não pareciam produzir efeitos elétricos; e podiam passar por folhas metálicas finas, opacas à luz, o que parecia totalmente incompatível com o conceito de partículas materiais.

Heinrich Hertz, em 1892, descreveu que os raios catódicos podiam atravessar folhas finas de metal, ao estudar esses raios dentro do tubo de descarga. Seu aluno Philipp Lenard construiu tubos de descarga em que os raios catódicos podiam sair deles e serem estudados no ar ou em outros gases. Essa radiação, visível no ar, passou a ser chamada de “raios de Lenard” e podiam chegar a uma distância de alguns centímetros no ar. Corpos luminescentes colocados próximos ao tubo ficavam luminosos. Lenard observou que esses raios podiam sensibilizar chapas fotográficas e descarregar eletroscópios, sendo que essa descarga alcançava até 30 centímetros, uma bem maior do que a penetração dos raios Lenard

no ar. Talvez Lenard estivesse diante dos efeitos dos raios X, mas não aprofundou as pesquisas. Röntgen resolveu repetir alguns experimentos de Lenard. Em 1894, tinha o material necessário (tubos, folhas de alumínio, etc.) e conseguiu observar raios catódicos no ar e em hidrogênio em junho, mas não publicou nada a respeito.

No final de 1895 retomou os trabalhos. Em outubro ou novembro ele observou pela primeira vez os raios X. O processo da descoberta, segundo a entrevista, foi que ele estava trabalhando com o tubo de Crookes coberto por uma blindagem de papelão preto. Um pedaço de papel com platino-cianeto de bário estava na mesa, e ele tinha passado um corrente pelo tubo, quando notou uma linha preta no papel.

Se Röntgen estava fazendo experimentos com tubos de descarga, em uma sala escura, com o tubo de vácuo em volta em cartolina negra, ele provavelmente estava interessado em observar fracas luminosidades. Nos experimentos com raios de Lenard, observava-se uma fraca luminosidade no ar, perto da “janela” de alumínio. Observava-se também um fraco brilho em materiais luminescentes colocados diante da janela de alumínio. É plausível que Röntgen estivesse estudado efeitos desse tipo, caso contrário é difícil compreender por qual motivo o tubo estava envolto em papel escuro. Além disso, a presença de platino-cianeto de bário próximo ao tubo também reforça a ideia de que Röntgen estava estudando fenômenos desse tipo. (MARTINS, 2002, p 12)

Um detalhe que Martins (2002) considera difícil de compreender é a “linha preta”. Pois se a descrição de Dam for aceita, não deve ter sido a luminosidade do papel fluorescente que impressionou Röntgen, e sim o aparecimento de uma sombra. Parece que Röntgen foi guiado comparações entre o novo fenômeno e as

propriedades de radiações conhecidas – luz, raios ultravioletas, raios catódicos, etc., pois esses eram os agentes físicos conhecidos capazes de produzir fluorescência. O efeito tinha aparecido quando Röntgen ligou o tubo de descarga, mas poderia ter vindo de qualquer parte da aparelhagem que ele estava utilizando. No entanto ele se preocupou em descobrir de onde ele vinha, e assumiu que devia vir do tubo, testou e não teve dúvidas.

Röntgen poderia estar observando algo já conhecido, pois os tubos de descarga produzem raios catódicos capazes de excitar fluorescência. Mas o fato de que a causa da luminescência atravessava o papel que recobria o tubo e se propagava a uma distância considerável no ar indicava que havia algo novo. E ao perceber que havia algo novo, Röntgen estudou o que era essa coisa desconhecida, e começou a investigar o que os raios faziam. De acordo com Martins (2002) a entrevista concedida a Dam não mostrou a grande incerteza e angústia que ela produziu em Röntgen, e que foi relatado mais tarde. Röntgen achou a descoberta espantosa e extraordinária, repetindo o experimento muitas e muitas vezes, tentando excluir tudo o que não fosse pertinente ao trabalho de laboratório de sua mente. Ele trabalhou bastante por algumas semanas, procurando determinar as propriedades da nova radiação,

Röntgen foi descobrindo algumas propriedades dos novos raios. Eles se propagavam em linha reta, eram capazes de penetrar grandes espessuras de diversos materiais – sendo que os metais, em especial o chumbo, o absorviam mais

fortemente e eram capazes de produzir fluorescência em várias substâncias diferentes.

Fazendo analogia com a luz, radiação ultravioleta e raios catódicos, Röntgen estudou outras propriedades. Viu que os raios X podiam sensibilizar chapas fotográficas, como essas radiações. Não podiam ser refletidos nem refratados – diferenciando-os da luz e da radiação ultravioleta, mas aproximando-os dos raios catódicos. Os novos raios eram, no entanto, mais penetrantes do que os raios catódicos e, ao contrário desses não podiam ser desviados por ímãs. E ao fazer testes Röntgen não detectou fenômenos de interferência e polarização.

Por eliminação Röntgen foi concluindo que esses raios era realmente algo novo. Ele sugeriu que pudessem ser ondas eletromagnéticas longitudinais.

Na época de Natal de 1895, quando se sentiu suficientemente seguro com relação às principais propriedades dos novos raios, Röntgen redigiu seu primeiro artigo. No dia 28 de dezembro, levou o manuscrito ao Presidente da Sociedade Física e Médica de Würzburg e conseguiu convencê-lo a aceitar e publicar o artigo às pressas na revista da Sociedade (sem passar por árbitros nem ser apresentada em uma reunião da Sociedade como era a norma). O trabalho foi enviado para a publicação, e antes que fosse preparado, Röntgen convenceu a gráfica a imprimir um certo número de separatas. No dia primeiro de janeiro ele já estava enviando as separatas, acompanhadas por radiografias de diversos objetos – incluindo famosas imagens dos ossos da mão de sua esposa. Não se sabe quantas pessoas receberam a separata, mas percebe-se que essa tática de divulgação teve extremo sucesso. Em poucos dias, o seu trabalho já estava sendo lido e comentado em toda a sociedade científica (MARTINS, 2002, p. 15).

Martins (2002) conta que vários predecessores foram apontados de tempos em tempos. Na Inglaterra, Hebert Jackson aparentava ter observado a fluorescência do platino-cianeto de bário nas proximidades de tubos de descarga, e até mesmo observado sombras, alguns meses antes de Röntgen, mas não deu grande importância ao fenômeno e não investigou. Johann Hittorf, Eugen Goldstein e Philipp Lenard já tinham observado a fluorescência de alguns materiais próximos ao tubo de descarga, mas também não havia analisado o fenômeno.

Na década de 1880, Willian Crookes, que trabalhou durante muitos anos com raios catódicos e fotografia, havia notado com irritação que suas chapas fotográficas muitas vezes ficavam veladas antes de serem expostas à luz, e reclamou com o fabricante. É possível que esse fosse um efeito dos raios X, mas na época ele não investigou a questão. Vários autores alegaram ter descoberto os raios X antes, de um modo ou outro, mas nunca foi apresentado qualquer autor que tivesse realizado e publicado um trabalho semelhante ao de Röntgen. Ele definiu os raios X, estabeleceu suas propriedades significativas e os diferenciou das radiações conhecidas.

A partir do estudo de Röntgen, podia-se afirmar que os raios X:

1. Eram produzidos em tubos de Crookes ou de Lenard suficientemente evacuados, ligados a bobinas de indução;
2. Surgiam no vidro do tubo de descarga, na região que se tornava luminosa por efeito dos raios catódicos;
3. Propagava-se em linha reta
4. Eram invisíveis;

5. Podiam produzir luminescência em vários materiais que são fluorescentes sob efeito da radiação ultravioleta;
6. Atravessavam grandes espessuras de materiais opacos à luz e a outras radiações conhecidas;
7. Alguns materiais eram mais transparentes aos raios X do que outros – e essa propriedade dependia principalmente da densidade;
8. Eram capazes de afetar chapas fotográficas;
9. Sofriam reflexão irregular (difusão);
10. Pareciam não sofrer refração no vidro e outros materiais testados (se havia refração, era muito pequena), não podendo por isso ser concentrado por lentes;
11. Pareciam não sofrer deflexão ao passar perto de ímãs (se havia deflexão, era muito pequena);
12. Pareciam não produzir fenômeno de difração em fendas;
13. Pareciam não sofrer polarização;

Em alguns casos indica-se que os raios X “parecem” não ter certas propriedades, porque a não observação de um efeito não significa que ele não exista – mostra apenas que, se existia, era menor do que aquilo que podia ser observado. (MARTINS, 2002 p. 35)

Nessa descrição da descoberta dos raios X é possível compreender melhor como a ciência se desenvolve, podendo-se perceber que a descoberta ao acaso não é totalmente aleatória, pois para que aconteça a pessoa precisa possuir o conhecimento e treino adequados para conhecer o significado do fato observado, e deve seguir uma investigação do novo fenômeno.

## **2.4 O caso da Radioatividade**

### **2.4.1 A Conjetura de Poincaré**

De acordo com Martins (2002), os raios X foram discutidos na Academia Francesa de Ciências, pela primeira vez no dia 20 de janeiro de 1896. Henri Poincaré havia recebido de Röntgen uma separata do seu trabalho e cópias de radiografias, e apresentou oralmente à Academia um relato sobre a descoberta, comentando a importância do novo fenômeno e se mostrou interessado pelo assunto

Ao ser atravessado por uma descarga elétrica, o tubo de Crookes emite os raios X, observa-se que a parede do tubo de vidro de frente ao cátodo ficava luminescente, com um brilho amarelo-esverdeado, indicando que os raios x vinham dessa região.

Martins (2002) diz que Poincaré conjecturou que talvez houvesse alguma relação entre a emissão de raios X e a fluorescência do vidro. Sua hipótese não foi publicada, mas apareceu em uma revista popular tornando-se bem conhecida. Para Poincaré era o vidro que emitia os raios de Röntgen, e ele se tornava fluorescente ao emití-los.

Essa hipótese é chamada de “Conjetura de Poincaré”. Ela foi testada, levando a importantes descobertas, e foi a fonte do trabalho de Becquerel com urânio.

De acordo com os atuais conhecimentos, não há relação direta entre os raios X e a luminescência observada, mas essa pista, apesar de errada, serviu para orientar a descoberta de vários fenômenos.

Após o anúncio da descoberta de Röntgen, foram apresentados à Academia Francesa de Ciências vários trabalhos relacionados aos raios X. Segundo Martins (2002) na sessão semanal de 10 de fevereiro de 1896, Charles Henry relatou o primeiro teste da Conjetura de Poincaré. Charles Henry testou e concluiu que o sulfeto de zinco fosforescente era capaz de aumentar o efeito dos raios X produzidos por um tubo de Crookes. Para ele era possível obter radiografias sem utilizar tubos de raios X, cobrindo o objeto a ser radiografado com uma camada de sulfeto de zinco e excitando sua fosforescência pela queima de uma tira de magnésio, confirmando assim a conjetura de Poincaré. Na semana seguinte (17 de fevereiro de 1896), Gaston Henri Niewengloswki apresentou uma confirmação dos resultados de Charles Henry. Ele utilizou o sulfeto de cálcio, também fosforescente

Com as observações descritas por Henry e Niewengloswki, os materiais fosforescentes estudados pareciam emitir raios X quando excitados pela luz solar. Niewengloswki também testou se o sulfeto de cálcio continuaria emitir raios X quando colocado em um local escuro e concluiu que sim.

Em 24 de fevereiro de 1896, na Academia, Piltchikof relatou que era possível aumentar a intensidade dos raios X emitidos por um tubo de Crookes colocando um material fosforescente dentro do tubo evacuado, no lugar em que os raios catódicos atingem a parede de vidro. Com tubos

comuns, era necessário expor as chapas fotográficas durante vários minutos para obter uma radiografia. Com o dispositivo de Piltchikof o tempo era reduzido em 30 segundos. Essa era, portanto, uma nova confirmação (e aplicação tecnológica) da conjectura de Poincaré. (MARTINS, 2002, p. 57)

Para Martins (2002) esses resultados soarão estranhos ou impossíveis para qualquer físico atual, pois hoje se acredita que os corpos luminescentes não emitem, em geral, raios X. E Mesmo no primeiro trabalho de Röntgen era afirmado que os raios X podiam ser gerados quando os raios catódicos atingiam o alumínio, e, portanto sem produzir qualquer luminescência.

#### **2.4.2 Henri Becquerel e a Radioatividade**

Segundo Martins (2002), Antoine-Henri Becquerel (1852-1908) inicialmente trabalhou com seu pai Antoine-César Becquerel e se dedicou ao estudo de vários fenômenos eletromagnéticos, mas sua contribuição mais importante foi sobre luminescência. Ele foi a principal autoridade sobre fosforescência e fluorescência em sua época.

Becquerel se familiarizou com radiações ultravioletas e infravermelhas e estudou o efeito da radiação infravermelha na liberação de luz por algumas substâncias fosforescentes. Realizou pesquisas usando a maioria das substâncias luminescentes que haviam sido colecionadas por seu pai – incluindo alguns compostos de urânio. Os compostos de urânio eram interessantes para pesquisa

sobre luminescência porque havia muitas substâncias fosforescentes diferentes que continham urânio e sua fosforescência era excepcionalmente forte.

Henri Becquerel se interessou e testou a conjectura de Poincaré. A primeira pesquisa dele sobre a relação entre raios X e luminescência foi apresentada à Academia de Ciências no dia 24 de fevereiro de 1896. Nessa comunicação, ele reconheceu os estudos de Charles Henry e Niewengloswki, sem crítica ou restrição, ou seja, aceitou que os corpos luminescentes emitiam raios X. A novidade desse primeiro artigo de Becquerel foi o uso de uma nova substância – o sulfato duplo de urânio e potássio, e os resultados obtidos foram semelhantes aos de Henry e Niewengloswki.

No segundo artigo, que é considerado aquele que contém a descoberta da radioatividade, apresentado em 2 de março de 1896, Becquerel comparou os efeitos produzidos pelos cristais de sulfato duplo de urânio e potássio com radiações produzidas por tubos de raios X, e notou que elas possuíam poderes de penetração diferentes. Para ele a emissão de radiação penetrante ocorria quando a substância fosforescente estudada recebia a luz solar diretamente, ou refletida por um espelho, ou refratada.

Becquerel partiu da suposição de que os corpos luminescentes emitiam raios X enquanto estivessem luminosos. Ele esperava um efeito muito fraco de seus cristais de urânio, já que sua fosforescência visível diminuía muito rapidamente no escuro, mas não foi o que observou.

Apesar do efeito forte não ser esperado poderia ser explicado de acordo com conhecimento da época a respeito da fosforescência.

A cor resultante observável de uma substância colocada no escuro geralmente muda com o tempo. Poderia ocorrer, portanto, que a fosforescência visível de curta duração no cristal de urânio fosse acompanhada por uma fosforescência invisível de longa duração com emissão de radiação penetrante, e foi essa a explicação dada por Henri Becquerel. (MARTINS, 2002 p.63)

Mas para Martins (2002), Becquerel ainda estava longe de suspeitar que tinha observado algo semelhante ao nosso conceito de radioatividade.

Bem, a descoberta dos raios X levou a importantes pesquisas, e uma curiosa foi a busca por animais que emitissem essas radiações. A justificativa é lógica, se for levada em conta a Conjetura de Poincaré, pois os animais luminescentes deveriam emitir raios X, se a produção desses raios estivessem realmente associada a luminescência.

De acordo com Martins (2002) até 1898, o trabalho de Becquerel não foi submetido à repetição sistemática, nem a críticas. Ele foi simplesmente descrito nas revistas e aceito como uma contribuição que não contrastava fortemente com outros fenômenos conhecidos e por isso não exigia qualquer análise mais profunda.

Antes das pesquisas de Schmidt e Curie, apenas dois aspectos do trabalho de Becquerel haviam sido criticados: a polarização dos raios de urânio e a excitação dessa radiação pela luz.

Em 1899, Becquerel reconheceu pela primeira vez alguns de seus erros antigos, mas tentou transmitir a impressão de que ele próprio havia se corrigido. Para Martins (2002), Henri Becquerel utilizou uma estratégia sistemática: transformou seus erros antigos em sucessos, descrevendo como suas as descobertas de outros e distorcendo toda a história da radioatividade, tentando mostrar que ele próprio era o protagonista central. Ele não assumiu que foram outros que observaram seus erros, mas que ele mesmo os tinha visto e justificou-se.

Antes de 1898, Becquerel nunca tinha descrito a emissão da radiação do urânio como “espontânea”. Mais tarde, quando percebeu que esse era um dos aspectos fundamentais da radioatividade, reinterpreto seu trabalho, dizendo que entre as propriedades que apontou no início de suas pesquisas como características daquela radiação desconhecida, havia três fundamentais: a espontaneidade da radiação, sua constância e a propriedade de transmitir condutividade elétrica aos gases.

Até 1898, Becquerel descreveu que a emissão de radiação por sais de urânio diminuía com o tempo, aumentando ao receber um forte estímulo luminoso. Depois ele passou a afirmar que, após notar que o sal de urânio emitia radiação no escuro, já havia suposto que sua intensidade era constante.

No primeiro capítulo de sua obra de 1903, Becquerel apresentou as propriedades fundamentais da radiação do urânio, e descreve todas as evidências como se ele tivesse chegado sozinho a todas as conclusões corretas: a radiação é espontânea, não aumenta quando excitada por

agentes físicos, os raios não podem ser refletidos, refratados ou polarizados, etc. Não é dado nenhum crédito a Rutherford, Schmidt, Elster e Geitel, Le Bom e outros. Ele também transmitiu a visão de ter sido o principal protagonista das pesquisas sobre radioatividade depois da emissão de radiação pelo tório. (MARTINS, 2002, p. 111)

Assim, pode-se perceber que a pesquisa experimental de Henri Becquerel sobre o fenômeno que atualmente chamamos de radioatividade tinha muitos erros. A começar que ele partiu de uma hipótese errada, que foi a Conjetura de Poincaré. No entanto não se pode desmerecer sua importância, já que acabou desencadeando diversas pesquisas, que terminaram por corrigir tais erros. E Becquerel teve muito sucesso, dando a volta por cima ao reinterpretar seu trabalho, e levando a comunidade científica a crer que ele mesmo tinha observado e corrigido os raros erros, sem esquecer que ele foi ganhador de um prêmio Nobel.

### **2.4.3 Marie Curie e a Radioatividade**

De acordo com Martins (2002) é comum considerar que a radioatividade foi descoberta por Henri Becquerel, em 1896, e que a principal contribuição de Marie Curie (1867-1934) foi a descoberta de novos elementos radioativos (tório, polônio e rádio) em 1898. A contribuição de Marie Curie é tida como uma consequência do trabalho de Becquerel, pois ao descobrir a radiação do urânio não seria estranho buscar outros elementos radioativos. Martins (2002) apresenta uma nova interpretação, plausível, do trabalho de Marie Curie no início de 1898.

Como após o primeiro ano de estudos a investigação da radiação do urânio não proporcionava resultados interessantes, o próprio Becquerel foi se desinteressando pelo assunto e não chegou a fazer uma busca sistemática de outros materiais que tivessem propriedades semelhantes aos compostos do urânio, e de acordo com sua atitude não era “natural” procurar outros elementos que emitissem radiações como as do urânio, pois ele acreditava que o urânio era um elemento *sui generis*.

O trabalho de Marie Curie, com apenas três páginas, foi apresentado no dia 12 de abril de 1898 na Academia de Ciências de Paris e descrevia os principais resultados obtidos.

Utilizando o método elétrico (medida da condutividade elétrica no ar) Marie Curie havia examinado um grande número de compostos de urânio e havia determinado que todos eles emitiam radiações ionizantes, de uma intensidade proporcional à quantidade de urânio que continham. Isso indicava que a emissão de radiação não era um fenômeno associado à estrutura molecular ou cristalina das substâncias em questão e dependia apenas da quantidade de urânio presente. Para ela a radiação dependia da quantidade de átomos de urânio presente.

Pesquisando sistematicamente outras substâncias, Marie Curie notou que o tório e seus compostos também emitiam radiações ionizantes – até mesmo mais intensas do que o urânio metálico. Quanto aos outros elementos químicos testados, ela indicou que o cério, o nióbio e o tântalo também pareciam fracamente ativos. Já se sabia que o fósforo branco também era capaz de ionizar o ar, mas Marie Curie apontou que outras formas do fósforo (fósforo vermelho ou fosfato) não produziam o mesmo efeito, e que, portanto provavelmente se tratava de um fenômeno de natureza diferente.

Examinando diversos minerais Marie Curie notou que, como era de se esperar, todos os minerais que continham urânio e tório emitiam

radiações ionizantes. Porém, de modo surpreendente, observou que alguns minerais produziam radiações mais intensas do que o urânio ou o tório puros. A calcolita natural, por exemplo, era duas vezes mais ativa do que o urânio metálico. Isso contrastava com os resultados anteriores que indicavam que a intensidade da radiação era proporcional à quantidade de tório ou de urânio dos compostos. Para verificar se esse resultado era devido a natureza química dos minerais, Curie sintetizou um dos minerais, a calcolita (fosfato cristalizado de cobre e de urânio) a partir de substâncias químicas puras e notou que essa calcolita artificial era tão ativa quanto outros sais de urânio, e menos ativa do que o urânio puro, não tendo portanto atividade tão grande quanto o mineral. Marie Curie conjecturou que esses minerais deviam conter algum outro elemento desconhecido, mais ativo do que o urânio. (MARTINS, 2002, p. 187)

E na busca de algum elemento químico desconhecido nos minerais citados, Marie Curie chegou logo depois à descoberta do polônio e do rádio.

Por que Becquerel não procurou outros elementos ativos como Marie Curie? Bem, ele até que procurou, mas em vez de fazer uma busca sistemática, Becquerel apenas estudou alguns compostos luminescentes conhecidos (sulfeto de zinco, sulfeto de cálcio, etc.), por acreditar que a radiação estava relacionada com a fosforescência da substância.

A maior parte das pesquisas feitas por Becquerel sobre a radiação do urânio foi realizada através do método fotográfico, ou seja, colocando os materiais testados próximos a uma chapa fotográfica envolta em papel negro (e, às vezes, coberta por uma placa de vidro ou alumínio). Após várias horas de exposição a chapa fotográfica era revelada.

O objetivo da pesquisa de Marie Curie era reproduzir para os raios do urânio o mesmo tipo de estudo que já fora feito com os raios X, empregando o método elétrico. Segundo Martins (2002), a justificativa apresentada pela própria Marie para o uso da técnica elétrica era que ela permitia obter resultados mais rápidos do que o método fotográfico e fornecia medidas numéricas comparáveis entre si.

No artigo que escreveu em 1898, Marie Curie falou sobre alguns resultados que mostravam a espontaneidade e constância da radioatividade: (1) a radiação do urânio não é influenciada pela luz ou pela exposição ao sol; (2) ela não é influenciada pela temperatura; (3) ela não é influenciada por reações químicas, pela dissolução em água ou pela adição de impurezas. Esses resultados possibilitavam um fenômeno diferente da fosforescência.

Depois Marie examinou um grande número de metais e observou que nenhum deles produzia condutividade no ar. Examinou um mineral do urânio (pechblenda ou uraninita), que produziu efeitos semelhantes ao urânio puro, como previsto. No entanto, notou que a corrente elétrica observada com a pechblenda era maior do que no caso do urânio puro, contrariando as observações de Becquerel, pois esperava-se que a pechblenda mostrasse uma atividade inferior. Marie Curie imaginou que poderia ter ocorrido um erro experimental, então examinou a aparelhagem, fez testes, refez as medidas e confirmou os resultados iniciais.

Marie poderia ter ignorado essa anomalia da pechblenda e continuado sua pesquisa, mas se deteve ao fenômeno e começou a suspeitar que a pechblenda,

além do urânio, continha alguma outra substância que também emitia radiações ionizantes e que não havia sido ainda detectada.

A pechblenda contém, além de óxido de urânio, várias outras substâncias em pequena quantidade – incluindo tório. Talvez por causa disso Marie tenha examinado um mineral de tório e nióbio, que não contém urânio e logo notou que ele emitia radiação ionizante. Testando separadamente os elementos presentes nesse mineral, observou que apenas o tório emitia radiações. Analisando em seguida diversos minerais de urânio e tório, notou que todos eles emitiam radiação penetrante. Estava, assim, estabelecida a existência de um segundo elemento – o tório – com propriedades semelhantes às do urânio, o que Marie não sabia é que Schmidt já havia feito e publicado a mesma descoberta, algumas semanas antes. (MARTINS, 2002, p. 211)

Após a descoberta de que o tório também emitia radiações semelhantes às do urânio Marie percebeu que era um fenômeno mais geral, e não de um único elemento, então ela e seu marido Pierre Curie propuseram o nome radioatividade para caracterizar o fenômeno que estavam estudando.

Um dos passos que Martins (2002) considera mais importante de Marie Curie é a hipótese de que a emissão de radiação penetrante é uma propriedade atômica do urânio (e, depois, do tório), pois explicava muitos fatos, apesar de conflitar com o fato de alguns minerais, como a pechblenda e a calcolita, serem mais fortes do que a de seus componentes conhecidos. Para o autor foi a ideia da propriedade atômica levou os Curie à descoberta do polônio e do rádio.

A calcolita é um mineral que contém principalmente fosfato duplo de urânio e cobre. A amostra examinada por Marie Curie tinha uma atividade muito superior à do

urânio ou do tório puros. Marie, então, sintetizou o fosfato duplo de urânio e de cobre, a partir de substâncias químicas puras. A calcolita artificial produzida comportava-se como os outros compostos de urânio, ou seja, era menos ativa do que o urânio metálico puro. O resultado confirmava a hipótese da propriedade atômica e sugeria que havia na calcolita natural algum elemento desconhecido, mais ativo do que o urânio.

Depois de Marie testar quase todos os elementos conhecidos surgiu a hipótese de que existisse nesses minerais outro elemento, ainda desconhecido pelos químicos, também radioativo como o urânio e o tório, e que talvez fosse possível descobri-lo através do estudo da radiação. Foi essa busca que conduziu à descoberta do polônio e, pouco depois, do rádio, tendo como ponto de partida da pesquisa a medida da radioatividade das substâncias e o uso de processos de análise química para obter substâncias com uma atividade cada vez maior.

Com o estudo apresentado é possível perceber a combinação de hipóteses e trabalho experimental na pesquisa dos Curie. Martins (2002) diz que, certamente, houve uma contribuição do acaso – o fato da pechblenda possuir atividade maior do que a do urânio puro – mas o restante da pesquisa foi guiado por suposições claras. E foi por causa dessas hipóteses que os Curie obtiveram resultados que não foram conseguidos por Becquerel ou por outros pesquisadores da época.

E por que, então, a Academia Real Sueca de Ciências atribuiu a descoberta da radioatividade a Becquerel?

Para Martins (2002), a Academia Sueca de Ciências estava mal informada acerca da real contribuição de Becquerel e de outros pesquisadores ao conhecimento da radioatividade, e para ele essa falta de informação foi devido a estratégia sistemática e propaganda de Becquerel.

A descoberta da radioatividade é um episódio histórico a ser levado para sala de aula, em que é possível discutir com os alunos como se dá o desenvolvimento da ciência. Essa descoberta, como tantas outras, se deu a partir de um esforço gradual e coletivo ao longo dos anos, em que vários pesquisadores estavam envolvidos. Seu início foi com a busca de radiações penetrantes emitidas por corpos luminescentes, motivada pela descoberta dos raios x e pela conjectura de Poincaré. Muitos pesquisadores deram sucessivas contribuições que levaram, depois de vários anos, ao esclarecimento das propriedades e da natureza radioativa. Ou seja, a radioatividade não foi descoberta de uma hora para outra, nem teve seu desenvolvimento estagnado, mas teve seus conceitos aprimorados e desenvolvidos ao longo dos anos por vários estudiosos.

## CAPITULO 3

Neste capítulo descrevemos o trabalho realizado, que pode ser dividido em duas partes. Uma delas corresponde ao próprio trabalho de pesquisa, que envolveu revisão bibliográfica, definição de estratégias e elaboração de textos. Outra parte corresponde à intervenção realizada, com o estudo do material histórico, a atuação em sala de aula e a análise dos resultados.

### 3.1 Preparando o Terreno

Para a definição do trabalho, foi feita inicialmente uma abordagem e análise bibliográfica acerca da história e filosofia da ciência e da natureza da ciência, focando nas contribuições que esses temas trazem para o ensino e sua importância na compreensão da construção da ciência. De acordo com Bogdan e Biklen (1991), a teoria ajuda à coerência dos dados e permite ao investigador ir além de um amontoado pouco sistemático e arbitrário de acontecimentos, portanto, antes das investigações propriamente ditas e suas respectivas análises, foi realizado um levantamento teórico, de maneira a alicerçar a pesquisa, como também resgatar sua importância no ensino.

Feita a revisão bibliográfica, iniciamos a busca pela melhor estratégia a ser adotada na intervenção, bem como em que “público” atuaríamos. Devido ao fato de

trabalharmos com um episódio histórico que trata de física moderna, não seria possível utilizar laboratórios, já que não havia na escola os materiais necessários, como kits para raios-x ou radioatividade. Desta forma, optamos por trabalhar apenas com leitura e análise de textos que descreviam o episódio. O assunto do episódio também limitou o “público”, pois seria necessário que os alunos já tivessem alguma noção sobre radiação e ondas eletromagnéticas. Desta forma, para a realização das atividades foi escolhida uma turma de 3ª série do Ensino Médio Regular, turno tarde, de escola Pública Estadual – Escola São Sebastião - em Campina Grande, Paraíba, composta por 20 alunos (6 homens e 14 mulheres), com idade média de 18 anos, residentes parte em zona urbana e parte em zona rural, em que a presente autora foi a professora pesquisadora.

No entanto, sobre a natureza da ciência seria necessária uma atividade prática para que os alunos tivessem um exemplo explícito do que é o fazer científico. Assim, escolhemos como atividade introdutória uma dinâmica que simulava alguns dos passos do fazer científico.

Descreveremos a seguir as atividades realizadas.

### **3.2 Dinâmica: Simulando a Ciência**

No dia 07 de Outubro de 2009 foi realizada uma atividade prática que tinha como objetivo discutir sobre Ciência. Estavam presentes 19 alunos (6 homens e 13

mulheres), com idade média de 18 anos. A atividade havia sido proposta em um workshop realizado na Universidade Estadual da Paraíba – UEPB– pelo professor Peter Heering (Universidade de Flensburg – Alemanha), podendo trazer importantes contribuições para uma discussão sobre a Ciência. A atividade consiste em uma tentativa de reproduzir um modelo de investigação científica.

A turma foi dividida em 4 grupos, sendo três grupos de 5 alunos e 1 grupo de 4 alunos. Para realização da atividade foram disponibilizadas três caixas (utilizamos pequenas bacias, 2 delas com cerca de 12cm de diâmetro e outra quadrada, medindo 14cmx14cm, todas bem fechadas e opacas) e três bolsas (nesse caso foram três capas para almofadas, com medidas 30cmx30cm) com objetos em seus interiores, como cliques, rolha de cortiça, uma cabra de plástico, entre outros, sendo que os alunos deveriam tentar descobrir o que havia dentro das bolsas e das caixas, de maneira mais precisa possível. Em seguida deveriam tentar encontrar um consenso com seu grupo e anotar o que achavam estar no interior das caixas e bolsas. Cada caixa e cada bolsa deveria ser passada para cada grupo, sem que as observações fossem contadas. E é claro, não poderia haver trapaça (quebrar as caixas, abrir o zíper).

Após o consenso entre os membros dos 4 grupos, as observações foram colocadas no quadro, para conhecimento de toda a sala. Com a apresentação da justificativa de cada um dos grupos para a resposta dada, buscou-se um consenso

geral entre todos os alunos da sala, e em seguida houve uma comparação, através de diálogo, da dinâmica com o desenvolvimento da ciência.

A atividade foi realizada com sucesso, necessitando para tanto 2 horas/aulas de 40 minutos cada. Sendo completada com um debate justificando sua realização.

Após essa dinâmica bem participativa, a proposta foi trabalhar os textos sobre o episódio histórico, mas para tanto se viu a necessidade dos alunos conhecerem alguns conceitos importantes, como fluorescência, fosforescência e radioatividade, sendo sugerida uma pesquisa em dicionários e na grande rede (Internet). O resultado da pesquisa realizada foi debatido em sala junto com os alunos na aula seguinte.

### **3.3 As intervenções com o Episódio Histórico**

No dia 28 de Outubro de 2009 foi trabalhado o texto “A Descoberta dos Raios X” que se encontra no anexo 2, sendo uma adaptação do artigo “A descoberta dos raios X: o primeiro comunicado de Röntgen” de autoria de Roberto de Andrade Martins (1998). Estavam presentes 18 alunos (6 homens e 12 mulheres). O texto foi lido e debatido na aula com os alunos, fazendo, quando possível, uma relação com a atividade prática realizada anteriormente, com o objetivo de compreender como se dá a construção da ciência. No final foram propostas três questões abertas para verificar a compreensão do texto pelos alunos, que responderam individualmente,

ainda em sala, e entregaram em seguida. Foram necessárias 2 horas/aulas de 40 minutos cada.

No dia 04 de Novembro de 2009 foi a vez do texto “A Descoberta da Radioatividade – Henri Becquerel X Marie Curie”, localizado no anexo 3, sendo uma adaptação do artigo “As primeiras investigações de Marie Curie sobre os elementos radioativos” de autoria de Roberto de Andrade Martins (2003). Estavam presentes 19 alunos (6 homens e 13 mulheres). O Texto também foi lido e debatido na aula, seguido de três questões abertas, logo após a abordagem do texto em sala de aula, objetivando a verificação da aprendizagem dos alunos quanto ao desenvolvimento da ciência. Também foi realizado em 2 horas/aulas de 40 minutos cada. Os textos produzidos foram uma adaptação de artigos de Roberto Martins, em uma linguagem mais acessível aos alunos, com cortes, no entanto com a preocupação de deixar fatos e controvérsias importantes, de maneira a não prejudicar a essência do texto e de sua história.

As situações controversas presentes nos episódios possibilitaram ver que conceitos científicos podem ter diferentes interpretações de acordo como a posição dos cientistas. De acordo com Matthews (1998), a utilização de episódios históricos em que são mostradas ideias contrárias contribui melhor para a compreensão da natureza da ciência do que a apresentação de ideias prontas e acabadas sobre uma visão adequada de ciência.

As questões propostas após cada texto tinham como objetivo investigar se a apresentação do material histórico trouxe impactos na visão de conhecimento dos alunos em relação à natureza da ciência. Os resultados obtidos em cada etapa serão analisados no próximo capítulo.

## **4. DISCUSSÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS**

Neste capítulo apresentamos os resultados da dinâmica e das intervenções feitas. Vale lembrar que em todas as atividades a professora foi a responsável pela atividade prática e também pela coleta dos dados. As intervenções foram gravadas (áudio) e fotografadas.

### **4.1 Simulando a ciência**

A primeira atividade realizada se deu de forma bastante interativa. Foi uma atividade prática, proposta no workshop por Peter Heering, em que os alunos dispunham de bolsas e caixas contendo objetos desconhecidos, conforme sugere o anexo 1. As bolsas e caixas foram passadas pelos quatro grupos formados, e os alunos tentavam descobrir a sua maneira o que havia dentro delas. Apalpavam, balançavam, analisavam o barulho produzido, tentavam imaginar a dimensão do objeto, enfim iam buscando o máximo de características possíveis.

Assim como no desenvolvimento da ciência, que geralmente tem como ponto de partida teorias conhecidas, ocorreu durante a dinâmica, pois os alunos obtinham as características e as associavam a algo já conhecido.

Cada integrante do grupo sugeria algo que imaginava ter dentro das bolsas e caixas, os demais de cada grupo discutiam e avaliavam se as características condiziam com que o outro estava imaginando, e concordavam ou não com as ideias dos outros. Quer dizer, a opinião era socializada no grupo em busca de um consenso, que nem sempre se chegava.

Dessa maneira todas as bolsas e caixas foram analisadas nos grupos, sem que houvesse inicialmente a divulgação da opinião do grupo para toda a turma.

No final toda a turma foi questionada sobre cada bolsa e cada caixa, então os grupos iam dizendo o que imaginavam existir lá dentro e o porquê da sugestão, então os outros grupos levantavam questões e muitas vezes discordavam. Ou seja, havia a socialização para a divulgação ao grupo maior em busca de um consenso geral.

Para concluir a atividade foi aberto um momento de discussão para explicar os objetivos da atividade, momento este que foi gravado. Foi dito que o objetivo da atividade era entender mais ou menos como a ciência se desenvolve, como as descobertas científicas acontecem. Foi questionado se havia um consenso imediato dentro do grupo ao tentar descobrir os objetos que se encontravam dentro das bolsas e caixas: os alunos disseram que não. Após argumentações, e da maneira que cada um observava e defendia suas ideias, iam chegando a um consenso dentro do grupo. Da mesma maneira nem sempre os cientistas concordam uns com os outros.

Também foi colocado que a ciência aborda fenômenos naturais, diferenciando da atividade proposta, porém os processos de analogias e modelos que foram executados se assemelham ao que os cientistas fazem no desenvolvimento das teorias.

Foi levantado que as propostas sugeridas pelos alunos poderiam ser verdades eternas ou temporárias. Pois se todos concordassem com a existência de um determinado objeto dentro de uma bolsa, por exemplo, isto poderia ser aceito como verdade; mas se depois de um determinado tempo alguém concluísse e demonstrasse que alguma característica não condizia com o objeto proposto, então a suposição deixaria de ser verdade. Da mesma maneira que acontece na ciência.

Os alunos também propunham sempre algo conhecido. Só associavam algo de sua convivência.

Não há uma única maneira de se fazer ciência, como não há apenas uma maneira de se descobrir o que tinha dentro das bolsas e caixas. Cada um ia tentando descobrir a seu modo. Como cada cientista tem seu método, até para uma mesma pesquisa.

Interessante foi a curiosidade em saber o que realmente existia dentro das bolsas e caixas. Todos os alunos da turma queriam e esperavam pela abertura das mesmas, na intenção de visualizar os objetos e confirmarem ou não suas sugestões. Mas para a decepção deles não foi o que aconteceu, justificando para tanto que na

ciência não há verdade absoluta, pois um conhecimento pode ser válido num dado momento e depois não valer mais, que a ciência vai se construindo ao longo da história. A ciência é uma caixa, os cientistas são curiosos e querem descobrir o que a caixa contém, mas não há verdades absolutas. As contradições fazem parte da ciência. De início ficaram um pouco revoltados, mas compreenderam o objetivo da atividade, afinal não há uma receita pronta para se fazer ciência, então seria inviável abrir as bolsas e caixas.

## 4.2 O raios- X

O primeiro episódio histórico abordado foi sobre a Descoberta dos Raios X, cujo texto foi uma adaptação do artigo “A descoberta dos raios X: o primeiro comunicado de Röntgen” de autoria de Roberto de Andrade Martins de 1998, e se encontra no anexo 2.

O texto foi lido e discutido com os alunos em sala de aula, em seguida foram propostas três questões abertas com objetivo de avaliar a visão dos alunos com relação ao desenvolvimento da ciência,

1ª Questão: *Como Röntgen chegou a conclusão de que era algo realmente novo?*

Todos os alunos responderam a esta pergunta de maneira semelhante, dizendo que para chegar à conclusão de que os raios que estava estudando era algo novo, Röntgen comparou suas propriedades com a luz e com as demais radiações existentes, como raios ultravioletas, raios catódicos, etc. e então, por eliminação, percebeu que se tratava de um fenômeno desconhecido. E para analisar tais propriedades foi necessário realizar vários experimentos.

Algumas respostas dos alunos:

*- Röntgen fez eliminações, concluindo que os raios não eram luz e também não eram nenhuma radiação eletromagnética conhecida, como raios ultravioleta, infravermelho e ondas de rádio, daí ele concluiu que eles não eram raios catódicos, e sim algo novo realmente.*

*- Porque em seus trabalhos Röntgen foi testando um a um, e a cada teste para descobrir o que era levava a conclusão que não era luz e nenhum tipo de raio infravermelho ou ondas de rádio, nem raios catódicos e sim uma nova radiação invisível, com isso concluiu que era algo realmente novo.*

*- Pelo fato de que esse novo ente atravessava o papel que recobria o tubo, e se propagava a uma distância considerável no ar, coisa que nenhuma outra radiação, como a luz, raios ultravioletas, raios catódicos, etc. conseguia. Assim Röntgen concluiu que era algo realmente novo.*

*- Ele foi descobrindo algumas propriedades dos raios novos, que se propagavam em linha reta, produzindo por isso sombras regulares, que eram capazes de penetrar grandes espessuras de diversos materiais. Com essas observações Röntgen foi concluindo que esses raios não eram luz, nem outra radiação conhecida, e sim algo realmente novo.*

Essas respostas eram esperadas, pois para que surja algo novo, muitas vezes surge através de comparações do que já existe. Os alunos sugeriam sempre algo já conhecido na tentativa de descobrir o que havia dentro das bolsas e caixas. Não foi proposto nada novo, mas se eles discordassem das características, como sendo algo diferente do existente, seria possível a sugestão de alguma coisa ainda desconhecido. A teoria é fundamental para alicerçar as experiências e o conhecimento científico.

*2ª Questão: Qual deveria ser o próximo passo de Röntgen para que os raios X fossem conhecidos e pudessem ser confirmados?*

Nessa resposta também houve certo consenso. Os alunos responderam que para que os raios X fossem conhecidos e confirmados, o próximo passo de Röntgen seria divulgar entre os demais cientistas, para que eles também pudessem analisar

e dizer se a descoberta era algo novo. Outra sugestão, que até se completa, foi a divulgação para a comunidade em geral. Quer dizer, propuseram a divulgação a um grupo maior, na perspectiva de consenso que consolidasse, pelo menos naquele momento, a descoberta.

Algumas respostas obtidas:

*- O próximo passo para que os estudos de Röntgen fossem conhecidos era a divulgação para o povo e estudiosos da época, com intuito de fazer com que essas pessoas pudessem acreditar que seu projeto iria ter importância para a vida e para a ciência.*

*- O próximo passo que Röntgen deveria ter tomado era divulgar às autoridades científicas de sua época sobre sua descoberta.*

*- Divulgando a descoberta para a sociedade científica, para que, com a ajuda de outros físicos, os raios X fossem estudados com mais profundidade para a confirmação de sua existência.*

*- Fazer demonstração para outras pessoas, e assim ajudaria a divulgar a sua descoberta.*

*- Deveria divulgar a sua descoberta para outros cientistas para serem feitos testes mais precisos e assim ficar conhecido entre outras pessoas.*

3ª Questão: *Lenard poderia ter chegado às mesmas conclusões de Röntgen, mas não investigou mais profundamente os efeitos que observou. Você acha que, se tivesse investigado, ele poderia ter chegado às mesmas conclusões que Röntgen? O que leva duas pessoas a, observando a mesma coisa, chegarem a conclusões diferentes?*

As respostas a esta pergunta foram um pouco divergentes. Alguns alunos opinaram que sim, Lenard poderia ter chegado às mesmas conclusões que Röntgen, dependendo da cautela e interpretação durante as pesquisas, do que se queria observar e como aconteciam as observações.

Outros alunos responderam que Lenard não poderia ter chegado as mesmas conclusões de Röntgen, pois eles tinham pensamentos diferentes, e maneira de realizar experimentos e observações podem levar a opiniões divergentes. Assim o meio que se utiliza e aonde se quer chegar influencia nas conclusões.

Vejamos algumas respostas:

*- Não, porque ambos estudaram os raios X de maneira e métodos diferentes, o que poderia gerar conclusões diferentes.*

*- Se Lenard tivesse investigado um pouquinho mais ele teria chegado a mesma conclusão de Röntgen. Acho que se duas pessoas observam algo e chegam a conclusões diferentes, é porque um, no caso Röntgen, observou com mais cautela e interesse.*

*- Não. O modo de pesquisa que cada indivíduo desenvolve para estudar o mesmo assunto, podem levar as respostas diferentes.*

*Sim, tendo em vista que Röntgen começou a sua pesquisa de onde Lenard parou. O que leva duas pessoas a tomarem rumos diferentes em uma mesma coisa, são os seus pontos de vista, como cada uma ver o objeto em si.*

De certa forma as respostas se assemelham porque assumem como pressuposto para chegar a um resultado, a forma como os dados são interpretados. Ou seja, os alunos confirmaram que a observação está carregada de teoria.

### **4.3 A radioatividade**

O segundo episódio foi intitulado “A descoberta da Radioatividade: Henri Becquerel x Marie Curie”, sendo uma adaptação do artigo “As primeiras investigações de Marie Curie sobre os elementos radioativos” de autoria de Roberto de Andrade Martins de 2003.

A abordagem do texto se deu através de leitura e debate em sala de aula, seguidos de três questões abertas:

1ª Questão: *A conjectura de Poincaré influenciou nos experimentos e observações de Becquerel?*

Grande parte dos alunos (13 alunos) concordou que a conjectura de Poincaré influenciou nos experimentos e observações de Becquerel, pois seus experimentos confirmavam a conjectura, sendo esta a base de suas pesquisas, além de ter sido testada e confirmada por outros pesquisadores. Seis alunos disseram que a conjectura não influenciou, e para esses as justificativas foram confusas.

Algumas respostas:

- *Sim, pois a conjectura de Poincaré serviu com base para o estudo de Becquerel.*

- *Sim, pois a conjectura de Poincaré comprovava e confirmava as observações de Becquerel.*

- *Sim, pois sua conjectura foi testada por diversos pesquisadores e serviu como base para o estudo de Becquerel.*

- *Sim, pois logo após a conjectura de Poincaré, que dizia haver relação entre luminescência e raios X, o cientista Becquerel deu início aos seus estudos com urânio, que confirmava a conjectura.*

- *Não, porque Poincaré achou que poderia haver relação entre a emissão de raios X e a própria luminescência. Já Becquerel passou a estudar logo o urânio, ao invés de procurar saber o resultado das pesquisas dos outros cientistas.*

2ª Questão: *Quais foram os elementos que contribuíram para o sucesso da pesquisa de Marie Curie?*

Apenas cinco falaram que o sucesso se deu pelo amplo campo de pesquisa utilizado por Marie e por ela ter sugerido a hipótese da radiação ser uma propriedade atômica. Três alunos citaram apenas o fato dela ter examinado um grande número de materiais. Dois alunos responderam que foi o estudo de Marie Curie sobre a pechblenda, mas não justificaram de maneira clara. Os demais apresentaram respostas bem confusas, pois é perceptível que os alunos entenderam a questão que elementos apenas como quais elementos químicos, e não que fatores contribuíram para o sucesso da pesquisa?

Algumas respostas obtidas:

- *Marie Curie utilizou amplo campo de pesquisa, e adotou a hipótese de que a emissão de radiação é uma propriedade atômica.*

- *Os elementos que contribuíram para o sucesso de Marie Curie foi o estudo dos minerais e de compostos químicos puros.*

- *Os elementos que contribuíram para o sucesso de sua pesquisa foram mais precisamente a pechblenda – mineral do urânio, e o tório.*

3ª Questão: *Tanto Becquerel quanto Marie Curie estavam pesquisando o urânio, mas chegaram a conclusões diferentes sobre suas propriedades. O que leva duas pessoas a, observando a mesma coisa, chegarem a conclusões diferentes?*

Os alunos responderam que o que leva duas pessoas observando a mesma coisa chegarem a conclusões diferentes é sua maneira de pensar e pesquisar, além da atenção e dos objetos utilizados na pesquisa.

Algumas das respostas:

*- Depende muito da forma que eram desenvolvidas suas pesquisas, e em que tipo de resultado cada um quer chegar.*

*- O modo de pesquisar pode influenciar nas conclusões.*

*- Becquerel e Marie estavam observando a mesma coisa, sendo que cada um tem sua forma de pensar diferente e pesquisar sobre um mesmo assunto.*

*- O modo de cada um pensar e também a vontade de cada um deles, pois Becquerel se desinteressou logo do estudo sobre o urânio.*

As respostas ao questionário sobre radioatividade, portanto, ficaram aquém do desejado. Respostas curtas com justificativas muitas vezes contraditórias, resumidas e/ou confusas, provocaram indagação do que teria dado errado.

Voltando a ler o texto referente ao episódio, a provável causa do problema foi encontrada. O texto não fornecia elementos suficientes para alcançar os objetivos propostos.

Na preocupação em elaborar um texto curto, em linguagem acessível e prazerosa para os alunos, acabamos por incorrer em erros consideráveis. Segundo Forato (2009, p.51), uma excessiva simplificação pode acarretar um grande risco em termos de distorção histórica, podendo gerar narrativas históricas muito superficiais, destacando ainda, que simplificação e omissão é um desafio a enfrentar. Acreditamos que foi o que ocorreu na construção do texto sobre a radioatividade. A necessidade da simplificação acabou por omitir fatos da radioatividade que seriam importantes ao conhecimento e esclarecimento dos alunos, como o fato da conjectura de Poincaré ser falsa, maior ênfase aos estudos da pechblenda e da calcolita por Marie Curie, a ideia que Becquerel tinha do urânio ser *sui generis*, não sendo natural buscar outros elementos que emitissem radiações como ele.

Para Forato (2009, p.54) a escolha entre extensão versus profundidade pode configurar-se em um conflito. O texto da radioatividade foi curto e simplificado além do que deveria. A simplificação afetou a qualidade do texto, e não gerou uma interpretação clara, que provocasse um visão adequada da ciência, e completasse as atividades da dinâmica simulando a ciência e a abordagem do episódio sobre os raios X.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Segundo Gaspar (2008), à medida que o ser humano aprofunda o seu conhecimento da natureza, torna-se necessário aprimorar o saber científico, o que exige contínua atualização e reformulação dessa forma de conhecimento. Portanto, este trabalho foi idealizado e realizado para que os alunos viessem obter uma melhor visão do saber científico, da construção da ciência.

Para tanto, adotamos a exploração de um episódio histórico que tratasse de uma controvérsia científica. Na exploração do episódio, uma primeira dificuldade surgiu, pois se tratava de um assunto em que esta autora não tinha o conhecimento aprofundado da história. Assim como ocorre na maioria dos cursos de formação de professores, pouca atenção havia sido dada aos aspectos históricos na graduação sobre o assunto raios-x e radioatividade. O mesmo ocorria quanto aos aspectos de natureza da ciência discutidos, como o papel do empirismo, as falhas do indutivismo, visão dogmática e linear da ciência, etc.

Tais assuntos foram tratados nas disciplinas do mestrado, porém ainda assim necessitaram de uma revisão bibliográfica, como descrita no capítulo 1. Quanto ao episódio histórico, pudemos contar com uma fonte secundária em que o assunto havia sido tratado de forma ampla, mas que também exigiu um estudo aprofundado por parte desta autora, como descrito no capítulo 2. O episódio

histórico escolhido apresenta características próprias do fazer científico, como a pesquisa direcionada por teorias pré-existentes (caso da conjectura de Poincaré), as diferentes interpretações para um mesmo fenômeno (caso de Röntgen e Lenard sobre os raios-X) e aspectos sociais, como a disputa pela autoria da “descoberta” da radioatividade (caso de Becquerel e o casal Curie).

As revisões bibliográficas sobre a utilização da história da ciência e a natureza da ciência, e o estudo do episódio histórico corresponderam apenas a uma parte desta pesquisa, que também envolveu definir as estratégias (formas de intervenção) e em que momento e local intervir. Considerando as características do episódio histórico, escolhemos intervir apenas com leitura, análise e discussão de textos numa turma do 3º ano do Ensino Médio. Porém, seria necessária uma introdução ao assunto partindo de uma dinâmica que estimulasse os alunos e os despertasse para alguns dos pontos que queríamos destacar quanto ao fazer científico. A dinâmica e as intervenções com os textos estão descritas no capítulo 3.

Conforme esperado, a dinâmica gerou interesse por parte dos alunos, que puderam compreender que o conhecimento científico é provisório, precisa de divulgação, é feito por analogias/comparações com teorias/modelos pré-existentes, etc. Nas intervenções com os textos, uma outra dificuldade surgiu: como elaborar um texto simplificado e ao mesmo tempo completo sobre um episódio histórico? Como destacado por Forato (2009), essa elaboração pode acabar ocultando fatos importantes da história e levar a uma distorção, ainda que não intencional,

prejudicando o conteúdo a ser compartilhado com o aluno. Isto ficou claro no caso do episódio sobre a radioatividade, em que os alunos apresentaram dificuldades para responderem as questões.

Algumas dificuldades surgiram durante a elaboração do trabalho, porém serviram como ponto de partida para repensar os textos utilizados e a forma de intervenção. Dentro das especificidades do mestrado profissional, o material elaborado para as intervenções apresenta-se de forma reproduzível e pode ser adaptado para a utilização por qualquer professor. Para isto, elaboramos um apêndice em que se encontram as etapas a serem desenvolvidas em sala de aula, já com suas respectivas correções.

De uma forma geral, o objetivo deste trabalho foi passar, através das atividades, que a ciência não tem verdades definitivas ou dogmas. As teorias e leis e os princípios científicos podem ser provisórios, valerem por algum tempo e em determinadas condições. A ciência tem métodos para a busca do conhecimento que exigem contínuo aprimoramento, mas esse processo não garante que ela chega a algo que se possa chamar de verdade.

## REFERÊNCIAS

ABD-EL-KHALICK, F; LEDERMAN, N. G. **Improving science teachers' conceptions of nature of science: a critical review of the literature.** International Journal of Science Education, v. 22, n. 7, p. 665-701, 2000.

ALLCHIN, D.. **Pseudohistory and pseudoscience.** Science&Education, v. 13, p. 179-195, 2004.

ALTERS, B. J. **Whose nature of science?** Journal of Researching in Science Teaching, v. 34, n. 1, p. 39-55, 1997.

BATISTA, I. L. **O ensino de teorias físicas mediante uma estrutura histórico-filosófica.** Ciência&Educação, Bauru, v. 10, n. 3, p. 461-476, 2004.

BOGDAN, R. C.; BIKLEN, S. K. **Investigação Qualitativa em Educação,** Porto Editora, Porto – Portugal, 1994.

BRASIL. (MEC) **MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA,** República Federativa do Brasil. **Parâmetros Curriculares Nacionais – Ensino Médio.** Brasília: MEC, 2002.

BRUSH, S. **Should the history of science be rated-X?** Science, v. 183, n. 4130, p. 1164-1172, 1974.

EL-HANI, C. N. **Notas sobre o ensino de história e filosofia da ciência na educação científica superior.** Pp. 3-21. In: SILVA, Cibelle Celestino (org.).

Estudos de história e filosofia das ciências: subsídios para aplicação no ensino. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2006.

FERREIRA, A. B. H. **Miniaurélio: o mini-dicionário da língua portuguesa**. 7ed. Curitiba: Positivo, 2008.

FORATO, T. C. M. **A natureza da ciência como saber escolar: um estudo de caso a partir da história da luz**. Tese de Doutorado. São Paulo: FEUSP, 2009.

GIL-PEREZ, D. G.; MONTORO, I. F.; ALÍS, J. C.; CACHAPUZ, A.; PRAIA, J. **Para uma imagem não-deformada do trabalho científico**. Ciência e Educação. V.7, n.2: 125-153, 2001.

KIPNIS, N. **Discovery in Science and in Teaching Science**. Science & Education. 16:883-920, 2006.

KUHN, T. S. **A estrutura das revoluções científicas**. São Paulo: Perspectiva, 1987

MARTINS, L. A. Pereira. **História da ciência: objetos, métodos e problemas**. Ciência&Educação, Bauru, v. 11, n. 2, p. 305-317, 2005.

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, 1998.

MARTINS, R. A. **Becquerel e a descoberta da radioatividade: uma análise crítica**. Tese apresentada ao Instituto da Universidade Estadual de Campinas como requisito parcial de concurso de livre-docência. Campinas, 2002.

MARTINS, R. A. **As primeiras investigações de Marie Curie sobre os elementos radioativos.** Revista da Sociedade Brasileira de História da Ciência, n. 1, p. 29-41, 2003.

MATTHEWS, M. R. **In defense of modest goals when teaching about nature of science.** Journal of Research in Science Teaching, v. 35, n. 2, p. 161-174, 1998.

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

MCCOMAS, W. F. Teaching the nature of science: what illustrations and examples exist in popular books on the subject? Proceedings 8th IHPST Conference, 2005. Disponível em <http://www.ihpst2005.leeds.ac.uk/papers/McComas.pdf>

PORTELA, S. I. C. **O uso de casos históricos no Ensino de Física: Um exemplo em torno da temática do horror da natureza ao vácuo.** Dissertação de Mestrado, Faculdade (ou instituto) UnB (2006). 96p.

PUMFREY, S. **History of science in the National Science Curriculum: a critical review of resources and their aims.** British Journal of History of Science. 24:61-78, 1991.

SILVA, B. V. C.; MARTINS, A. F. P. **A experiência de Young: a pedra da roseta da natureza da luz?** Anais XI Encontro de Pesquisa em Ensino de Física, 2008. Disponível em <http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/epef/xi/sys/resumos/T0034-1.pdf>. Acesso em 24 de agosto de 2009.

SILVA, C. C.; MOURA, B. A. **A natureza da ciência por meio de episódios históricos: o caso da popularização da óptica newtoniana.** Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 30, n. 1, 1602, 2008.

STINNER, A; MCMILLAN, B. A.; METZ, D.; JILEK, J. M.; KLASSEN, S.. **The Renewal of Case Studies in Science Education.** Science & Education 12: 617–643, 2003.

VÁZQUEZ ALONSO, Á.; ACEVEDO DIAZ, J. A.; MANASSERO MAS, M. A. **Consensos sobre la naturaleza de la ciencia: evidencias e implicaciones para su enseñanza.** Revista Iberoamericana de Educación. Edição eletrônica <http://www.rieoei.org/deloslectores/702Vazquez.pdf>. Acesso em 22/02/2009.

VÁZQUEZ ALONSO, Á.; MANASSERO MAS, M. A. **Características del conocimiento científico: creencias de los estudiantes.** Enseñanza de las Ciencias, v.17, n. 3, p. 377-395, 1999.

WHITAKER, M. A. B. **History and quasi-history in physics education – part 1.** Physics Education , v. 14, p. 108-115, 1979a.

WHITAKER, M. A. B. **History and quasi-history in physics education – part 2.** Physics Education , v. 14, p. 239-242, 1979b.

## ANEXO 1

### DINÂMICA: SIMULANDO A CIÊNCIA

#### Material necessário:

- caixas escuras e bem lacradas
- capas para almofadas ou sacos escuros
- objetos de tamanho, forma e material diferenciado para os sacos
- objetos de tamanho diferenciado que possam fazer barulho para as caixas

#### Realização

O número de caixas e sacos deve ser tal que possa ser dado um de cada para um grupo de alunos. Após o consenso do grupo sobre o que existe em cada recipiente, as caixas e sacos são trocadas entre os grupos. Quando todos já tiverem visto as todas as caixas e todos os sacos, os recipientes são listados no quadro, colocando a resposta de cada grupo. Conhecendo a opinião de cada grupo, a sala toda tenta estabelecer um consenso sobre os objetos.

Mesmo após o final da atividade, não se deve revelar o que há dentro das caixas e sacos, afinal não é possível saber, mesmo através de experimentos e teorias, se as respostas “científicas” são verdadeiras e finais.

Por fim deve ser realizada uma abordagem explícita, relacionando a dinâmica com a natureza da Ciência nos seguintes aspectos:

- A observação é carregada de teorias, tendo em vista que os alunos vão sugerir sempre algo que já conhecem;

- A divulgação entre os pares como forma de legitimar uma descoberta;

- Ambiguidades são sempre possíveis, havendo interpretações diferentes para os objetos em questão.

## ANEXO 2

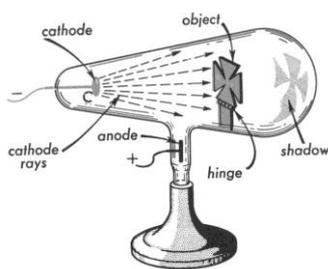
### A Descoberta dos Raios X<sup>2</sup>



Todos os livros de Física Moderna informam que os Raios X foram descobertos por Röntgen, em 1895. Costuma-se dizer que essa descoberta foi feita ao acaso, e a contribuição de Röntgen é comumente minimizada – como se ele nada mais tivesse feito além de perceber a existência de um novo tipo de radiação, passando uma visão errônea do processo de pesquisa científica. Pois a pesquisa experimental pode ter algumas contribuições do acaso, mas em sua maior parte é um trabalho sistemático, racional, dirigido por pressupostos teóricos e exigindo uma grande engenhosidade técnica para superar dificuldades observacionais e testar hipóteses.

Nos trabalhos que publicou sobre os raios X, Röntgen não informou como ocorreu a descoberta do novo fenômeno, e existem poucas informações confiáveis sobre isso. Uma das poucas fontes de informação dói uma entrevista que ele concedeu a um jornalista americano, Henry Dam.

Röntgen informou a Dam que havia partido das pesquisas anteriores de outros físicos sobre os raios catódicos, estudados por Hertz e Lenard. Aprendemos que raios catódicos são simplesmente um fluxo de elétrons, e em 1895, pesquisadores ingleses já defendiam a ideia que eles eram um fluxo de partículas dotadas de carga elétrica. Heinrich Hertz, em 1892, foi o primeiro a descrever que os raios catódicos podiam atravessar folhas finas de metal. Seu aluno Philipp Lenard conseguiu construir tubos de descarga dotados de uma fina janela de alumínio, de tal modo que os raios catódicos podiam sair do tubo e ser estudados no ar ou em outros gases. Nessa época, essa radiação visível no ar, passou a ser chamado de “raios de Lenard”. Esses raios podiam atingir alguns poucos centímetros no ar. Corpos luminescentes colocados perto do tubo se tornavam luminosos. Lenard observou também que esses raios eram capazes de sensibilizar chapas fotográficas e descarregar eletroscópios. É provável que Lenard estivesse na verdade observando o efeito de raios X, mas ele não investigou o fenômeno.



Röntgen começou a se interessar pelo assunto, resolvendo repetir alguns dos experimentos de Lenard. Em novembro de 1895, ele observou pela primeira vez os raios X. O processo exato da descoberta, segundo a entrevista a Dam foi: “Eu estava trabalhando com um tubo de Crookes coberto por uma blindagem de papelão preto. Um pedaço do papel

Röntgen começou a se interessar pelo assunto, resolvendo repetir alguns dos experimentos de Lenard. Em novembro de 1895, ele observou pela primeira vez os raios X. O processo exato da descoberta, segundo a entrevista a Dam foi: “Eu estava trabalhando com um tubo de Crookes coberto por uma blindagem de papelão preto. Um pedaço do papel

<sup>2</sup> Este texto é uma adaptação do artigo “A descoberta dos raios X: o primeiro comunicado de Röntgen” de autoria de Roberto de Andrade Martins (1998).

com platino-cianeto de bário estava lá na mesa. Eu tinha passado uma corrente pelo tubo, e notei uma linha preta peculiar no papel.”

Se ele estava fazendo experimento com tubos de descarga, em uma sala escura, com tubo de vácuo envolto em cartolina negra, ele estava interessado em observar fracas luminosidades. Nos experimentos com raios Lenard, observou-se uma fraca luminosidade no ar, perto da “janela” de alumínio. Observa-se também um fraco brilho em materiais luminescentes colocados diante da janela de alumínio. É plausível que Röntgen estivesse estudando efeitos desse tipo, caso contrário é difícil compreender por qual motivo o tubo estaria envolto em papel escuro, além disso, a presença de platino-cianeto de bário (material fortemente fluorescente) próximo ao tubo também indica que ele estava estudando fenômenos desse tipo.

Röntgen parece ter sido guiado por analogias e comparações entre o novo fenômeno e as propriedades das radiações conhecidas – luz, raios ultravioletas, raios catódicos, etc. Esses eram agentes físicos capazes de produzir fluorescência. O efeito era algo que só poderia ser produzido pela passagem de luz. Nenhuma luz poderia provir do tubo, pois a blindagem que o cobria era opaca a qualquer luz conhecida.

Até aí, Röntgen poderia estar observando apenas algo já conhecido. Afinal, os tubos de descarga podiam emitir raios catódicos, capazes de produzir fluorescência. O que mostrava que havia algo de novo? O fato de que esse novo ente atravessava o papel que recobria o tubo, e se propagava a uma distância considerável no ar. Ele parecia inicialmente um novo tipo de luz invisível. Era claramente algo novo, não registrado.

Röntgen não parou por aí. Não bastava perceber que havia algo de novo. Era preciso estudar o que era essa coisa desconhecida, e ele trabalhou intensamente durante algumas semanas, procurando determinar as propriedades da nova radiação.

Foi descobrindo algumas propriedades dos novos raios. Eles se propagavam em linha reta, produzindo por isso sombras regulares. Eram capazes de penetrar grandes espessuras de diversos materiais – especialmente materiais menos densos. Os metais – especialmente o chumbo – o absorviam mais fortemente. Eram capazes de produzir fluorescência em várias substâncias diferentes. Por analogia com a luz, a radiação ultravioleta e raios catódicos, Röntgen estudou várias outras propriedades: os raios X eram capazes de sensibilizar chapas fotográficas. Não podiam ser refletidos, nem refratados – o que os diferenciava da luz e dos raios catódicos. No entanto, eram muito mais penetrantes do que os raios catódicos, e, ao contrário desses, não podiam ser desviados por ímãs. Feitos alguns testes não foi detectado fenômenos de interferência e polarização com os novos raios.

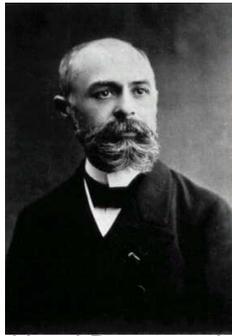
Por eliminação Röntgen foi concluído que esses raios não eram luz, não eram nenhuma radiação eletromagnética invisível conhecida (raios ultravioleta, infravermelhos ou ondas de rádio), nem eram raios catódicos. Era algo de novo realmente.

### **Questões:**

- a) Como Röntgen chegou a conclusão de que era algo realmente novo?
- b) Qual deveria ser o próximo passo de Röntgen para que os raios X fossem conhecidos e pudessem ser confirmados?
- c) Lenard poderia ter chegado às mesmas conclusões de Röntgen, mas não investigou mais profundamente os efeitos que observou. Você acha que, se tivesse investigado, ele poderia ter chegado às mesmas conclusões que Röntgen? O que leva duas pessoas a, observando a mesma coisa, chegarem a conclusões diferentes?

## ANEXO 3

### A Descoberta da Radioatividade<sup>3</sup>



Henri Becquerel

X



Marie Curie

Usualmente considera-se que a radioatividade foi descoberta por Henri Becquerel, em 1896, e que a principal descoberta de Marie Curie foi a descoberta de novos elementos radioativos (tório, polônio e rádio) em 1898. Essa contribuição é apresentada como uma consequência do trabalho de Becquerel.

Por se tratar de um fenômeno que não havia sido previsto teoricamente nem era compreendido com base nas teorias da época, a descoberta de que havia uma radiação estranha – os raios X – que devia estar presente nos laboratórios de física há muitos anos, mas não havia sido notada antes, levou à procura de outras radiações desconhecidas (que poderiam igualmente estar presentes sem terem sido percebidas) e de outros processos de emissão de raios X.

De acordo com o primeiro comunicado de Röntgen sobre os raios X, a radiação saía do ponto da parede de vidro do tubo de descarga que era atingido pelos raios catódicos, e essa parte de vidro se tornava luminosa. Poincaré conjecturou que poderia haver relação entre a própria luminescência e a emissão de raios X, sugerindo que talvez todos os materiais luminescentes emitissem esse tipo de radiação.

A conjectura de Poincaré foi testada por diversos pesquisadores, que descreveram experimentos que pareciam confirmá-la. Algum tempo depois, foi descrita a emissão de radiação penetrante por vaga-lumes e por bactérias luminescentes. Por fim, como até mesmo algumas substâncias comuns são fracamente fosforescentes, foram testadas muitas outras substâncias, e descrita emissão de radiações penetrantes por papel, madeira, giz, açúcar, diversos metais e outras substância. O mundo parecia estar repleto de corpos que emitiam radiações invisíveis, capaz de atravessar papel opaco à luz e sensibilizar chapas fotográficas.

---

<sup>3</sup> Este texto é uma adaptação do artigo “As primeiras investigações de Marie Curie sobre os elementos radioativos” de autoria de Roberto de Andrade Martins (2003)

Aquilo que atualmente chamamos de “radioatividade” é um fenômeno no qual certos tipos de núcleos atômicos se desintegram espontaneamente, emitindo radiações penetrantes (alfa, beta e gama), de alta energia e se transformando em alta energia, e se transformando em núcleos diferentes. Não foi isso, no entanto que Becquerel descobriu em 1896, ao perceber que certos compostos do urânio emitiam radiações penetrantes. Ele afirmou ter confirmado experimentalmente que a radiação do urânio era de natureza eletromagnética, semelhante a luz e que a emissão diminuía lentamente no escuro, como uma fosforescência invisível de longa duração, chamando essa radiação de “raios de urânio”, pois se tratava de um fenômeno específico dos compostos desse elemento. O nome “radioatividade” foi proposto pelos Curie em 1898.

Após um ano de estudos, a investigação da radiação do urânio não proporcionava mais nenhum resultado interessante. O próprio Becquerel foi se desinteressando pelo assunto e nunca chegou a fazer uma busca sistemática de outros materiais que tivessem propriedades semelhantes aos compostos de urânio.

Em janeiro de 1898, Gerhard Carl Nathaniel Schimidt (1865-1949) deu uma grande contribuição para o estudo da radioatividade, percebeu que materiais fosforescentes não emitiam raios X. Ele procurou outras substâncias que tivessem efeitos semelhantes ao do urânio e encontrou que o tório também emitia radiações penetrantes, capazes de ionizar o ar e de penetrar através do papel opaco, sensibilizando placas fotográficas.

Independente de Schimidt, Marie Sklodowka Curie (1867-1934) também descobriu a emissão de radiações penetrantes pelo tório, logo no início de suas pesquisas. Para sua tese, ela escolheu o estudo das radiações do urânio, e iniciou seus experimentos em dezembro de 1897, onde os primeiros resultados levavam a questionar o conceito de hipofosforescência, pois submetendo o urânio a raios X, isso não influenciava a emissão de radiação.

Marie Curie examinou um grande grupo de metais e observou que nenhum deles produzia condutividade no ar. Depois examinou um mineral de urânio (pechblenda ou uraninita), que produziu efeitos semelhantes ao urânio puro. No entanto notou um fato estranho: a corrente elétrica observada com a pechblenda era maior do que no caso do urânio metálico puro. Ora, Becquerel havia observado que a radiação do urânio metálico puro era mais intensa do que qualquer de seus compostos, e esperava-se, portanto que a pechblenda mostrasse uma atividade inferior a do urânio metálico. Esse foi um ponto decisivo. Ela poderia simplesmente não ter dado atenção a essa anomalia, mas isso redirecionou sua pesquisa.

A pesquisa de Marie Curie variava entre o estudo de minerais e de compostos químicos puros. Examinando compostos do tório e do urânio, ela notou que a emissão de radiação parecia ser proporcional à quantidade do metal presente, não dependendo da presença de outras substâncias inativas, que atuavam apenas absorvendo radiação. Nesta época, provavelmente, Marie Curie adotou a hipótese de que a emissão de radiação penetrante é uma propriedade atômica, no seguinte sentido:

- depende da presença de alguns elementos químicos particulares;

- A intensidade da radiação é proporcional à porcentagem desses elementos químicos nos compostos estudados;

- Não depende de propriedades moleculares (outros elementos químicos inativos não alteram a emissão de radiação).

Essa hipótese era considerada como plausível e merecedora de investigações.

Em 12 de novembro de 1903 a Academia Real de Ciências da Suécia, decide conferir o Prêmio Nobel em física daquele ano a Becquerel por sua descoberta da radioatividade espontânea e também a Marie Curie por seus trabalhos sobre fenômenos de radiação descobertos por Becquerel.

## **Questões**

a) A conjectura de Poincaré influenciou nos experimentos e observações de Becquerel?

b) Quais foram os elementos que contribuíram para o sucesso da pesquisa de Marie Curie?

c) Tanto Becquerel quanto Marie Curie estavam pesquisando o urânio, mas chegaram a conclusões diferentes sobre suas propriedades. O que leva duas pessoas a, observando a mesma coisa, chegarem a conclusões diferentes?



UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA  
MESTRADO EM ENSINO DE CIÊNCIAS E MATEMÁTICA

**Discutindo a ciência através de episódios históricos: o caso  
dos raios-X e da radioatividade**



**Autora: Flavianne Alexandre Monteiro**

## **Apresentação,**

Caro Professor,

A profissão de professor sempre nos traz muitos desafios. Um deles é estimular os alunos; o outro é fazê-los compreender a importância de se aprender física. Como estímulo, podemos tentar diferentes formas de ensinar, adotar as tais “metodologias inovadoras”, recursos computacionais, etc. Dentre essas diferentes formas de estimular os alunos, este trabalho se concentra na apresentação da história dos conteúdos. Nossa escolha se deve pelo fato de acreditarmos que a história traz consigo a possibilidade de também discutir a importância da ciência. Assim, enfrentamos os dois desafios com a mesma proposta: ao mesmo tempo em que mostramos conceitualmente a importância de um assunto, trazemos elementos da história em que ele foi desenvolvido, aproximando o aluno do fazer científico, de todas suas complexidades e implicações.

No entanto, tais “complexidades e implicações” do fazer científico não são tão simples de se abordar. Historiadores, filósofos, educadores, sociólogos, entre outros, não conseguem ter um consenso sobre tudo o que está envolvido quando se trata de ciência. Alguns acreditam que a ciência é um conhecimento finalizado; outros que ela está baseada apenas em teorias que são provadas pelas experiências, e por aí vai. Para nosso caso, estabelecemos três características para explicar o que está envolvido no conhecimento científico. São elas:

- 1) Uma observação está sempre carregada de teoria – com isso queremos dizer que quando um cientista vai para o laboratório e faz uma medida, ele já assumiu ideias anteriores sobre o que quer observar. Ou seja, o simples fato de fazer a medida de uma grandeza (tempo, por exemplo), e não de outra (temperatura, por exemplo) significa que ele já “espera” algo do que vai fazer. O cientista não seria totalmente “puro” e “ingênuo” ao fazer suas medidas, partindo apenas da observação para estabelecer leis ou teorias.
- 2) O conhecimento científico necessita da divulgação entre os pares – quando um cientista faz uma observação, ou estabelece uma teoria, ele precisa comunicar aos demais cientistas seus resultados, para que assim outros o validem ou não. Se a comunidade científica não validar o que o cientista fez, seu valor é questionável. Isso não significa que quando a comunidade científica valida o que o cientista fez está totalmente correto. Ele como todo ser humano pode cometer erros.
- 3) O mesmo fenômeno pode ser interpretado de formas diferentes – ao observar um fenômeno, o cientista possui diferentes formas de medi-lo, interpretá-lo, explicá-lo.

Talvez ele não possua um determinado equipamento naquele momento, então a propriedade detectada permite que tire conclusões diferentes de outro cientista, que possui outros equipamentos. É por isso que conceitos e interpretações mudam ao longo do tempo.

Considerando essas três ideias e o conteúdo de raios-x e radioatividade, desenvolvemos uma proposta de sequência didática que pode ser aplicada em sala de aula, na tentativa de superar os desafios já mencionados. A sugestão é realizar as atividades em turma de 3º ano de ensino médio, e para cada atividade devem ser disponibilizadas duas horas aulas, ficando a critério do professor flexibilizar, utilizando mais ou menos aulas.

No entanto, deve-se ter o cuidado de não restringir o tempo de forma que haja distorção dos conteúdos, ou mesmo das características da natureza da ciência que serão discutidas. Muitas vezes a ênfase no aspecto da ambiguidade dos fenômenos e as várias interpretações que são dadas, podem levar a um relativismo extremo. Nesse caso, o aluno seria levado a pensar que a ciência depende *apenas* de características individuais dos cientistas, o que não é verdade.

O conteúdo também deve ser pensado dentro do currículo do aluno. Alguns conceitos como radiação, fenômenos elétricos e magnéticos, composição da matéria, etc., precisam ser de conhecimento dos alunos.

Por falar em conteúdos, é preciso ressaltar que os textos escritos aqui são apenas uma parte de uma vasta literatura, tanto a respeito dos episódios históricos (raios-X e radioatividade) quanto dos pressupostos adotados na construção dos textos e sobre a natureza da ciência. Para isso, disponibilizamos algumas referências para que você possa consultar e se aprofundar. Também é necessário destacar que cada uma das atividades apresentadas pode apresentar várias perspectivas. O professor pode trazer outros elementos nas intervenções, como associação com fenômenos do cotidiano (radiografias, por exemplo) ou até mesmo vídeos em que são discutidos os efeitos da radioatividade, etc. Qualquer outro material acrescentado, certamente enriquecerá a atividade e mostrará aos alunos a complexidade da ciência. Colocamos algumas sugestões e dicas de como utilizar, mas o desenvolvimento da sequência didática deverá respeitar as características de cada turma.

Esperamos que faça bom uso do material e que ele possa contribuir para facilitar a atividade de sala de aula.

Atenciosamente,

A autora.

## PRIMEIRA ETAPA

A primeira etapa consiste em uma dinâmica com material concreto a ser realizada em grupos em sala de aula que tem como objetivo discutir sobre Ciência, pois se trata de uma tentativa de reproduzir um modelo de investigação científica.

**1º passo:** reúna a sala em grupos pequenos de 4 ou 5 alunos e distribua bolsas (panos de almofadas, por exemplo) e caixas (podem ser bacias), todos bem fechados e opacos, de maneira que não permitam a visualização ou o contato direto com os objetos que forem colocados dentro dos mesmos.

**2º passo:** Oriente os alunos a passarem as bolsas e caixas por cada grupo. Os membros deverão tentar descobrir o conteúdo delas sem abri-las, e tentar chegar a um consenso, sem que divulguem entre os demais grupos.

**3º passo:** anote no quadro as ideias propostas por todos os grupos em relação a cada bolsa e a cada caixa, e provoque uma discussão de maneira que os alunos tentem definir os objetos, chegando a denominador comum, a que nem sempre se chegará.

**4º passo:** abra um debate para relacionar a dinâmica realizada com a Natureza da Ciência nos seguintes aspectos:

- A observação é carregada de teorias, tendo em vista que os alunos vão sugerir sempre algo que já conhecem;
- A divulgação entre os pares como forma de legitimar uma descoberta;
- Ambiguidades são sempre possíveis, havendo interpretações diferentes para os objetos em questão.

**Dica:** Os objetos podem ser clipes, miçangas, animais de plástico, cortiça, enfim, fica a critério do professor, que deve pensar em objetos difíceis de serem descobertos rapidamente.

### **Bibliografia complementar:**

CHALMERS, A. F. **O que é Ciência Afinal?** Trad. Raul Fiker. São Paulo: Brasiliense, 1993.

## SEGUNDA E TERCEIRA ETAPAS

Nas próximas etapas o professor deverá abordar os episódios históricos dos raios X e da Radioatividade, em aulas separadas. A leitura pode ser realizada em sala de aula ou em casa, contanto que aconteça uma discussão oralizada com a turma sobre os textos, e na medida do possível compará-los com a dinâmica realizada anteriormente e com o desenvolvimento da ciência.

Sugerimos que seja solicitada uma pesquisa inicial sobre os termos: fluorescência, fosforescência, radiação e radioatividade como forma de aproximar os alunos aos termos a serem abordados nos episódios.

No final da exploração de cada texto os alunos deverão responder a três questões, referentes a cada episódio, onde mais uma vez é explorada aspectos da natureza da ciência.

Esperamos que essas atividades contribuam para uma melhor visão de natureza da ciência dos alunos.

### **Dicas:**

**Episódio dos Raios X:** você pode realizar, em sala de aula, tentativas de reprodução (simulada) da experiência que Röntgen estava fazendo, ou até mesmo fazer apresentação em data show, para que os alunos possam compreender melhor como ocorreu a descoberta e como acontece a produção dos raios X. Interessante seria levar chapas de raios-X, para eles terem um contato direto, e quem sabe também discutir a importância dessa radiação em diversas áreas, como indústria, medicina, biologia, enfim, como também os malefícios que ela pode trazer se não for utilizada com cautela, podendo, por exemplo, causar câncer.

**Episódio da Radioatividade:** no caso desse tema, você professor, pode solicitar dos alunos uma pesquisa sobre as implicações que a radioatividade pode trazer para a sociedade. Pode discutir com eles onde podemos encontrar fosforescência e fluorescência e dar exemplos. Como também pode aproveitá-lo para introduzir uma abordagem sobre a atividade feminina na ciência, tendo em vista a participação decisiva de Marie Curie em sua consolidação.

### Bibliografia para aprofundamento dos Episódios:

MARTINS, R. A. **A Descoberta dos raios X: o primeiro comunicado de de Röntgen.** Revista Brasileira de Ensino de Física, v 20, n 4, p. 373-391, 1998.

MARTINS, R. A. **Becquerel e a descoberta da radioatividade: uma análise crítica.** Tese apresentada ao Instituto da Universidade Estadual de Campinas como requisito parcial de concurso de livre-docência. Campinas, 2002.

MARTINS, R. A. **As primeiras investigações de Marie Curie sobre os elementos radioativos.** Revista da Sociedade Brasileira de História da Ciência, n. 1, p. 29-41, 2003.

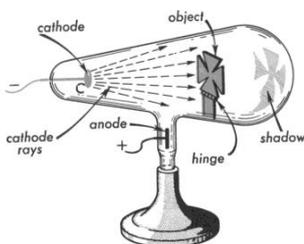
## A Descoberta dos Raios X



Todos os livros de Física Moderna informam que os Raios X foram descobertos por Röntgen, em 1895. Costuma-se dizer que essa descoberta foi feita ao acaso, e a contribuição de Röntgen é comumente minimizada – como se ele nada mais tivesse feito além de perceber a existência de um novo tipo de radiação, passando uma visão errônea do processo de pesquisa científica. Pois a pesquisa experimental pode ter algumas contribuições do acaso, mas em sua maior parte é um trabalho sistemático, racional, dirigido por pressupostos teóricos e exigindo uma grande engenhosidade técnica para superar dificuldades observacionais e testar hipóteses.

Nos trabalhos que publicou sobre os raios X, Röntgen não informou como ocorreu a descoberta do novo fenômeno, e existem poucas informações confiáveis sobre isso. Uma das poucas fontes de informação dá uma entrevista que ele concedeu a um jornalista americano, Henry Dam.

Röntgen informou a Dam que havia partido das pesquisas anteriores de outros físicos sobre os raios catódicos, estudados por Hertz e Lenard. Aprendemos que raios catódicos são simplesmente um fluxo de elétrons, e em 1895, pesquisadores ingleses já defendiam a idéia que eles eram um fluxo de partículas dotadas de carga elétrica.



Heinrich Hertz, em 1892, foi o primeiro a descrever que os raios catódicos podiam atravessar folhas finas de metal. Seu aluno Philipp Lenard conseguiu construir tubos de descarga dotados de uma fina janela de alumínio, de tal modo que os raios catódicos podiam sair do tubo e ser estudados no ar ou em outros gases. Nessa época, essa radiação visível no ar, passou a ser chamado de “raios de Lenard”. Esses raios podiam atingir alguns poucos centímetros no ar. Corpos luminescentes colocados perto do tubo se tornavam luminosos.

Lenard observou também que esses raios eram capazes de sensibilizar chapas fotográficas e descarregar eletroscópios. É provável que Lenard estivesse na verdade observando o efeito de raios X, mas ele não investigou o fenômeno.

Röntgen começou a se interessar pelo assunto, resolvendo repetir alguns dos experimentos de Lenard. Em novembro de 1895, ele observou pela primeira vez os raios X. O processo exato da descoberta, segundo a entrevista a Dam foi: “Eu estava trabalhando com um tubo de Crookes coberto por uma blindagem de papelão preto. Um pedaço do papel com platino-cianeto de bário estava lá na mesa. Eu tinha passado uma corrente pelo tubo, e notei uma linha preta peculiar no papel.”

Se ele estava fazendo experimento com tubos de descarga, em uma sala escura, com tubo de vácuo envolto em cartolina negra, ele estava interessado em observar fracas luminosidades. Nos experimentos com raios Lenard, observou-se uma fraca luminosidade no ar, perto da “janela” de alumínio. Observa-se também um fraco brilho em materiais luminescentes colocados diante da janela de alumínio. É plausível que Röntgen estivesse

estudando efeitos desse tipo, caso contrário é difícil compreender por qual motivo o tubo estaria envolto em papel escuro, além disso, a presença de platino-cianeto de bário (material fortemente fluorescente) próximo ao tubo também indica que ele estava estudando fenômenos desse tipo.

Röntgen parece ter sido guiado por analogias e comparações entre o novo fenômeno e as propriedades das radiações conhecidas – luz, raios ultravioletas, raios catódicos, etc. Esses eram agentes físicos capazes de produzir fluorescência. O efeito era algo que só poderia ser produzido pela passagem de luz. Nenhuma luz poderia provir do tubo, pois a blindagem que o cobria era opaca a qualquer luz conhecida.

Até aí, Röntgen poderia estar observando apenas algo já conhecido. Afinal, os tubos de descarga podiam emitir raios catódicos, capazes de produzir fluorescência. O que mostrava que havia algo de novo? O fato de que esse novo ente atravessava o papel que recobria o tubo, e se propagava a uma distância considerável no ar. Ele parecia inicialmente um novo tipo de luz invisível. Era claramente algo novo, não registrado.

Röntgen não parou por aí. Não bastava perceber que havia algo de novo. Era preciso estudar o que era essa coisa desconhecida, e ele trabalhou intensamente durante algumas semanas, procurando determinar as propriedades da nova radiação.

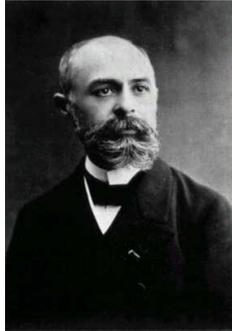
Foi descobrindo algumas propriedades dos novos raios. Eles se propagavam em linha reta, produzindo por isso sombras regulares. Eram capazes de penetrar grandes espessuras de diversos materiais – especialmente materiais menos densos. Os metais – especialmente o chumbo – o absorviam mais fortemente. Eram capazes de produzir fluorescência em várias substâncias diferentes. Por analogia com a luz, a radiação ultravioleta e raios catódicos, Röntgen estudou várias outras propriedades: os raios X eram capazes de sensibilizar chapas fotográficas. Não podiam ser refletidos, nem refratados – o que os diferenciava da luz e dos raios catódicos. No entanto, eram muito mais penetrantes do que os raios catódicos, e, ao contrário desses, não podiam ser desviados por ímãs. Feitos alguns testes não foi detectado fenômenos de interferência e polarização com os novos raios.

Por eliminação Röntgen foi concluído que esses raios não eram luz, não eram nenhuma radiação eletromagnética invisível conhecida (raios ultravioleta, infravermelhos ou ondas de rádio), nem eram raios catódicos. Era algo de novo realmente.

### **Questões:**

- a) Como Röntgen chegou a conclusão de que era algo realmente novo?
- b) Qual deveria ser o próximo passo de Röntgen para que os raios X fossem conhecidos e pudessem ser confirmados?
- c) Lenard poderia ter chegado às mesmas conclusões de Röntgen, mas não investigou mais profundamente os efeitos que observou. Você acha que, se tivesse investigado, ele poderia ter chegado às mesmas conclusões que Röntgen? O que leva duas pessoas a, observando a mesma coisa, chegarem a conclusões diferentes?

## A Descoberta da Radioatividade



Henri Becquerel

X



Marie Curie

Usualmente considera-se que a radioatividade foi descoberta por Henri Becquerel, em 1896, e que a principal descoberta de Marie Curie foi a descoberta de novos elementos radioativos (tório, polônio e rádio) em 1898. Essa contribuição é apresentada como uma consequência do trabalho de Becquerel.

Por se tratar de um fenômeno que não havia sido previsto teoricamente nem era compreendido com base nas teorias da época, a descoberta de que havia uma radiação estranha – os raios X – que devia estar presente nos laboratórios de física há muitos anos, mas não havia sido notada antes, levou à procura de outras radiações desconhecidas (que poderiam igualmente estar presentes sem terem sido percebidas) e de outros processos de emissão de raios X.

De acordo com o primeiro comunicado de Röntgen sobre os raios X, a radiação saía do ponto da parede de vidro do tubo de descarga que era atingido pelos raios catódicos, e essa parte de vidro se tornava luminosa. Poincaré conjecturou que poderia haver relação entre a própria luminescência e a emissão de raios X, sugerindo que talvez todos os materiais luminescentes emitissem esse tipo de radiação.

A conjectura de Poincaré foi testada por diversos pesquisadores, que descreveram experimentos que pareciam confirmá-la. Algum tempo depois, foi descrita a emissão de radiação penetrante por vaga-lumes e por bactérias luminescentes. Por fim, como até mesmo algumas substâncias comuns são fracamente fosforescentes, foram testadas muitas outras substâncias, e descrita emissão de radiações penetrantes por papel, madeira, giz, açúcar, diversos metais e outras substância. O mundo parecia estar repleto de corpos que emitiam radiações invisíveis, capaz de atravessar papel opaco à luz e sensibilizar chapas fotográficas.

Aquilo que atualmente chamamos de “radioatividade” é um fenômeno no qual certos tipos de núcleos atômicos se desintegram espontaneamente, emitindo radiações penetrantes (alfa, beta e gama), de alta energia e se transformando em alta energia, e se transformando em núcleos diferentes. Não foi isso, no entanto que Becquerel descobriu em 1896, ao perceber que certos compostos do urânio emitiam radiações penetrantes. Ele afirmou ter confirmado experimentalmente que a radiação do urânio era de natureza eletromagnética, semelhante a luz e que a emissão diminuía lentamente no escuro, como uma fosforescência invisível de longa duração, chamando essa radiação de “raios de

urânio”, pois se tratava de um fenômeno específico dos compostos desse elemento. Becquerel comparou os efeitos produzidos pelos cristais de sulfato duplo de urânio e potássio com radiações produzidas por tubos de raios X, e notou que elas possuíam poderes de penetração diferentes. Para ele a emissão de radiação penetrante ocorria quando a substância fosforescente estudada recebia a luz solar diretamente, ou refletida por um espelho, ou refratada. Ele partiu da suposição de que os corpos luminescentes emitiam raios X enquanto estivessem luminosos.

O nome “radioatividade” foi proposto pelos Curie em 1898.

Após um ano de estudos, a investigação da radiação do urânio não proporcionava mais nenhum resultado interessante. O próprio Becquerel foi se desinteressando pelo assunto e nunca chegou a fazer uma busca sistemática de outros materiais que tivessem propriedades semelhantes aos compostos de urânio, até porque ele acreditava que o urânio fosse um elemento *sui generis* (o único em sua categoria).

Em janeiro de 1898, Gerhard Carl Nathaniel Schmidt (1865-1949) deu uma grande contribuição para o estudo da radioatividade, percebeu que materiais fosforescentes não emitiam raios X. Ele procurou outras substâncias que tivessem efeitos semelhantes ao do urânio e encontrou que o tório também emitia radiações penetrantes, capazes de ionizar o ar e de penetrar através do papel opaco, sensibilizando placas fotográficas.

Independente de Schmidt, Marie Skłodowska Curie (1867-1934) também descobriu a emissão de radiações penetrantes pelo tório, logo no início de suas pesquisas. Para sua tese, ela escolheu o estudo das radiações do urânio, e iniciou seus experimentos em dezembro de 1897, onde os primeiros resultados levavam a questionar o conceito de hipofosforescência, pois submetendo o urânio a raios X, isso não influenciava a emissão de radiação, logo a conjectura de Poincaré não se confirmava

Marie Curie examinou um grande grupo de metais e observou que nenhum deles produzia condutividade no ar. Depois examinou um mineral de urânio (pechblenda ou uraninita), que produziu efeitos semelhantes ao urânio puro. No entanto notou um fato estranho: a corrente elétrica observada com a pechblenda era maior só que no caso do urânio metálico puro. Mas Becquerel havia observado que a radiação do urânio metálico puro era mais intensa do que qualquer de seus compostos, e esperava-se, portanto que a pechblenda mostrasse uma atividade inferior a do urânio metálico. Esse foi um ponto decisivo. Ela poderia simplesmente não ter dado atenção a essa anomalia, mas isso redirecionou sua pesquisa.

A pesquisa de Marie Curie variava entre o estudo de minerais e de compostos químicos puros. Examinando compostos do tório e do urânio, ela notou que a emissão de radiação parecia ser proporcional à quantidade do metal presente, não dependendo da presença de outras substâncias inativas, que atuavam apenas absorvendo radiação. Nesta época, provavelmente, Marie Curie adotou a hipótese de que a emissão de radiação penetrante é uma propriedade atômica.

A hipótese da propriedade atômica explicava muitos fatos, mas conflitava com as observações sobre alguns minerais, já que a radiação de alguns minerais, como a pechblenda e a calcolita, era mais forte do que dos seus componentes.

A calcolita é um mineral que contém principalmente fosfato duplo de urânio e cobre. A amostra examinada por Marie Curie tinha uma atividade muito superior à do urânio ou do tório puros, sugerindo que havia na calcolita algum outro elemento desconhecido, mais ativo do que o urânio.

A partir desse instante, a hipótese atômica conduziu as pesquisas de Marie e do seu esposo Pierre Curie, levando-os à descoberta dos elementos polônio e rádio.

Em 12 de novembro de 1903 a Academia Real de Ciências da Suécia, decide conferir o Prêmio Nobel em física daquele ano a Becquerel por sua descoberta da radioatividade espontânea e também a Marie Curie por seus trabalhos sobre fenômenos de radiação descobertos por Becquerel.

## Questões

- a) A conjectura de Poincaré influenciou nos experimentos e observações de Becquerel?
- b) Quais foram os fatores que contribuíram para o sucesso da pesquisa de Marie Curie?
- c) Tanto Becquerel quanto Marie Curie estavam pesquisando o urânio, mas chegaram a conclusões diferentes sobre suas propriedades. O que leva duas pessoas a, observando a mesma coisa, chegarem a conclusões diferentes?