UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
CENTRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA
MESTRADO EM ENSINO DE CIÊNCIAS E EDUCAÇÃO MATEMÁTICA

UBIRATAN LEAL DE OLIVEIRA

ABORDAGEM DA RADIOATIVIDADE NOS LIVROS DIDÁTICOS DE QUÍMICA DO PNLD 2015-2018

CAMPINA GRANDE
2019

UBIRATAN LEAL DE OLIVEIRA

ABORDAGEM DA RADIOATIVIDADE NOS LIVROS DIDÁTICOS DE QUÍMICA DO PNLD 2015-2018

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ensino de Ciências e Educação Matemática do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito para obtenção do título de Mestre em Ensino de Ciências e Educação Matemática.

Área de concentração: Ensino de Química
Orientador: Prof. Dr. Marcos Antônio Barros

CAMPINA GRANDE
2019

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

O48a Oliveira, Ubiratan Leal de.
Abordagem da radioatividade nos livros didáticos de química do PNLD 2015-2018 [manuscrito] / Ubiratan Leal de Oliveira. - 2019.
64 p. : il. colorido.
Digitado.
Dissertação (Mestrado em Profissional em Ensino de Ciências e Matemática) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia , 2019.
"Orientação : Prof. Dr. Marcos Antônio Barros , Departamento de Física - CCT."
1. Ensino de Química. 2. Radioatividade. 3. História da Ciência. 4. Livro didático. I. Título
21. ed. CDD 372.8

Elaborada por Giulianne M. Pereira - CRB - 15/714 BC/UEPB

FOLHA DE APROVAÇÃO

UBIRATAN LEAL DE OLIVEIRA

ABORDAGEM DA RADIOATIVIDADE NOS LIVROS DIDÁTICOS DE QUÍMICA DO PNLD 2015-2018

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ensino de Ciências e Educação Matemática do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito para obtenção do título de Mestre em Ensino de Ciências e Educação matemática.

Área de concentração: Ensino de Química
Orientador: Prof. Dr. Marcos Antônio Barros

Aprovada em 03/05/2019.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Marcos Antônio Barros
DF/PPGECEM/UEPB
Orientador(a)

Prof. Dr. Francisco Ferreira Dantas Filho
DQ/PPGECEM/UEPB

Prof. Dra. Alexandra Chaves Braga
CDSA/UFCG

Dedico a Jeová, Deus criador do universo.

A meus filhos amados, Gustavo Costa de Oliveira, força motriz que me instigou a iniciar este trabalho, e Bernardo Costa de Oliveira, que nasceu no intercurso, dando-me um gás para concluir e inspirando-me a ser sempre melhor como ser humano.

A minha mãe (Maria Inês) e ao seu pai Francisco Antônio Leal (*in memória*)

A minha digníssima e amada esposa Bianka Oliveira, pela parceria de todos os dias, horas compartilhadas e vividas sempre com muita responsabilidade e sensatez.

AGRADECIMENTOS

Ao conseguir chegar ao término de mais uma etapa como esta, frente a todas as dificuldades, só me resta fazer os devidos agradecimentos de forma sincera e humilde a todos que me foram amigos, parceiros, orientadores.

Agradeço a Deus por permitir a minha existência fazendo-me pela fé chegar ao término de mais uma etapa.

Agradeço a Bianka Oliveira, minha esposa, por compartilhar comigo todas as alegrias e adversidades ao longo de todos estes anos de crescimento.

Ao professor Marcos Antônio Barros, pela orientação, a qual me fez encontrar um amigo, dando-me conselhos, pelo seu senso humano e justo. E com toda a sua paciência dispensada, me ensinou lições para uma vida inteira.

Aos professores Dr. Francisco Ferreira Dantas Filho e a Dra. Alexandra Chaves Braga, por prontamente aceitarem o convite para avaliar este trabalho e compor a banca de qualificação e defesa. As suas ponderações foram determinantes para o produto final.

Ao professor Juracy, pelo incentivo e por me fazer acreditar.

Ao amigo que foi um verdadeiro professor, Alexsandro de Almeida Barros, que mesmo com uma carga de responsabilidade muito grande, sempre me ouvia e me aconselhava.

Aos amigos Marcelo Rodrigues e Wilson Santos, pelos incentivos constantes.

A todos professores, alunos e funcionários do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática, pela boa convivência e bons momentos de crescimento intelectual.

A Laurinda Leite, por, gentilmente, contribuir com seus trabalhos, que foram o norte para as análises realizadas.

“Não se encontra o espaço, é sempre necessário construí-lo.” — Gaston Bachelard

RESUMO

A inserção de elementos de História da Ciência (HC), no ensino de ciências, tem se mostrado promissora e suas possibilidades e limitações têm sido apontadas por vários estudiosos do assunto. Apesar disso, o livro didático, principal fonte de consulta do aluno e do professor, pode conter inadequações ou erros do ponto de vista conceitual e/ou histórico e perpetuar informações inexatas ou falsas. Neste trabalho buscamos responder, mediante pesquisa historiográfica e análise de conteúdo, ao seguinte questionamento: como os livros didáticos do PNLD 2015 – 2018 apresentam a história da ciência no ensino da radioatividade? Em conformidade com tal questionamento, tomamos como objetivo geral analisar a abordagem da radioatividade no contexto histórico da ciência em livros de Química do programa nacional do Livro Didático (PNLD) 2015 – 2018. Como objetivos específicos, buscamos analisar os aspectos positivos e negativos presentes nos livros didáticos analisados, quanto à abordagem da radioatividade e, por fim, produzir um material didático que venha contribuir para a divulgação dos aspectos históricos e conceituais da radioatividade, suprindo as possíveis inadequações detectadas nos livros didáticos - LDs. Nossa pesquisa aponta que alguns exemplares perpetuam determinadas lacunas, quando analisados sob a ótica dos referenciais teóricos adotados. Por exemplo, quando se trata de informações históricas temos que todos os exemplares apresentam dados biográficos, como datas de nascimento, falecimento dentre outras. Contudo, o LDQ1 utiliza uma publicação de um renomado historiador da ciência causando um efeito significativo que é capaz de prender a atenção do leitor. Não existe uma preocupação nos LDs em apresentar informações que possam ser relevantes e caracterizar os cientistas como pessoas comuns, sempre enaltecem a genialidade colocando-os como pessoas inatingíveis. Outro fator importante é que as inserções históricas em praticamente todos os LDs são feitas de forma solta sem uma cronologia de fatos que possam trazer um entendimento pleno de como tudo aconteceu. Alguns LDs utilizam imagens (fotos) de cientistas e imagens representativa de experimentos que ajudam a dar uma característica mais histórica, porém, não contextualizam os recursos ficando assim desconexos com o conteúdo. Com isso, pôde-se observar que os livros não conseguem alcançar os objetivos que são possíveis com o auxílio da História da Ciência.

Palavras-chave: Ensino de Química. Radioatividade. História da Ciência. Livro Didático.

ABSTRACT

The insertion of elements from the history of Science in the teaching of Science has shown to be promising and its possibilities and limitations have been pointed by many scholars of the field. Nevertheless, the science textbook, the major source of information for students and teachers, can contain mistakes and errors from the conceptual and historical point of view which helps perpetuate fake and inadequate information. In this work we seek to answer, through historiographic research and content analysis, the following question: how are the textbooks from the Brazilian national program of didactic book (PNLD) 2015 – 2018 presenting the history of Science in the teaching of radioactivity? In accordance with this question, we have as a general objective to analyze the approach of radioactivity in the historical context of science in Chemistry books of the National Program of Didactic Book (PNLD) 2015 - 2018. As specific goals, we seek to analyze the positive and negative aspects of the analyzed books, regarding the approach to radioactivity and, finally, to produce a didactic material that will contribute to the dissemination of historical and conceptual aspects of radioactivity, supplying the possible inadequacies detected in textbooks - LDs. Our research points that some of the textbooks perpetuate certain gaps when analyzed from the perspective of the theoretical references adopted. For example, when it comes to historical information, all the books have biographical information such as birth date, death, among other things. However, the LDQ1 (Textbook1) uses a publication by a renowned Science historian causing a significative effect which is capable of catching readers' attention. The LDs show no concern in presenting relevant information about the scientists and in charactering them as ordinary people, the textbooks always praise their genius placing them as unreachable people. Another important fact is that the historical insertions in practically all copies are done loosely without a chronology of facts that can bring a full understanding of how it all happened. Some LDs use images (photos) of the scientists and images representing the experiments that help give a more historical feature on the books, but do not contextualize the resources and thus become disconnected with the content. With this, it could be observed that books cannot reach the objectives that are possible with the help of the History of Science.

Key-words: Chemistry teaching. Radioactivity. The history of Science. Textbook.

LISTA DE SIGLAS

LD – Livro Didático

HC – História da Ciência

PNLD – Programa Nacional do Livro Didático

QI – Quociente de Inteligência

PCNEM – Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio

UEPB – Universidade Estadual da Paraíba

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Tubos de descarga utilizados por Röntgen. Em ambos, o cátodo (em forma de disco) e o ânodo estão em ângulo reto. Nesses tubos, o feixe os raios catódicos atinge o vidro, e não o ânodo 18

Figura 2- Radiografias feitas por Röntgen em 1895: (a) ossos das mãos de sua esposa, Bertha, com dois anéis no dedo médio; (b) caixa de madeira contendo pesos de balança; (c) bússola, com caixa metálica (com escala em tinta metálica); (d) amostra de metal (zinco) mostrando irregularidades 19

Figura 3- Imagem da chapa fotográfica revelada por Becquerel 53

Figura 4 – Imagem de cientista e do Contador Geiger 53

Figura 5– Imagem de cientista e do Contador Geiger 53

Figura 6 – Homenagem ao casal Curie no Selo da República Centro-Africana 54

Figura 7 – Marie Curie 54

Figura 8 – Lise Meitner 55

Figura 9 – Experimento de Rutherford 56

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Livros selecionados para análise 36
Quadro 2 – Traçado histórico presente nas coleções de LD 41
Quadro 3 – Abordagem das ideias científicas nos livros didático de Química 45
Quadro 4 – Informações referentes a quem faz a ciência nos LDQs analisados 48
Quadro 5 - Materiais utilizados para apresentar a informação histórica 52
Quadro 6 – Informações históricas presentes nas coleções de Química analisadas 57

LISTA DE APÊNDICES

Apêndice A - RADIOATIVIDADE: PERIGOS E BENEFÍCIOS À SOCIEDADE (Material didático para os alunos) 63

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO **14**

1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA **18**

1.1 A descoberta dos raios-X e a "Conjectura de Poincaré" **18**

1.2 Os trabalhos de Becquerel: um breve resumo **22**

1.3 Marie Curie e suas primeiras investigações sobre Radioatividade e pesquisas posteriores **25**

2 HISTÓRIA DA CIÊNCIA E POSSIBILIDADES PARA O SEU ENSINO **31**

2.1 A História da Ciência como ferramenta de melhoria do ensino **32**

3 PERCURSO METODOLÓGICO **37**

3.1 Natureza da pesquisa **37**

3.2 Material didático analisado **38**

3.3 Um referencial prático para a análise dos livros didáticos **39**

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES **43**

4.1 Vida dos personagens **43**

4.2 Características dos personagens **45**

4.3 Abordagem das ideias / descobertas **47**

4.4 Evolução da Ciência **48**

4.5 Quem faz a Ciência? **50**

4.6 Materiais utilizados para apresentar a informação histórica **54**

4.7 Contextos aos quais a informação histórica está relacionada **58**

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS **61**

REFERÊNCIAS: **62**

INTRODUÇÃO

A utilização de metodologias alternativas que favoreçam e facilitem o ensino-aprendizagem da ciência tem sido, nos últimos anos, um dos principais focos dos estudiosos da área da educação. Apesar disso, algumas disciplinas, como a química, por exemplo, ainda são encaradas pelos alunos como uma disciplina complicada, difícil de ser entendida e com pouco ou nenhum paralelo com sua vivência ou com o fazer científico. Não raro, o que se faz, costumeiramente, é explanar conteúdos, mediante fórmulas, leis que regem determinados fenômenos e cálculos para "comprovar" toda a teoria. Logo, como maneira de garantir o aprendizado, ingenuamente, aplicam-se inúmeros problemas e exercícios massivos e repetitivos (CALLEGARIO, 2015).

Documentos oficiais, como os Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (PCNEM), por exemplo, deixam explícita a importância de se contextualizar o ensino da química. Segundo o documento, para a interpretação do mundo através das ferramentas da Química, é essencial que se explicite seu caráter dinâmico. Assim, o conhecimento químico não deve ser entendido como um conjunto de conhecimentos isolados, prontos e acabados, mas sim uma construção da mente humana, em contínua mudança (BRASIL, 2000, p. 31).

Nesse contexto, a incorporação de elementos da História da Ciência (HC), no ensino de ciências, tem se mostrado promissora e suas possibilidades e limitações têm sido apontadas por vários estudiosos do assunto, a fim de tornar o ensino mais estimulante e ajudar a desmontar concepções erradas acerca da prática científica (MARTINS, 2006; 2007; MATTHEWS, 1994; 1995).

Segundo Martins (2006, p. 22), os relatos históricos, quando estudados adequadamente, possibilitam perceber o processo social e gradativo de construção do conhecimento, "permitindo formar uma visão mais concreta e correta da real natureza da ciência, seus procedimentos e limitações". Importante que o aluno perceba que o conhecimento não brota de forma acabada na mente de "grandes gênios". Não raro, as teorias que aceitamos, atualmente, foram propostas de forma confusa, com muitas falhas e, muitas vezes, sem nenhum aporte observacional ou experimental e, apenas gradualmente, "as ideias vão sendo aperfeiçoadas, através de debates e críticas" (*ibid*, p. 22).

O livro didático, por outro lado, principal material em que o estudante e o professor buscam aporte científico e informações históricas, apresentam, normalmente, elementos isolados, informações que colocam cientistas, filósofos e estudiosos como pessoas de Quociente de Inteligência (QI) elevado que se isolam do resto do mundo, sendo a história de cada um

desses contada de forma isolada. Além disso, apresentam apenas informações, tais como nome completo, data de nascimento e falecimento; o que de fato não ajuda em nada a caracterizar o ser humano por trás do cientista. Ainda deixam evidente, com os cientistas citados, que a ciência é algo predominantemente masculino; uma ideia, evidentemente equivocada, segundo explicam Vidal & Porto (2012).

Não raro, também, as ideias são descritas de forma linear e direta, apenas como se o conhecimento tivesse evoluído, tivesse sido polido sem ter havido nenhum tipo de contestação, o que é por muitos criticado (BIZZO, 1992). Ademais, esquecem de demonstrar o contexto histórico, no qual o cientista estava inserido, se era uma época de guerra, de conflitos regionais ou mundiais, quais as condições de vida, dentre outros fatores.

Em linhas gerais, o presente trabalho está voltado para a história da radioatividade. O interesse pessoal pelo tema esteve diretamente ligado à minha atuação em sala de aula, e ao interesse dos alunos surgido daí pela radioatividade e pelos perigos e/ou benefícios do seu uso para a sociedade atual. Também percebi um maior interesse dos estudantes por temas que envolviam o uso da radioatividade em equipamentos modernos, a radioatividade da matéria e acidentes ocorridos em usinas nucleares.

A descoberta da radioatividade, por outro lado, é um dos eventos mais conhecidos da história da física e é, costumeiramente, atribuída ao físico francês Henri Becquerel que, ao observar que uma chapa fotográfica havia sido sensibilizada, após ser colocada em uma gaveta junto a um composto de urânio, teria se utilizado de perspicácia para interpretar corretamente aquela observação, desencadeando, a partir de então, um conjunto de estudos que conduziu ao nascimento da física nuclear. Entretanto, a maior parte do que se costuma afirmar sobre Becquerel e a descoberta da radioatividade é falso (MARTINS, 2012, p.7).

Dito isso, poderíamos nos questionar sobre a forma como os livros/textos de química do ensino médio retratam a descoberta da radioatividade; ou que tipos de inadequações históricas e/ou conceituais estão mais presentes nesses materiais; ou se há menções à importância e aos perigos da utilização da energia nuclear na sociedade moderna; ou, ainda, sobre como poderíamos contribuir, enquanto educadores, para a divulgação dos benefícios e perigos associados às aplicações da radioatividade.

Portanto, se buscará respostas para as seguintes indagações: Como os livros didáticos do PNLD 2015 – 2018 apresentam a história da ciência no conteúdo de radioatividade? Quais os aspectos positivos e/ou negativos presentes nesses livros? É possível trabalhar com estes materiais no contexto do ensino de radioatividade? A fim de responder as indagações propostas, alguns objetivos nortearam essa investigação, a saber: analisar a abordagem da radioatividade

no contexto histórico da ciência em livros de Química do programa nacional do Livro Didático (PNLD) 2015 – 2018.

Como objetivos específicos, buscaremos analisar os aspectos positivos e negativos presentes nos livros didáticos analisados, quanto à abordagem da radioatividade e, por fim, produzir um material didático que venha contribuir para a divulgação dos aspectos históricos e conceituais da radioatividade, suprindo as possíveis inadequações detectadas nos livros didáticos - LDs.

Nossa proposta se detém mais ao aspecto internalista da história da radioatividade. Muito embora priorizemos alguns aspectos "teóricos" e "científicos", em detrimento de outros, estamos cientes que contextos como o social, econômico, político ou religioso, por exemplo, podem também ter grande influência no desenvolvimento das ideias científicas. É importante, portanto, assinalar que nossa proposta materializa apenas um "recorte" possível para investigação, mas que, ao mesmo tempo, essa escolha não implica a negação da contribuição de outros contextos. Haja vista a grande dificuldade de conciliar, de forma coerente, os aspectos internalistas e externalistas, numa pesquisa desta natureza, decidimos não priorizar outros contextos, ainda que, ao longo do texto, se faça rápida menção a tais outros elementos.

Nosso trabalho segue o seguinte plano organizacional: além da introdução, temos o primeiro capítulo onde reconstruímos o contexto histórico dos primeiros estudos da radioatividade da matéria; da descoberta dos raios X, que motivaram, em muito, as pesquisas neste campo; a conjectura de Poincaré, sua influência sobre os trabalhos de Becquerel; os estudos deste último e seus enganos, etc; os trabalhos de Marie Curie e trabalhos posteriores, buscamos subsídios para fundamentar o nosso trabalho principalmente nos trabalhos de Roberto Andrades Martins.

No segundo discorremos brevemente sobre a história da ciência, seu uso no ensino, possibilidades e dificuldades; os principais aspectos a se levar em consideração na análise de textos históricos e um referencial prático a ser utilizado em nossa análise. No terceiro, discorremos sobre nossas ferramentas metodológicas e o material didático alvo de nossa análise. Já o quarto capítulo está reservado à nossa análise e o último aos nossos resultados e considerações finais.

Por fim, em anexo, disponibilizaremos um material didático endereçado aos alunos e professores, no qual trataremos do caso do acidente envolvendo o Césio – 137, dos perigos da radioatividade, de seus benefícios, quando devidamente bem utilizada, suas potencialidades e vantagens de seu uso.

Além disso, como forma de dinamizar o aspecto histórico acerca da radioatividade, faremos um resumo expandido sobre este contexto, baseado na nossa fundamentação.

1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Costuma-se dizer que Henri Becquerel foi quem descobriu, em 1896, o fenômeno da radioatividade e que essa descoberta foi acidental – resultante de, após ter guardado, em uma gaveta, um composto de urânio juntamente com uma chapa fotográfica, ter notado sinais da radiação na chapa. Entretanto, uma análise mais cuidadosa mostra que esta é uma versão simplória e que , dificilmente, se poderia afirmar que Becquerel descobriu a radioatividade e aquilo que ele, de fato, descobriu não foi devido ao acaso (MARTINS, 1990).

A seguir traçaremos parte do contexto histórico acerca da radioatividade. A partir disso, no intuito de compreendermos que a descoberta da radioatividade não foi um feito pessoal, atribuído a um ou outro cientista; mas que esteve permeada de vários fatores e contextos e pela contribuição de vários pesquisadores.

1.1 A descoberta dos raios-X e a "Conjectura de Poincaré"

Os primeiros estudos acerca do fenômeno da radioatividade estiveram intimamente relacionados à divulgação da existência dos raios-X, feita por Wilhelm Conrad Röntgen[1] em 1896 (MARTINS, 2012, p.17). Grosso modo, pouco tempo após essa descoberta, conjecturou-se que, talvez, houvesse alguma relação entre a emissão dos raios-X e a fluorescência que surgia no vidro utilizado no aparato experimental. Em linhas gerais, tal conjectura teve grande influência nos estudos do físico francês Henri Becquerel, a quem, normalmente, credita-se a descoberta da radioatividade. Portanto, acreditamos ser conveniente mencionar, logo de início, mesmo que de passagem, esses primeiros estudos.

O século XIX foi um período de intensa agitação intelectual. Esse foi um período em que a ideia do progresso estava diretamente ligada à ideia de ciência. Essa concepção de mundo, expressa pelas mentes de filósofos como Comte, por exemplo, afirmou-se, vigorosamente, na segunda metade do século. Falava-se na fé do progresso e na procura de uma lei que operasse o processo histórico. Algumas práticas, como a repetição metódica dos experimentos, seguida por Röntgen e contemporâneos, também, era comum aos físicos da época (CESTARI JUNIOR, 2015).

---

[1] Uma análise detalhada da descoberta dos raios X por Röntgen em 1895-96, bem como a repercussão de seus trabalhos, pode ser encontrada em Martins (1998) e Martins (1997). Um resumo acerca dos primeiros estudos com raios X é feita na seção 1.7 de Martins e Rosa (2014).

Röntgen nasceu na província do Reno, atual Alemanha, em 1845. Dentre muitos trabalhos, ele começou a se interessar pelo tipo de experimento realizado por Filipp Lenard envolvendo a emissão de raios catódicos. Esse construiu, em 1892, tubos de descarga dotados de uma fina janela de alumínio, de modo que os raios catódicos podiam sair do tubo e serem estudados no ar ou em algum outro gás (MARTINS, 1998; 2012, p.23).

O aparato experimental de Lenard era, basicamente, variações dos tubos de Crookes[2], tubos de vidro com ar rarefeito, em seu interior, utilizados para produzir e estudar os assim chamados "raios catódicos" ou "raios de Lenard", como ficaram posteriormente conhecidos. Lenard havia estabelecido que os raios catódicos são produzidos pela luz ultravioleta e seu comportamento havia se tornado suficientemente conhecido, sendo possível detectá-los em telas fluorescentes, isto é, esses raios eram capazes de sensibilizar chapas fotográficas (LENARD, 1906). Entretanto, na época, ainda não havia acordo acerca da real natureza dos raios catódicos, muito embora, em 1985, os pesquisadores ingleses já defenderem a ideia de que eles eram um fluxo de partículas dotadas de carga elétrica. Atualmente aprendemos que os raios catódicos são simplesmente um fluxo de elétrons (MARTINS, 2012, p. 22).

Em 1894, Röntgen, por sua vez, obteve o material necessário para este tipo de experimento (tubos, folhas de alumínio, etc) e, segundo correspondências, conseguiu observar os raios catódicos em junho do mesmo ano (*ibid*, p.17-8). É certo que Röntgen estava trabalhando com raios Lenard, no verão de 1894, mas ele parece ter feito pouco uso dos equipamentos especiais de Lenard, quando trabalhava com raios X, no outono de 1895.

É plausível que Röntgen estivesse mais interessado na luminosidade emanada dos tubos de Crookes do que nos raios catódicos, mais especificamente em baixas luminosidades, já que, em determinado momento de suas pesquisas, ele estava utilizando cartolina preta para recobrir os tubos e realizando experimentos em uma sala escura (MARTINS, 2012, p. 25). Consideremos um trecho de seu relato dado em entrevista a H. J. W. Dam, em 1896:

> Eu havia seguido suas pesquisas [de Lenard] e de outros com grande interesse e decidira que logo que tivesse tempo faria algumas pesquisas próprias. Encontrei esse tempo no final do último mês de outubro [de 1895]. Eu estava trabalhando há alguns dias quando descobri algo de novo.

---

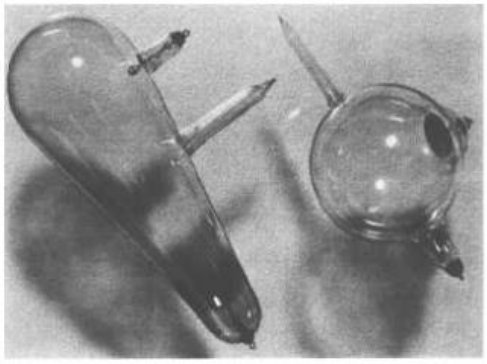
[2] "Meu interesse nesses assuntos não encontrou expressão direta durante meus dias de estudante. Descargas elétricas de gás não foram consideradas objeto de estudo adequado para iniciantes, e com razão. Mas mesmo os investigadores maduros não conseguiram nada realmente significativo neste campo nos anos que se seguiram ao trabalho de Crookes. Eles não obtiveram nenhum resultado que, por si só, abrisse novas perspectivas, e no que se refere à pureza das condições experimentais, eles dificilmente progrediram além do trabalho de Crookes." (LENARD, 1906). Nomes importantes como Eugen Goldstein, Johann Wilhelm Hittorf, Heirich Geissler, estiveram na época envolvidos nesse tipo de pesquisa.

> [...] Eu estava trabalhando com um tubo de Crookes coberto por uma blindagem de papelão preto. Um pedaço de papel com **platino-cianeto de bário** estava lá na mesa. Eu havia passado uma corrente pelo tubo, e notei um linha preta peculiar no papel [...] Nenhuma luz poderia provir do tubo, pois a blindagem que o cobria era opaca a qualquer luz conhecida[...] (DAM 1896, p. 413 *Apud* MARTINS, 2012, p. 24, nosso grifo).

Uma nova radiação estava, portanto, emanando dos tubos e parecia ser diferente de qualquer uma antes observada. Embora o seu próprio artigo seja bastante claro, as circunstâncias exatas em que Röntgen descobriu os raios X são obscuras. Não obstante, a descoberta de Röntgen é mais do que a observação dos raios; inclui também uma exploração completa de suas propriedades.

A nova radiação foi explorada por Röntgen que, em poucas semanas, determinou muitas de suas principais propriedades. Ela produzia luminescência em certos materiais fluorescentes, como o platino-cianeto de bário, utilizado por Röntgen, sensibilizava chapas fotográficas, era invisível ao olho humano, não parecia sofrer refração, nem reflexão, nem polarização. Não se tratava de luz (por ser invisível e atravessar grandes espessuras de madeira ou papel e emanar dos tubos, mesmo estando recobertos por papeis opacos, não era igual aos raios catódicos, pois não sofria desvio com ímãs e tinha poder de penetração muito superior, nem raios ultravioletas ou infravermelhos (pelo seu poder de penetração) (MARTINS, 2003; MARTINS, 2012, p.63).

Figura 1 - Tubos de descarga utilizados por Röntgen. Em ambos, o cátodo (em forma de disco) e o ânodo estão em ângulo reto. Nesses tubos, o feixe os raios catódicos atinge o vidro, e não o ânodo.

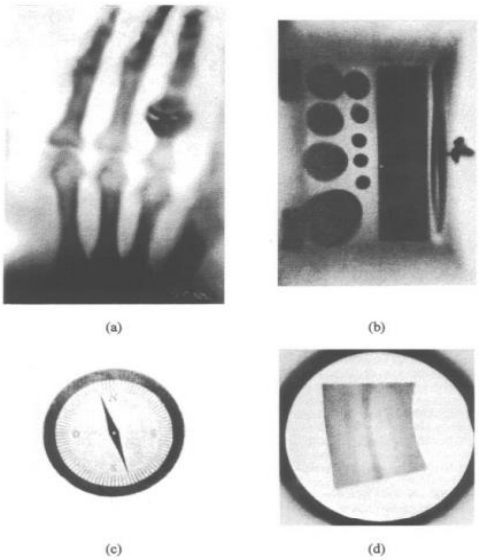


Fonte: (MARTINS, 1998)

A descoberta teve repercussão imediata, não somente pelo cientistas, mas também pela imprensa. Essa popularidade deveu-se, em parte, por sua famosa aplicação: observação dos ossos de um ser vivo, através de radiografia. Nos meses seguintes, inúmeros jornais e revistas

científicas publicaram fotografias obtidas por meio dos raios-X - ou raios de Röntgen, como também ficaram conhecidos- (MARTINS, 1990).

Figura 2- Radiografias feitas por Röntgen em 1895: (a) ossos das mãos de sua esposa, Bertha, com dois anéis no dedo médio; (b) caixa de madeira contendo pesos de balança; (c) bússola, com caixa metálica (com escala em tinta metálica); (d) amostra de metal (zinco) mostrando irregularidades.



Fonte: (MARTINS, 1998).

Após a divulgação da descoberta - feita num primeiro momento pelo próprio Röntgen, de forma estratégica, enviando separatas de seu trabalho a determinadas pessoas e a diferentes lugares-, os pesquisadores ficaram, num primeiro momento, atônitos e incredúlos. Os que tinham à disposição o material necessário, logo trataram de repetir os experimentos e constataram que ele estava correto; seguindo-se, rapidamente, uma competição para determinar outras informações acerca da nova radiação, além de uma enorme gama de estudos acerca da aplicação prática dos raios X, das condições para uma produção de modo mais eficiente, discussões sobre sua natureza, influência sobre instrumentos de medida e relação entre os raios X de Röntgen e a luminescência (c.f. MARTINS, 2012, pp. 69-91). Foquemos nesse último ponto.

Nas semanas seguintes à divulgação da descoberta dos raios de Röntgen, foram apresentados à Academia Francesa de Ciências diversos trabalhos associados aos raios X. Havia, dentre outras coisas, uma busca por diferentes modos de produzir essas radiações. Ao longo do mês de fevereiro de 1896, trabalhos de físicos como Albert Nodon, Gustave Moreau, dentre outros, apresentaram trabalhos relacionando os raios X a descargas elétricas de altas

voltagens, à capacidade desses raios descarrregar eletroscópios, etc. Ainda na França, a divulgação da descoberta dos raios X, na Academia de Ciências de Paris, foi feita por Henri Poincaré, no dia 20 de janeiro de 1896, somente algumas semanas após a publicação do trabalho de Röntgen (KRAGH, 1989; MARTINS, 2012, p. 91). Poincaré apresentou um relato oral resumido sobre os raios de Röntgen.

Já era fato conhecido que o tubo de Crookes, quando atravessado por uma descarga elétrica, emitia raios X e observa-se que a parede do tubo de vidro, defronte ao cátodo, ficava luminescente, com um brilho amarelo-esverdeado. Poincaré passou a sugerir que a causa dos raios de Röntgen podia não ser elétrica, mas sim relacionada à fluorescência, de forma que, acreditava ele, todos os corpos luminescentes deveriam, também, emitir raios X. Essa possível relação passou a ser conhecida por "Conjectura de Poincaré", segundo explica o professor Roberto Martins (MARTINS, 2012, p. 91-92).

Como veremos, a conjectura de Poincaré exerceu grande influência nas pesquisas de Antoine-Henri Becquerel (1852-1908). A bem da verdade, a autoria desta conjectura é, ainda, motivo de controvérsias. Muitos historiadores defendem que ela é de autoria do próprio Becquerel. Além disso, o próprio Becquerel, ao relatar a descoberta da "radioatividade" do urânio, atribui a conjectura a seu pai Henri Becquerel (*ibid*, p. 94).

Hoje sabemos que a maioria dos materiais fluorescentes não são radioativos, então, por que ele se concentrou em sais de urânio? Mais cedo, junto com seu pai Edmond Bequerel (que também era professor no Museu de História Natural em Paris), estudou os aspectros de fluorescência dos compostos de urânio e notou que as bandas espectrais obedeciam a uma notável regularidade (KRAGH, 1999).

Em linhas gerais, os raios de urânio não causaram a mesma sensação que os raios X e por um ano ou dois, Becquerel foi um dos poucos cientistas que estudaram ativamente o novo fenômeno. Afinal, os efeitos dos raios de urânio eram fracos e muitos físicos consideravam que era apenas um tipo especial de raios X, embora com uma origem que desafiava as explicações. Do ponto de vista de Becquerel, que acreditava que os raios de urânio estavam relacionados aos espectros peculiares de compostos de urânio, não havia nenhuma razão para assumir que os raios, também, eram emitidos por outros compostos (KRAGH, 1999).

1.2 Os trabalhos de Becquerel: um breve resumo

Não raro, relatos simplistas afirmam, normalmente, que Becquerel colocou sal de urânio em uma placa fotográfica envolto em papel preto, o expôs à luz solar, por várias horas,

e observou um escurecimento distinto da placa quando foi desenvolto. Becquerel acreditou, segundo tal versão, que os raios penetrantes eram resultado da fluorescência e que a exposição ao sol era, portanto, crucial.

Uma semana depois, quando ele repetiu o experimento, num dia nublado, percebeu que o sal de urânio, ainda, emitia os raios, também emitidos por outros sais de urânio e era, ainda, mais forte no urânio metálico. Os ditos raios foram originalmente referidos como "raios de urânio" e aparentavam ser de natureza diferente da dos raios X. Credita-se, a partir disso, a Becquerel a descoberta da radioatividade da matéria. Uma análise mais cuidadosa, entretanto, mostra que esta é uma versão simplista e que, dificilmente, se poderia afirmar que Becquerel descobriu a radioatividade; e aquilo que ele, de fato, descobriu, não foi devido ao acaso.

Como adiantado na seção anterior, a relação entre os raios X e a luminescência, embora equivocada, serviu como guia para os trabalhos de Becquerel. As principais investigações científicas de Becquerel foram sobre os fenômenos ópticos, especialmente a fosforescência. O físico francês realizou suas pesquisas, utilizando a maioria das substâncias luminescentes, dentre elas, compostos de urânio, colecionadas por seu pai Alexandre-Edmond Becquerel (1852-1908).

Antoine-Henri Becquerel, filho de Alexandre-Edmond, Nasceu em 1852 e iniciou sua carreira científica seguindo os passos do pai. Segundo explica o professor Roberto Martins, seu principal campo de investigação foi fenômenos ópticos, especialmente fluorescência. Na época, os compostos de urânio eram considerados interessantes para pesquisas, envolvendo a luminescência, pelo menos por duas razões especiais: havia muitas substâncias fosforescentes diferentes que continham urânio e sua fosforescência era excepcionalmente forte. Em linhas gerais, os principais resultados de Becquerel foram semelhantes aos obtidos por Charles Henri e Gaston Henri Niewenglowiski. Becquerel conhecia os trabalhos anteriores de Henry e Niewenglowski e reproduziu, sem grande alteração, o experimento do segundo. Apenas testou uma nova substância – o sulfato duplo de uranila e potássio – confirmando, também nesse caso, a hipótese de Poincaré. O diferencial de Becquerel, portanto, foi o uso do sulfato duplo de uranila e potássio. Visto anacronicamente, isso foi o que o tornou famoso e distinguiu o seu trabalho do de seus coetâneos (MARTINS, 2012, p. 104, 133; MARTINS, 1990).

De acordo com algumas descrições, Becquerel deixa claro que a escolha de trabalhar com composto de urânio não foi ao acaso e que a opção por trabalhar com tais compostos está intimamente relacionada a certas séries harmônicas de faixas nos espectros dos sais de urânio, segundo explica o professor Roberto Martins (MARTINS, 2012, p.137).

Mais cedo, junto com seu pai Edmond Bequerel (que também era um professor do Museu de História Natural de Paris), Becquerel havia estudado os espectros de fluorescência compostos de urânio e notou que as bandas espectrais obedeceram a uma regularidade notável (KRAGH, 1990). Em 1885, ele acreditava que o estudo de tais substâncias especiais poderia elucidar os processos de absorção e emissão seletiva de radiação fluorescente e fosforescente (MARTINS, 2012, p. 137).

Em sua discussão acerca dos espectros peculiares dos compostos de urânio, Henri Becquerel se referiu à teoria vibratória de Eugen Lommel e à lei de Stokes. De acordo com esta última, os corpos fluorescentes podem emitir radiação. Entretanto, só podem emitir em um comprimento de onda maior do que o do da radiação excitante[3] (STOKES, 1852). Muito embora, em meados do século, a lei de Stokes tenha sido amplamente confirmada tanto por Stokes quanto pelo pai de Becquerel, no caso específico de certas substâncias, a regra não parecia ser mantida (MARTINS, 2012, p. 141).

Na época, a lei não era considerada absoluta e, segundo a teoria sugerida pelo físico alemão Eugen Lommel, a fluorescência anômala deveria ocorrer em substâncias que exibissem o tipo de espectros regulares que Becquerel observara em sais de urânio. Se esta fosse realmente a linha de raciocínio de Becquerel, não é tão estranho que ele tenha escolhido compostos de urânio para sua pesquisa (KRAGH, 1990).

Essas substâncias tinham uma propriedade especial: para todos os compostos de urânio, as faixas de absorção e emissão obedeciam a uma relação simples. Dito de outro modo: havia algumas faixas de emissão e absorção comuns e, por isso, a absorção parecia ser algum tipo de fenômeno de ressonância. Fora isto, Becquerel notou que a diferença entre as frequências médias de faixas sucessivas eram aproximadamente constantes. Becquerel interpreta o fato da seguinte forma:

> As radiações absorvidas pelos compostos de urânio, que satisfazem uma lei comum, excitam em todos esses corpos os mesmos movimentos vibratórios luminososos, de diferentes períodos, que parecem ser harmônicos inferiores das radiações excitantes (BECQUEREL, 1885 *apud* MARTINS, 2012, p. 138).

Uma análise mais aprofundada, especificamente, dos trabalhos de Becquerel, semelhante à realizada em Martins (2012), está fora das possibilidades do presente trabalho. Entretanto, pode-se concluir que o pesquisador Francês foi guiado pela conjectura de Poincaré (que, do ponto de vista atual, está equivocada) e, a partir dela, iniciou suas pesquisas,

---

[3] De acordo com nosso conhecimento atual, a lei de Stokes é correta - segue-se da teoria quântica da radiação -, mas, na última parte do século XIX, houve muitos relatos de "fluorescência anômala", isto é, exceções à lei de Stokes (KRAGH, 1990).

considerando, possivelmente, os compostos de urânio, baseados na ideia da radioatividade como um tipo de “fosforescência invisível” (MARTINS, 2012 p. 146). Além disso, o uso do urânio por Becquerel justifica-se, porque ele parecia ser uma confirmação à lei de Stokes, uma lei cuja validade era motivo de controvérsia na época.

Becquerel, também, cometeu diversos erros experimentais e, até 1898, seu trabalho não foi submetido à repetição sistemática nem a críticas, sendo descrito nas revistas e aceito, simplesmente, como uma contribuição que não contrastava fortemente com outros fenômenos conhecidos e, por isso, não exigia qualquer análise mais aprofundada (*ibid*, 174).

Em resumo, os trabalhos de Becquerel não estabeleceram nem a natureza das radiações emitidas pelo urânio nem a natureza sub-atômica do processo. Seu trabalho, guiado pela conjectura, era apenas um dos muitos, da época, que apresentavam resultados de difícil interpretação. Vistas, em seu contexto, suas pesquisas não tiveram nem impacto nem fecundidade semelhantes às da descoberta dos raios X (MARTINS, 1990). Só quando Marie e Pierre Curie descobriram substâncias muito mais ativas do que o urânio, a radioatividade fez manchete e se tornou um fenômeno de grande importância para os físicos.

A radioatividade do tório foi anunciada, na primavera de 1898, de forma independente, por Marie Curie e o alemão Gerhard Schmidt. Mais tarde, no mesmo ano, Marie e Pierre Curie descobriram em minérios de urânio dois elementos, até então, desconhecidos que propuseram nomear polônio e rádio. O rádio extraordinariamente ativo tornou a radioatividade conhecida pelo público em geral e iniciou uma nova e excitante fase no estudo dos raios da Becquerel. Aliás, os termos "radioactividade" e "substâncias radioativas" foram introduzidos pela primeira vez por Marie Curie no mesmo ano, em 1898. Durante os próximos anos, um número crescente de físicos na Europa e na América do Norte estudou a radioatividade, o que logo tornou-se uma das áreas de física mais rápidas.

1.3 Marie Curie e suas primeiras investigações sobre Radioatividade e pesquisas posteriores

É fato que após a publicação dos trabalhos de Henri Becquerel, entendia-se que buscar novos elementos radioativos - termo que ainda não era utilizado - seria o mais natural, tendo em vista o elemento conhecido como Urânio. Assim sendo, é comum encontrar em diversas publicações que a principal contribuição de Marie Curie foi apenas a descoberta de novos elementos radioativos (Tório, Polônio, Rádio) em 1898.

Numa análise mais apurada dos trabalhos de Marie Curie, Martins (2003)[4] mostra que ela conseguiu diferenciar o fenômeno que, hoje, chamamos de Radioatividade de uma série de outros fenômenos hipotéticos. Além disso, afirma, ainda, que ela se embasou em conjecturas, a respeito da natureza atômica do próprio fenômeno de emissão de radiação, descobrindo, assim, novos elementos radioativos.

Aos 30 anos, quando Marie Curie resolveu começar uma pesquisa para obtenção do seu doutoramento em física[5], na qual ela escolheu como tema o estudo das radiações do Urânio, através do método elétrico, justificando tal escolha, devido à possibilidade de obter resultados mais rápidos.

> Em geral, utilizou-se nesses estudos o método elétrico, quer dizer, o método que consiste em medir a condutibilidade do ar sob a influência dos raios que se estuda. Esse método possui, de fato, a vantagem de ser rápido e de fornecer números que podem ser comparados entre si (CURIE, 1899, p.41).

Além disso, ela ainda dispunha de aparelhagem produzida pelo seu marido Pierre e o irmão Jacques que seria contundente no estudo da condutividade do ar, produzida pelos raios do Urânio. Vale salientar que Becquerel, em 1896, havia descoberto que o Urânio emitia radiações penetrantes e, sistematicamente, não fez nenhum tipo de busca para ver se identificava este tipo de emissão em outro elemento, buscou apenas verificar substâncias que possuíam a mesma propriedade, analisou o sulfeto de zinco, sulfeto de cálcio, dentre outros materiais fosforescentes, certamente, Becquerel tinha como certo ter descoberto um tipo de fosforescência invisível (BECQUEREL, 1896a, 1896b).

Com esta conclusão tomada, ele não tinha mais instigação para continuar buscando novos elementos (MARTINS, 1997). Assim sendo, Marie Curie iniciou a sua busca por outros elementos que fossem capazes de emitir radiações semelhantes. O seu primeiro artigo de 1898 traz a seguinte afirmação:

> Estudei a condutividade do ar sob a influência dos raios do urânio, descobertos pelo Sr. Becquerel, e procurei se outros corpos além dos compostos do urânio eram suscetíveis de tornar o ar condutor de eletricidade. (CURIE 1898a, p.1101).

Nesta época, Marie Curie ainda não estava ligada a nenhuma instituição científica, e o seu marido, Pierre Curie, era professor de uma escola de engenharia e conseguiu uma autorização para ela trabalhar no cantinho de uma sala fria e úmida, sendo esse o único local

---

[4] MARTINS (2003).

[5] Como naquela época não existia cursos de pós-graduação, o título de doutorado era obtido por defesa direta de tese.

disponível, sala de máquinas e depósito. Apesar disso, Marie Curie foi dando partida às suas pesquisas.

Em 16 de dezembro de 1897, a princípio estava criando intimidade com toda aparelhagem sob orientação de Pierre Curie, pois era indispensável uma prática razoável para regular, de forma manual, a força que seria exercida sobre o cristal piezoelétrico (JOLIOT-CURIE, 1940). Martins (2003) faz uma reconstrução historiográfica dos trabalhos de Marie Curie, muito embora tenha tido como base, apenas, os seus escritos que não esclarecem os seus pensamentos, apenas enfatizam as suas ações. Segundo ele, em dezembro e janeiro do ano de 1898, Marie Curie conseguiu afirmar, a partir dos experimentos, que tanto o aquecimento (1º de Janeiro) quanto a iluminação (5 de janeiro) não aumentava a intensidade da radiação do urânio. Assim o conceito de Becquerel acabara de se tornar duvidoso e Marie Curie entedia como provado que a radioatividade não podia ser aumentada pela luz (CURIE, 1899).

No mês de fevereiro de 1898, Marie Curie conseguiu novos resultados no tocante à relação entre o urânio e outras substâncias diferentes. Ela fez testes com vários metais, Cu, Zn, Pb, Sn, Pt, Fe, Au, Pd, Cd, Sb, Mo, W e concluiu que nenhum desses produzia condutividade no ar, no entanto, ao analisar um mineral de Urânio (pechblenda ou uraninita), em 17 de fevereiro, observou que produzia efeitos semelhantes ao urânio puro. Na verdade, ela percebeu que a corrente da pechblenda era maior do que no Urânio puro, como outrora já havia sido anunciado por Becquerel.

Este resultado lhe fez atinar para a possibilidade de haver, na pechblenda, além do urânio, alguma substância que, também, emitia radiações ionizantes, porém, até então, não detectada. Seguindo os testes, Marie Curie, analisou um mineral que continha apenas Tório e Nióbio e não continha Urânio, observou que havia emissões de radiação ionizante, depois testou o Tório e o Nióbio separadamente e observou que só o Nióbio emitia radiações ionizantes. Firmando, assim, a existência de um segundo elemento o Tório (Th) com as mesmas características do Urânio.

Neste mesmo tempo, Schmidt já havia encontrado que o Tório (Th) também emitia estas radiações penetrantes, capazes de ionizar o ar e de penetrar, através de papel opaco, sensibilizando placas fotográficas. Contudo, o seu trabalho ficou limitado a isso, não trazendo mais resultados com isso[6].

Ainda, segundo Martins (2003), Marie Curie fazia sempre um paralelo entre as substâncias minerais naturais que continham os elementos e os mesmos puros e, com estas

[6] (STUEWER, 1970), citado em (MARTINS 2003).

análises, ela tomou para si a ideia que a radiação penetrante era uma *propriedade do átomo*. Para isso, ela levou em consideração que as emissões dependiam da presença de elementos específicos, que a intensidade da radiação era proporcional à porcentagem desses elementos químicos nos compostos estudados e que não dependiam de propriedades moleculares. Tudo isso foi determinante e imprescindível para a descoberta de novos elementos, o polônio (Po) e o rádio (Ra). Dentre os fatores que foram indispensáveis para o sucesso dos Curie, a imaginação, os testes e a utilização de que a emissão de radiações ionizantes era uma propriedade atômica foi o que lhes elevaram ao destaque, dos demais pesquisadores daquele período.

Assim sendo, entende-se que, seguindo Martins (2003), Marie Curie foi efetivamente quem caracterizou o fenômeno da Radioatividade e que, com a publicação do seu primeiro artigo, apresentando a hipótese de propriedade do átomo, orientou todas as outras investigações que vieram a suceder os estudos.

O primeiro trabalho em radioatividade foi, principalmente, experimental e exploratório. Quais substâncias eram radioativas? Como eles se encaixam no sistema periódico dos elementos químicos? Quais foram os raios emitidos pelos corpos radioativos? A atividade foi afetada por mudanças físicas ou químicas? Estas foram algumas das perguntas que os físicos abordaram, em torno da virada do século - e não apenas físicos ou químicos, para a radioatividade era tanto uma preocupação dos químicos.

Físicos ou químicos, sua abordagem era fenomenológica e exploratória; isto é, focando na coleta e classificação de dados. Foi um período de grande confusão e incertezas. Por exemplo, durante os primeiros oito anos ou mais do século, geralmente, se acreditava que todos os elementos eram radioativos. Afinal, era difícil acreditar que a propriedade estava confinada a alguns elementos pesados e os métodos brutos de detecções pareciam indicar que a radioatividade fraca foi realmente encontrada em todos os lugares.

Em 1901, havia sido estabelecido que os raios eram complexos, constituídos por três espécies de diferente penetrabilidade. Os raios beta, facilmente desviados em um campo magnético, foram rapidamente identificados como elétrons rápidos, ao passo que os raios gama neutros foram, eventualmente, aproximadamente em 1912, como ondas eletromagnéticas semelhantes às do raios-x.

A natureza dos raios alfa era um mistério. Os experimentos iniciais indicaram que eles não foram desviados através de campos elétricos e magnéticos e, portanto, eram neutros, uma visão que Rutherford, entre outros, manteve por um breve período. No entanto, outras experiências feitas, principalmente por Rutherford na Universidade McGill de Montreal,

mostraram que as partículas foram positivamente carregadas e com uma massa comparável à do átomo de hidrogênio. Em 1905, aproximadamente, a evidência acumulou que as partículas alfa eram átomos de hélio duplamente carregados, He^{2+}. A hipótese foi confirmada em um experimento de 1908 que Rutherford, agora em Royds, provou espectroscopicamente que o hélio foi produzido a partir das partículas alfa que emanavam do radão. Juntamente com os dados da deflexão magnética dos raios alfa, essa identificação resolveu o assunto.

Ainda mais importante do que a natureza dos raios foi a percepção de que a radioatividade não é um fenômeno permanente, mas diminui ao longo do tempo. Uma substância radioativa se transforma em outra substância, no sentido de que os átomos mudam - transmutem - de um elemento para outro. Este foi o conteúdo básico da lei de transformação sugerida por Rutherford e pelo químico Frederic Soddy em 1902.

De acordo com esta lei, não somente os átomos transmutam, mas também o fazem aleatoriamente, o que é expresso pela transformação com um certo decaimento (λ), dependendo apenas da natureza do elemento radioativo. Se originalmente consistiu de Cem átomos, após um tempo t, o número será reduzido para $N(t) = N_o \exp(-\lambda t)$. Como Rutherford deixou claro, isso significa que a probabilidade de um átomo decadir é independente da idade do átomo. Este era um fenômeno muito peculiar, e tornou-se, ainda, mais peculiar, quando se descobriu em 1903 que a energia continuamente liberada do rádio era enorme - cerca de 1.000 calorias por grama por hora. De onde veio a energia?

Concedido que a radioatividade consistiu em mudanças subatômicas, qual foi a causa das mudanças? Tais questões teóricas foram evitadas pela maioria dos cientistas, mas foram consideradas legítimas e vários físicos e químicos estavam dispostos a especular sobre a origem da radioatividade. De acordo com uma hipótese amplamente aceita, baseada no modelo atômico de J. J. Thomson, a radioatividade foi causada por mudanças na configuração interna do átomo.

A partir de 1903, este tipo de modelo dinâmico qualitativo foi proposto, em diferentes versões, por Thomson, Oliver Lodge, Lord Kelvin, James Jeans e outros. Rutherford havia defendido um mecanismo similar, já em 1900 e, em 1904, em sua palestra Bakeriana, argumentou que "os átomos dos elementos de rádio podem ser compostos por elétrons (partículas β) e grupos de elétrons (partículas α) em movimento rápido e mantido em equilíbrio por suas forças mútuas. "Os elétrons aceleradores irradiariam energia e isso deve perturbar o equilíbrio do átomo e resultar em um rearranjo de suas partes componentes ou em sua desintegração final "(KRAGH, 1997a , p. 18). Embora Rutherford logo tenha decidido que o estado da teoria atômica não permitia explicação definitiva da radioatividade, nem ele nem outros pesquisadores duvidaram de que a radioatividade pudesse ser, causalmente, explicada

em termos de dinâmica subatômica. Na verdade, tais tentativas inúteis continuaram até meados da década de 1920.

Sabemos que a radioatividade é um fenômeno probabilístico que demonstra explicações causais e que a natureza probabilística é expressa pela lei de decaimento. Isto foi vagamente sugerido por Rutherford e Soddy em 1902 e discutido mais completamente por Egon Von Schweidler em 1905. Deste ponto de vista, parece estranho que os físicos, incluindo Rutherford e Thomson, tenham procurado explicações causais em termos de mudanças subatômicas. Na época, no entanto, não havia motivos para suspeitar que a radioatividade era, casualmente, inexplicável em princípio. A teoria estatística não foi associada à causalidade, mas sim a outros fenômenos estatísticos, como o movimento browniano, em que a natureza estatística pode, em princípio, ser resolvida em microprocessos deterministas.

As tentativas de projetar modelos atômicos que explicariam a radioatividade de forma mecanicista não foram bem-sucedidas. Em 1910, a maioria dos físicos ignorou o problema ou adotou uma atitude pragmática, segundo a qual as leis fenomenológicas se tornaram prioritárias sobre as explicações mecanicistas. Mas a natureza estatística da radioatividade não foi interpretada como uma característica irredutível que exigiu uma rejeição de modelos causais em princípio. Tal interpretação veio apenas com a mecânica quântica e, por esse motivo, seria um erro ver a radioatividade como o primeiro exemplo conhecido de um fenômeno ao acaso.

2 História da Ciência e possibilidades para o seu ensino

Ao começar uma abordagem desta natureza, faz-se necessário discorrer sobre o termo "História da Ciência", que se desenvolveu no interior da ciência, muito ligado à Filosofia (Lógica, Epistemologia, Filosofia da Linguagem) e, à medida que foi se estabelecendo, foi, também, desenvolvendo as suas características.

Conforme a História da Ciência foi se formando, muitos elementos foram sendo assimilados, filtrados, tornando-a muito complexa e com muitas faces. No entanto, a História da Ciência surge atrelada à própria Ciência e pode ser entendida de forma concisa como uma maneira de ratificar a Ciência que estava sendo formada. Concomitantemente ao desenvolvimento da Ciência, deu-se o desenvolvimento da História da Ciência, que se tornou imprescindível ferramenta, para quem desejasse aprofundar os seus estudos em Ciência e, ainda, possibilitou o resgate de aspectos importantes acerca da época em que cada conhecimento foi produzido, ajudando a recriar situações, pensamentos, e, consequentemente, criando estigmas. Pelo fato de ser História e, em certo momento, fazer menção ao passado, é algo percebido como um penduricalho da Ciência e não teve a relevância que deveria, pois entendia-se que a Ciência era projeção para o Futuro. Assim, ficou engatinhando, sem avançar significativamente. Essa evolução foi acompanhada de inúmeros problemas que só se observaram após o surgimento de certos conhecimentos (ALFONSO-GOLDFARB,2004). Mas, por que não haviam sido previstas todas estas problemáticas em torno destes novos conhecimentos? Simples: faltava um senso crítico para definir normas, rever princípios, valores, regras, além de sugerir, se necessário, alterações para favorecer uma nova metodologia e, de tal modo, a História da Ciência era esta obliquidade, por ter sido desenvolvida intrinsecamente à Ciência.

Segundo Alfonso-Goldfarb (2004), houve diversas maneiras de se fazer História da Ciência, contudo, essa está muito distante de ser uma pesquisa biográfica, contendo a história de vida de cientistas e personagens que contribuíram para o avanço da ciência, nem organiza os fatos de forma sequencial. A História da Ciência estuda todos os aspectos envolvidos na formação do conhecimento, não de forma anacrônica, pois isso é olhar para o passado, levando o hoje para influenciar nas análises dos eventos ocorridos e que, consequentemente, interfere, veementemente, na interpretação dos fatos outrora vividos. A História da Ciência vislumbra estudar a construção da ciência (conhecimento), de modo imparcial, despindo-se de conceitos de ideias prontas, fazendo uma análise apurada de uma época dentro do seu próprio contexto, não deixando que nada interfira nesta análise. Ou seja, a História da Ciência busca analisar o

que foi aceito, o que foi relevante e ainda é, mas também considera o que não foi aceito em determinado período e faz seu resgate sistemático de reconstrução, resolvendo, assim, conflitos e trazendo uma solução para determinadas crises que a ciência possa estar vivenciando.

A maneira de se enxergar a Ciência Contemporânea sofre uma influência marcante de Thomas Kuhn (1977, 1978). Foi ele quem propôs uma nova visão de ciência, haja vista o fato de ter feito críticas ao positivismo lógico na filosofia da ciência e à historiografia tradicional.

O modelo kuhniano considera a observação, como tendo sido precedida por teorias e descarta o seu caráter de neutralidade, o que denota a indissociabilidade entre observação e teorias. Vale salientar que o positivismo defende que a observação é neutra, sendo ela o ponta pé inicial para a produção do conhecimento. Kuhn não vê sentido que possa justificar um "método de indução", do positivismo, e dá uma nova roupagem, caracterizando esta produção de conhecimento, como sendo feita de forma construtiva, inventiva e, principalmente, de modo não definitivo, o que, *a posteriori*, passa a ser consenso entre filósofos contemporâneos da ciência.

Segundo Kuhn, a ciência deve ser direcionada por um determinado método de desenvolvimento que parte de uma ordem de períodos de *ciência normal*, nos quais um grupo de pesquisadores ou interessado adotam um paradigma, que podem ser interrompidos por revoluções científicas (ciência extraordinária). Os episódios extraordinários são marcados por anomalias/crises no paradigma dominante, culminando com sua ruptura.

2.1 A História da Ciência como ferramenta de melhoria do ensino

Os Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (PCNEM) deixam explícitos a importância de se contextualizar o ensino da química, como pode ser evidenciado no texto abaixo:

> Na interpretação do mundo através das ferramentas da Química, é essencial que se explicite seu caráter dinâmico. Assim, o conhecimento químico não deve ser entendido como um conjunto de conhecimentos isolados, prontos e acabados, mas sim uma construção da mente humana, em contínua mudança. A História da Química, como parte do conhecimento socialmente produzido, deve permear todo o ensino de Química, possibilitando ao aluno a compreensão do processo de elaboração desse conhecimento, com seus avanços, erros e conflitos (BRASIL, 2000, p.31-32).

Vemos que a História da Química tem sido enfatizada como ferramenta que irá ajudar o aluno a ter um entendimento de como todo o conhecimento foi construído e como tudo avançou, enfatizando os erros e revisões de erros bem como todos os acertos. A História

Química deve fazer parte do ensino da Química, de forma presente, saliente, fazendo contornos que possam trazer solidez a construção do conhecimento.

A discussão que trata do uso da HC como ferramenta de melhoria no ensino das ciências já vem de muito tempo e é debatido por muitos autores, dentre eles Michael R. Matthews, que sempre tem salientado a grande relevância destes estudos. Segundo Matthews (1995), a História da Ciência pode ajudar a responder diversas questões acerca de problemáticas na educação que promovem a evasão de alunos e professores e assustadores índices de analfabetismo em ciências (cf. Matthews, 1988).

Callegario (2015) considera a História da Ciência como uma alternativa de relevante destaque na busca por uma humanização em sala de aula e como artifício para seduzir e encantar os alunos, tornando as aulas mais interessantes. Isso está em harmonia com o que Matthews (1988) postulou,

> Podem humanizar as ciências e aproximá-las dos interesses pessoais, éticos, culturais e políticos da comunidade; podem tornar as aulas de ciências mais desafiadoras e reflexivas, permitindo, deste modo, o desenvolvimento do pensamento crítico; podem contribuir para um entendimento mais integral de matéria científica, isto é, podem contribuir para a superação do mar de falta de significação que se diz ter inundado as salas de aula de ciências, onde fórmulas e equações são recitadas sem que muitos cheguem a saber o que significam; podem melhorar a formação do professor auxiliando o desenvolvimento de uma epistemologia da ciência mais rica e mais autêntica, ou seja, de uma maior compreensão da estrutura das ciências bem como do espaço que ocupam no sistema intelectual das coisas (CALLEGARIO, 2015)

Sobretudo, o ensino da Química (como o das outras ciências), sempre deve estar centrado na inter-relação de dois componentes básicos: o conhecimento químico e o contexto social (SCHNETZLER, 1997); isso reforça a relevância da História da Ciência em sala de aula. Não obstante, para Vidal & Porto (2014), deve ser feita uma seleção que possa definir qual o tipo de História da Ciência se adequa a cada circunstância e, após esta definição, o modo de abordagem com os alunos, exigindo do educador em ciência uma formação ou aprofundamento que o permita ter um entendimento da atual historiografia da ciência, pois, sem esta formação, pode-se incorrer no erro de ratificar visões distorcidas do empreendimento científico. Isso nos leva a enxergar um problema gritante em relação aos conhecimentos de História da Ciência de muitos educadores espalhados pelo país que é a falta de uma disciplina exclusiva de História da Ciência, que, até então, está restrita à Pós-Graduação.

Assim sendo, o professor graduado que ministra aula na educação básica ou em outros níveis, até, consegue ver a importância da história no ensino da química, mas não consegue fazer uma transposição didática. Chevallard (1991) refere-se a esse conceito como uma

adaptação do conhecimento, do saber científico, para transformá-lo em “conhecimento para ser ensinado”. Então, o professor supracitado, dificilmente, consegue ir além nas análises, pois, por não ter um conhecimento historiográfico, vive limitado a informações contidas em boxes de história presentes em livros didáticos que trazem informações restritas à biografia de cientistas.

Em linhas gerais, o uso da história das ciências em sala de aula tem sido, a cada dia, defendido por autores que sempre procuram apresentar as vantagens da sua utilização (MARTINS, 1990). Não obstante, a questão não é tão simples assim, existem diversas dificuldades que atrapalham esse processo e podem gerar inconsistências e entornar a história, causando inadequações. Estas dificuldades podem ser superadas se as conhecermos e buscarmos não as cometer (MARTINS, 2005).

O problema que deve ser, veementemente, evitado é fazer uma História da Ciência meramente descritiva, quando um texto apresenta esta característica, relata datas (nascimento, morte), onde estudou, a idade que se formou, toda a trajetória de sucesso ou não, enfim, traz informações que, muitas vezes, são irrelevantes para o estudo em questão. Uma outra consequência deste problema, segundo Martins (2005), é que se corre um grande risco de criar um gênio ou um imbecil, muitas vezes, distorce a história e os fatos e, ainda, distancia o leitor, aluno, professor, do cientista em análise, como se tudo isso fosse algo inalcançável.

Um segundo problema, não menos importante e por muitos debatido é o whig da história ou whiggish, termo utilizado por Herbert Butterfield (1931). A historiografia Whig pode ser entendido como uma visão anacrônica e nada mais é do que analisar o passado com os olhos do presente, busca estudar o passado, levando-se em conta todas as ideias que já são aceitas, isso resulta num descaso com todos os aspectos da época, as questões socioculturais que permeavam a vida do cientista em questão.

É comum se criticar um cientista, hoje, por uma falha observada, posteriormente, ou algo que estava equivocado naquela época, sem levar em consideração que, mesmo estando equivocada, esta ideia serviu de base para outros conhecimentos e foi tida como verdade por um determinado tempo e que o contraponto à ideia se deu, a partir desta ter sido testada e/ou contestada. Portanto, ao se voltar ao passado, deve-se ir deixando, no presente, todos os conhecimentos e tentar incorporar toda a vida do cientista, os métodos, os materiais que se tinha à disposição, buscando assim, avaliar os erros e acertos que outrora tenham ocorrido. É necessário tentar encontrar a identidade dos cientistas em sua respectiva época. É aqui, neste ponto, que podemos corroborar com Matthews (1995), quando ele afirma que a história da ciência é capaz de humanizar, pois, desta forma, nós entendemos que está sendo feito um exercício de alteridade.

Seguindo este problema, ainda, é de extrema importância buscar uma neutralidade, evitando impor uma ideologia na História da Ciência (de forma nacionalista, política ou religiosa) (MARTINS, 2005). Ao fazer uso de uma ideologia, incorre-se no erro de fazer uma indução, levando isso para um lado mais propício da ideologia que não seja de fato a realidade, conforme explana Krag (1989). Por fim, deve-se, irrevogavelmente, evitar o chamado "apudismo", que nada mais é do que citar uma informação baseada em outro autor que não seja o verdadeiro, confiando que este tenha lido e estudado, o que é bastante arriscado, levando o trabalho a ser bem tendencioso, afinal, é comum se utilizar daquilo que corrobora com a ideia de quem está analisando e os pontos conflitantes serem deixados de lado. Tendo isto sido colocado em questão, aconselha-se não se aviltar destes erros, dando, assim, mais credibilidade ao trabalho e aproximando alunos e professores da veracidade dos fatos da história em questão.

2.2 A história da ciência e o livro didático

O livro didático é uma ferramenta muito importante no ensino de ciências, além de ser uma fonte de informações, considerada segura, ele ainda serve como base de referencial teórico para muitos professores que não realizam um trabalho sem ele. Em nosso país, temos um número significativo de alunos que fazem uso desta ferramenta como sendo o único meio de consulta e, provavelmente, será a única leitura feita no intercurso da sua vida (FRACALANZA; AMARAL; GOUVEIA, 1987, p. 28.). Echeverria, Mello e Gauche (2008, p. 75) ressaltam a importância do LD, apresentando um problema comum e endêmico à maioria dos professores a falta de preparo para analisar e avaliar o LD-, ou pelo fato de terem caído na área de ensino de "paraquedas" ou, muitas vezes, por não terem tido uma formação que o qualificasse para tal finalidade. Ou seja, escolhem um livro, simplesmente, pela necessidade de ter um material didático.

Isso nos faz enxergar o quanto este recurso é importante, o quanto ele é indispensável e como pode ser bastante útil, na inserção da história da ciência, no ensino básico. Segundo Vidal & Porto (2012), o livro didático apresenta elementos isolados, informações que colocam cientistas, filósofos e estudiosos como pessoas de QI elevado e os isolam do resto do mundo, contando a história de cada um de forma isolada. Apresenta, ainda, apenas informações, tais como nome completo, data de nascimento e falecimento, o que de fato não ajuda em nada a caracterizar o ser humano por trás do cientista.

Ainda deixam evidente, com os cientistas citados, que a ciência é algo predominantemente masculino, ideia equivocada. Nos pequenos textos apresentados, eles fazem uma menção à ideia científica, mas nunca deixam claro como aquela ideia surgiu e se desenvolveu, gerando o fato científico. As ideias são descritas de forma linear e direta, apenas como se o conhecimento tivesse evoluído, tivesse sido polido, sem ter havido nenhum tipo de contestação, o que é por muitos criticado (Bizzo, 1992). Ademais, esquecem de demonstrar o contexto histórico, no qual o cientista estava inserido, se era uma época de guerra, de conflitos regionais ou mundiais, quais as condições de vida, dentre outros fatores. E determinados livros didáticos de Química não apresentam, exatamente, nenhuma referência histórica do que se está estudando.

É sob estas observações que afirmamos que, se o professor deseja fazer uma abordagem acerca da história da ciência, ele deve buscar outras fontes de investigação, que servirão como material complementar ao LD, ajudando, dessa forma, o aluno a despertar um senso crítico, mesmo que saibamos que essa capacidade é adquirida em um curso de pós-graduação, ou seja, deve-se buscar uma formação na área.

3 PERCURSO METODOLÓGICO

3.1 Natureza da pesquisa

Nossa pesquisa é *historiográfica*, de caráter *descritivo* e realizada aos moldes de uma *pesquisa qualitativa*. Podemos considerar, ao menos, cinco de suas características principais: estuda o significado da vida das pessoas, nas condições da vida real; representa as opiniões e perspectivas das pessoas de um estudo; abrange as condições contextuais em que as pessoas vivem; contribui com revelações sobre conceitos existentes ou emergentes que podem ajudar a explicar o comportamento social humano; e esforça-se por usar múltiplas fontes de evidência em vez de se basear em uma única fonte (YIN, 2016, p.7).

Além disso, a *investigação qualitativa é descritiva.* Os dados recolhidos são em forma de palavras ou imagens e não de números. Os resultados escritos da investigação contêm citações feitas, com base nos dados para ilustrar e substanciar a apresentação. Os dados incluem transcrições de entrevistas, notas de campo, fotografias, vídeos, documentos pessoais, memorandos e outros registos oficiais. Em outras palavras, na sua busca de conhecimento, os investigadores qualitativos não reduzem as muitas páginas contendo narrativas e outros dados a símbolos numéricos. Tentam analisar os dados em toda a sua riqueza, respeitando, tanto quanto o possível, a forma como estes foram registados ou transcritos (BOGDAN; BIKLEN, 1994, p. 48).

Em resumo, ela é utilizada em casos como o nosso, em que se procura descrever, compreender de forma mais aprofundada ou explicar relações entre determinados fenômenos ou aspectos que não podem ser explorados através de um levantamento numérico ou um tratamento estatístico de dados, por exemplo (GIL, 2008, p. 51). Dentro dessa abordagem, utilizou-se a pesquisa *historiográfica* e *bibliográfica*, a fim de buscar, na literatura, uma resposta para nossos questionamentos.

Através da pesquisa bibliográfica, o pesquisador explora, na literatura específica, estudos já realizados que se relacionem ao trabalho a ser desenvolvido ou que forneçam subsídios necessários para um maior domínio e compreensão do tema em questão. Este estágio envolve a consulta a livros, artigos científicos de revistas, reimpressões de artigos antigos, enciclopédias, entre outros.

A pesquisa historiográfica, por sua vez, requer alguns cuidados. A historiografia em si, é, segundo o professor Roberto Martins, a produção dos historiadores, o produto primário de sua atividade. Ela é constituída, essencialmente, por textos escritos e reflete sobre os acontecimentos históricos, agrega-lhe um caráter discursivo novo. Além disso, ela procura

desvendar aspectos da história, embora não seja uma mera descrição da realidade histórica (MARTINS, 2005).

Além disso, mesmo a historiografia sendo também "[...] uma atividade humana, dinâmica, que muda ao longo dos tempos, sofre modismos, incorpora diferentes valores e regionalismos", devemos nos atentar para alguns princípios básicos, como por exemplo, o respeito pelo contexto histórico (FORATO; PIETROCOLA; MARTINS, 2011).

Interpretar o passado anacronicamente, isto é, com valores, ideias e crenças de outra época, ou mediante normas e padrões atuais, por exemplo, é um dos equívocos para o qual o historiador deve se atentar, uma vez que uma leitura anacrônica de determinado material pode resultar, por exemplo, numa descrição tendenciosa, em que o pesquisador pode terminar por selecionar e descrever apenas os fatos que corroborem seu ponto de vista e ocultar outros que entrem em conflito. Neste caso, ele não estará apresentando as ideias daquele estudioso de forma fiel, uma vez que omitiu aspectos importantes do enredo, o que pode tornar sua narrativa parcial e tendenciosa (MARTINS, 2005).

Neste sentido, foram analisados sete livros didáticos de química aprovados pelo PNLD 2015 -2018, direcionados ao estudante do ensino médio, conforme mostra o quadro 1, presente na seção seguinte:

3.2 Material didático analisado

Foram selecionados 7 exemplares dos 21 livros pertencentes às seis coleções de Livros Didáticos escolhidas pelo Programa Nacional do Livro Didático – PNLD 2018 (BRASIL,2015), os quais foram escolhidos, por apresentar o conteúdo de radioatividade. No quadro seguinte, as coleções serão denominadas pela identificação LDQ1, LDQ2 [...], que significa "Livro Didático de Química" e a numeração é equivalente à sequência das coleções.

Quadro 1 – Livros selecionados para análise

CÓDIGO DE IDENTIFICAÇÃO	REFERÊNCIAS
LDQ1	FONSECA, Martha Reis Marques da, Química: Ensino Médio / Marta Reis – 2.Ed. – São Paulo: Ática, 2016
LDQ2	FONSECA, Martha Reis Marques da, Química: Ensino Médio / Marta Reis – 2.Ed. – São Paulo: Ática, 2016

LDQ3	MORTIMER, Eduardo Fleury; Andréa Horta MACHADO, Química do Ensino Médio – 3 ed. – São Paulo: Scipione, 2016.
LDQ4	NOVAIS, Vera Lúcia Duarte de; Murilo Tissoni Antunes – Vivá: Química: Ensino Médio – Curitiba: Positivo, 2016.
LDQ5	Aline Thaís Bruni; Ana Luiza Petillo Nery; André Amaral Goncalves; Julio Cezar Foschini Lisboa; Kátia Santina; Lia Monguilhott Bezerra; Paulo A. G. Bianco; Rodrigo Marchiori Liegel; Simone Garcia de Ávila; Simone Jaconetti Ydi; Vera Lúcia Mitiko Aoki – Ser Protagonista – 3 ed. – São Paulo – Edições SM, 2016.
LDQ6	Química – Ciscato, Pereira, Chemello e Proti – 1. Ed. – São Paulo: Moderna, 2016. Volume 3

Fonte: Próprio autor, 2019

3.3 Um referencial prático para a análise dos livros didáticos

O mecanismo de verificação sugerido por Leite (2002) e utilizado por Vidal & Porto (2012) tem um caráter qualitativo acerca dos conteúdos históricos em livros didáticos de ciências como um todo. Em linhas gerais, a ferramenta de análise proposta por Leite (2002), estruturalmente, está organizada na forma de tabelas, que arranjam diversas categorias de análise. As tabelas desta ferramenta constituem, na expressão utilizada pela autora, “dimensões” de análise. Essas grandes dimensões são, conforme Vidal & Porto, 2012:

- Tipo e organização da informação histórica;
- Materiais utilizados para apresentar a informação histórica;
- Contextos aos quais a informação histórica é relacionada;
- Estatuto do conteúdo histórico;
- Atividades de aprendizagem que abrangem a história da ciência; consistência interna do livro (no que se refere à informação histórica);
- Bibliografia em história da ciência e
- Exatidão e precisão da informação histórica.

Segundo detalham os autores citados, nas três primeiras dimensões, a ênfase maior é dada à informação inserida no texto: Como ela aparece? Quais são os aspectos abordados? A primeira dimensão de análise “Tipo e organização da informação histórica”, se divide em

subdimensões: a primeira diz respeito à dimensão humana dos personagens que fazem a ciência (“Personagens”) e a segunda se refere ao processo de transformação da ciência ao longo do tempo (“Evolução da ciência”). Cada uma delas, por sua vez, se divide em categorias. Conforme esclarece Leite (2002), essas categorias foram propostas a partir de fontes em história da ciência, estudo de concepções a respeito da história da ciência e de estudos anteriores sobre como a história da ciência costuma aparecer em livros didáticos.

No que diz respeito à “Evolução da ciência”, tenta-se caracterizar como é descrito o processo de transformação das ideias científicas (“Tipo de evolução”) e, também, a quem se atribui a responsabilidade por protagonizar esse processo (“Responsável”). Assim, na subdivisão “Tipo de evolução”, aparecem cinco categorias. Na primeira, “Menção”, a abordagem é superficial, não havendo discussão da descoberta ou ideia científica. Na segunda, caracteriza-se que o livro se limita a uma “Descrição” da descoberta ou ideia, sem relacioná-la a outras ideias em uma perspectiva de transformação histórica. Quando ideias, que se sucederam historicamente, são mencionadas ou descritas em um mesmo trecho, mas nenhuma relação entre elas é explicitada, caracteriza-se a categoria “Períodos discretos”. Se a sucessão de ideias sugere apenas que uma levou a outra, tem-se a “Evolução linear”. Finalmente, se a transformação das ideias for associada a debates, contradições e controvérsias, considera-se como uma ocorrência de “Evolução real”.

Na subdivisão “Responsável”, as mudanças nas ideias científicas são categorizadas conforme são atribuídas a indivíduos isoladamente, a dois ou mais cientistas trabalhando em conjunto e citados nominalmente ou ainda a uma comunidade científica (neste caso, quando o texto não indica nomes, mas apenas atribuições genéricas como “os cientistas descobriram”, “os químicos sabiam”, etc.).

Na segunda dimensão de análise, temos os materiais utilizados no livro para apresentar o conteúdo de história da ciência. As categorias consideradas foram: imagens de cientistas; imagens de equipamentos, máquinas, etc.; textos originais (fontes primárias); textos escritos pelo próprio autor do livro didático; fontes secundárias produzidas por outros autores; experimentos históricos; outros.

A terceira dimensão se refere à contextualização das ocorrências em história da ciência, isto é, se o conteúdo histórico estava inserido em algum dos seguintes contextos: científico; tecnológico; social; político e (ou) religioso. Essa dimensão do instrumento original mereceu um novo ângulo de observação: o instrumento proposto por Leite (2002) sugere a contagem dos contextos a que o autor se refere nas ocorrências históricas. Porém, se um mesmo episódio estiver relacionado a mais de um contexto, isso poderá dar a impressão de que há mais

ocorrências contextualizadas do que, de fato, há. Assim, procedemos também à contagem do número total de ocorrências que foram apresentadas de maneira contextualizada, de modo a ter mais uma informação relevante a esse respeito.

A quarta dimensão de análise diz respeito ao estatuto da informação histórica contida no texto. Assim, se procurou observar se as referências à história da ciência integravam o corpo principal do texto ou se ocorriam em seções ou atividades consideradas complementares – sendo, assim, categorizadas como fundamentais ou complementares.

A quinta dimensão avalia atividades de aprendizagem (exercícios, por exemplo) que incluem alguma referência à história da ciência. A simples leitura de um texto de caráter histórico não foi considerada aqui como uma atividade: é preciso que algum outro tipo de engajamento do aluno estivesse envolvido, para que a ocorrência fosse computada nesta dimensão – a qual se divide em duas subdimensões.

No que se refere ao "Estatuto da Atividade", estas foram classificadas em compulsórias ou livres. Quanto ao "Tipo de Atividade", as categorias são: guia de leitura; pesquisa bibliográfica; análise de informação histórica; experimentos históricos; outras atividades.

A sexta dimensão, intitulada "Consistência interna do livro", refere-se à maneira como as ocorrências em história da ciência se encontram distribuídas: se concentradas em apenas um ou poucos capítulos, se na maioria dos capítulos, ou se presentes ao longo de todo o texto.

Na sétima dimensão, referente à bibliografia, foram categorizados os diferentes tipos de livros indicados como referências, considerados como: livros de história da ciência; livros de ciência que abordam a história da ciência; ou livros de áreas afins (por exemplo: história geral, filosofia ou sociologia da ciência e divulgação da ciência).

Além disso, para complementar essa análise qualitativa, procuramos analisar as ocorrências classificadas nas categorias "Descrição", "Períodos discretos", "Evolução linear" e "Evolução real", utilizando outros critérios, não presentes no instrumento proposto por Leite (2002). A classificação de acordo com essas categorias complementares foi limitada apenas a essas ocorrências, pelo fato de que representam ocorrências mais elaboradas do que a simples "Menção" a uma ideia ou descoberta científica.

Em uma das categorias complementares, intitulada "Teoria x prática", se procurou analisar se o autor do livro relaciona o episódio científico com algum aspecto prático (seja como origem, ou como consequência da ideia ou descoberta), ou se apresenta o evento científico, apenas, sob o ponto de vista das teorias científicas por si mesmas. Nas outras categorias, se procurou identificar quais períodos históricos são predominantes nas ocorrências observadas,

bem como a localização geográfica dos eventos (local de nascimento de cientistas, localização de laboratórios, etc.) citados nos livros.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A seguir faz-se a explanação dos resultados das análises dos livros didáticos (LDQ1, LDQ2, LDQ3, LDQ4, LDQ5, LDQ6). Os resultados estão divididos em 8 dimensões.

4.1 Vida dos personagens

Como se pôde observar em todos os livros didáticos, nos capítulos em que o conteúdo de radioatividade é abordado, sempre se busca fazer um traçado histórico.

Acerca da vida dos personagens temos:

Quadro 2 – Traçado histórico presente nas coleções de LD

	LDQ1	**LDQ2**	**LDQ3**	**LDQ4**	**LDQ5**	**LDQ6**
Dados Biográficos	5	4	12	8	20	10
Características Pessoais	-	-	-	-	-	-
Episódio/ Curiosidades	-	-	-	-	-	-

Fonte: Próprio autor/2019

O LDQ1 chama bastante a atenção, por apresentar traços bem definidos da história da ciência, embora seja um livro didático para o ensino médio, ele apresenta informações que são extremamente coerentes, não ficando limitado, exclusivamente, às datas de nascimento e falecimento, muito embora, é como deveriam ser todos os livros didáticos. Ele cita uma publicação de um renomado historiador da ciência,[7] Roberto de Andrade Martins, por meio de uma narrativa mais concisa de fatos significativos atrelados à história da radioatividade, ou seja, observamos uma história que não está sendo meramente descritiva, os eventos estão concatenados prendendo a atenção do leitor que fica na ânsia de saber a culminância dos episódios. Além disso, o LDQ1 encerra o parágrafo, afirmando que Becquerel não conseguiu "enxergar" a Radioatividade, como fenômeno novo e que fizera uma associação aos

[7] O artigo citado, "Como Becquerel não descobriu a radioatividade", publicado no Caderno Catarinense de Ensino de Física. Florianópolis: Ed. Da UFSC, n. 7. 27-45, jun. 1990.

conhecimentos outrora já descobertos (fosforescência e fluorescência), ao invés de buscar, através de outros experimentos, mostrar do que se tratava. Isso é uma surpresa interessante, pois é comum observar uma indefinição quanto à descoberta deste fenômeno ou, até mesmo, atribuí-la a Becquerel, como, ainda, ocorre no LDQ3 e no LDQ5.

O LDQ3 cita:

> Ao repetir as experiências anteriores, Becquerel deparou com um problema que lhe revelaria algo ainda mais interessante. Como o Sol não apareceu em Paris por alguns dias, ele colocou as amostras de urânio sobre as chapas fotográficas envoltas em papel opaco à luz, dentro de uma gaveta escura. Quando revelou as chapas fotográficas, no lugar de imagens muito deficientes, como esperava, encontrou silhuetas muito nítidas do sal de urânio (fig. 6.14). Imediatamente, deu-se conta de que havia descoberto algo muito importante: o sal de urânio emitia raios capazes de penetrar no papel negro, tivesse ou não sido exposto previamente à luz do sol. Estava descoberta a Radioatividade. Ao contrário dos raios X, os "raios de Becquerel" não causaram grande furor na época. A ideia de Becquerel sobre a natureza desses raios era a de que eles estavam associados à fluorescência emitida pelas substâncias. (LDQ3, p.144)

Já o LDQ5 inicia o tópico "A descoberta da radioatividade e suas leis":

> A radioatividade natural foi percebida pela primeira vez em 1896, por Antoine-Henri Becquerel (1852-1908), quando estudava o comportamento de alguns cristais fosforescentes depositados sobre uma chapa fotográfica, após serem irradiados por luz solar. (LDQ5, p.247)

No parágrafo seguinte, ele afirma, ainda, que "o termo radioatividade foi criado por Marie Curie, cientista que dividiu com o marido, Pierre Curie (1859-1906) e Becquerel, o prêmio Nobel de Física pelas pesquisas sobre a radioatividade espontânea". (LDQ5, p. 247)

O termo Radioatividade foi, deveras, criado por Marie Curie, mas este fato só se deu, após ela ter feito pesquisas e descobrir alguns elementos (Polônio e Rádio), junto com seu marido Pierre Curie, e atribuir o fenômeno à natureza dos elementos, como sendo uma propriedade do átomo.

No LDQ5, tem descrição da vida de Glenn T. Seaborg, mostrando que esse cursou Química no 2º ano do ensino médio e foi, imediatamente, atraído por uma carreira em ciências exatas. Além disso, salienta que, após dar aulas em Berkeley por alguns anos, Seaborg se afastou para chefiar a seção que trabalhava com os elementos transurânicos, dentro do Projeto Manhattan (responsável pelo desenvolvimento da bomba atômica durante a 2ª Guerra Mundial). Esse trecho, ainda, dá conta de seu envolvimento na descoberta de mais 5 elementos transurânicos e de sua homenagem, em vida, com o nome de um elemento, o Seabórgio.

É importante salientar que o LDQ1 e o LDQ2 pertencem a mesma coleção e apresentam o assunto de radioatividade segregado. No LDQ1 ele narra a história da radioatividade, para introduzir o assunto que é de modelos atômicos, enquanto que o LDQ2 adentra, efetivamente, no conteúdo da radioatividade, explicando como o fenômeno ocorre no núcleo. O LDQ5 é o que apresenta o maior número de citações de datas de nascimento e morte, são vinte citações, o que se dá, devido ao adentramento no conteúdo por meio de uma explanação completa.

Quanto a episódios e/ou curiosidades relativos à vida dos personagens, o LDQ1 relata:

> De acordo com os dados históricos, Röentgen ficou sete semanas fechado em seu laboratório refazendo os experimentos com raios X até ter certeza de que havia descoberto um novo fenômeno. Só então comunicou sua descoberta ao meio científico. (p. 143)

A vida do casal Curie é sempre a mais revirada quanto às descrições; em outro trecho, relata, ainda, todo o martírio sofrido, para que eles pudessem conseguir apoio da comunidade científica, afinal, toda as suas informações iriam causar uma destruição de um conjunto de ideias, até então, aceitas, mesmo assim, conseguiram isolar 1 decigrama de rádio puro e determinar sua massa atômica de 226 e algumas de suas propriedades.

O LDQ4 apresenta algo extremamente curioso que é um termo inglês sem tradução equivalente em português – *serendipity* – que designa uma capacidade de um pesquisador aproveitar uma observação casual e, a partir dela, realizar pesquisas que possam levá-lo a novas descobertas científicas. Dentre todos os LD, apenas o LDQ4 apresenta este termo, *serendipity*. Acreditamos que este termo e o seu significado pode ser um primoroso mecanismo de auxílio, para ajudar o aluno a buscar a compreensão de como as descobertas científicas podem ser acessíveis e como estas podem surgir de forma espontânea, partindo do princípio básico do desenvolvimento científico que é a observação. Incutir este conceito no aluno pode ser um fator que ajude a quebrar uma barreira que exista entre as pessoas normais e os cientistas, que, muitas vezes, são endeusados e tidos como gênios, ou seja, deixando-nos todos em um mesmo patamar. A dimensão a seguir irá buscar fazer uma análise acerca das características dos personagens.

4.2 Características dos personagens

Após a análise dos livros didáticos, percebe-se que esses pouco se preocupam em apresentar informações que possam ser relevantes, de modo a caracterizar os cientistas como pessoas comuns, praticamente, não se observa nada que tange a esta questão. Os LDQ1 e LDQ2,

reforçam a genialidade de alguns dos cientistas, agregando valor ao esforço que parece ter sido exacerbado, a saber:

> De acordo com os dados históricos, **Röentgen ficou sete semanas fechado em seu laboratório refazendo os experimentos** com raios X até ter certeza de que havia descoberto um novo fenômeno. Só então comunicou sua descoberta ao meio científico (p. 143) (**grifos nossos**).

É notória a ênfase que se tem sobre o fato de Röentgen ter ficado sete semanas fechado experimentando com os raios X, para poder se certificar do fenômeno que, logo a seguir, seria descrito pelo casal Curie. Ainda afirma que o casal Curie teve um importante apoio do Governo austríaco, ao ganhar uma tonelada de pechblenda, proveniente das minas de Joachimstal, localizadas na República Tcheca.

> Passaram **três meses envolvidos num trabalho árduo**, **quebrando** o minério, **fervendo** os pedaços, **filtrando** os resíduos, **lutando** contra os gases asfixiantes que eram liberados em cada etapa, até que em julho desse mesmo ano anunciaram que havia conseguido isolar da pechblenda um metal que, na tabela periódica, seria vizinho do bismuto (Polônio) em homenagem ao País de nascimento de Marie, a Polônia (p.144) (**grifos nossos**).

Sem dúvidas, estes trechos destacados fazem com que tudo pareça ter sido muito mais difícil do que realmente possa ter sido, mas deve-se claro e, tão somente, considerar que todo o empenho pode ter passado desapercebido pelo fato de estarem imbuídos de um sentimento de conquista pelo que poderia resultar, ao testarem a natureza dos raios de Becquerel, como de fato aconteceu. O LDQ3 apresenta uma citação escrita por Marie:

> "Nós estávamos, nesta época, inteiramente absorvidos pelo novo domínio que tínhamos pela frente, graças a uma descoberta um tanto inesperada. Nos sentíamos muito felizes, **apesar de nossas condições de trabalho**. Nosso dia se esvaía no laboratório, e muitas vezes acontecia de almoçarmos ali mesmo. No nosso **hangar tão pobre reinava uma grande tranquilidade** [...] Nós vivíamos com uma preocupação única, **como num sonho**" (CURIE, 192, p. 145 **grifos nossos**).

Entendemos, neste trecho, que, mesmo sob condições adversas, é possível buscar motivação para alcançarmos um objetivo, ou seja, entendemos que esta premissa pode ser utilizada como estratégia para tentar fazer o aluno pensar, raciocinar como um cientista, inserindo-o num meio de pesquisa, para que este venha aguçar a criatividade e desenvolver um senso crítico, considerando todo o aparato em derredor.

Ademais os LDQ4, LDQ5 e LDQ6 trazem ciência de que Marie criou o termo Radioatividade e que eles, Marie Curie, Pierre Curie e Henry Becquerel, dividiram um prêmio Nobel de Física, em 1903, pelas pesquisas com a radioatividade espontânea e que, em 1911, Marie Curie ganhou outro prêmio Nobel de Química pela descoberta dos elementos Rádio e

Polônio. O LDQ6 faz questão de frisar um tema bastante importante e de relevância primordial que é o fato de Marie ter sido a primeira mulher a receber um prêmio Nobel, além de ter sido a primeira pessoa a receber dois prêmios Nobel em áreas distintas.

4.3 Abordagem das ideias / descobertas

Quadro 3 – Abordagem das ideias científicas nos livros didático de Química

Abordagem das ideias / descobertas	LDQ1	LDQ2	LDQ3	LDQ4	LDQ5	LDQ6
Menção a uma ideia científica	3	2	1	3	2	2
Descrição de uma ideia científica	5	0	2	-	-	-

Fonte: Próprio autor/2019

Conforme descrito por Vidal (2007), a menção a uma ideia científica é feita, quando esta é apenas citada sem maiores explicações. É possível encontrar menções a ideias científicas em todos os LDQs. Ao contrário da menção científica que apenas cita o fenômeno descoberto, a descrição da ideia científica passa a dar mais sentido, pois relata o evento científico originado em todos os seus detalhes mais relevantes, inserindo-o em um contexto social, científico, tecnológico ou religioso, mostrando como foi desenvolvida a teoria e como tudo chegou a ser, de fato, o que é ou como é. A descrição da ideia só é encontrada em 2 dos seis LDQs.

No LDQ1, observamos uma descrição científica da seguinte maneira:

> O que desencadeou a descoberta da radioatividade foi outra descoberta, a dos raios X, feita em 1895 por Wilhelm Kornrad Röentgen (1845-1923) durante experimentos com a ampola de Crookes.
> A história registra que Röentgen estava em seu laboratório à noite, com as luzes apagadas, e sua ampola de Crookes estava coberta com papel-cartão preto. A certa distância da ampola havia, por acaso, uma tela feita de papel tratado com uma substância fluorescente, o platinocianeto de bário, $Ba_2[Pt(CN)_6]$. Ao ligar a ampola, ele observou que a tela revestida de platinocianeto de bário começou a brilhar, emitindo luz.
> Surpreso com o fenômeno, Röentgen fez vários testes: virou a tela, expondo o lado sem o revestimento da substância fluorescente, mas a tela continuava a brilhar. Então colocou objetos entre a ampola e a tela, observando que todos pareciam transparentes. Porém, ao colocar sua mão entre a tela e a ampola, teve uma grande surpresa: os ossos de sua mão apareciam transparentes. Mas assim que a ampola de Crookes era desligada, o brilho emitido pelo platinocianeto de bário cessava.
> Röentgen concluiu que alguns raios penetrantes originados do choque entre os raios catódicos e as paredes de vidro da ampola cruzaram o ar e atingiram o platinocianeto de bário, tornando-o fluorescente.
> Inicialmente chamou-os de raios Röentgen e mais tarde de raios X. (p. 143)

No início o LDQ1 faz a menção a um evento científico que é a descoberta da Radioatividade, afirmando que o seu êxito só foi possível por conta do conhecimento sobre os Raios X e, logo em seguida, faz toda uma descrição, para mostrar como se deu a descoberta dos Raios X. Frente a esta apresentação, é de grande valia que o professor faça e desperte, no aluno, uma reflexão sobre toda a descrição e todas as circunstâncias envolvidas nestas descobertas. No LDQ2, que pertence a mesma coleção do LDQ1, observamos uma menção a uma ideia científica que denota a descoberta de partículas, mas que não enriquece e nem aguça o senso crítico, para tentar avaliar as condições por trás de todos os eventos, ou seja, a informação pronta e acabada sem condições de questionamentos. A seguir:

> Em 1900, independentemente, o físico neozelandês Ernest Rutherford (1871-1937) e o químico francês Pierre Curie (1859-1906) identificaram experimentalmente as partículas alfa(α) e beta(β) emitidas por um núcleo atômico instável. Nesse mesmo ano o físico francês Paul Ulrich Villard (1860-1934) identificou uma espécie de radiação eletromagnética, emitida por elementos radioativos, a qual denominou de radiação gama(γ). (p. 262)

Seguindo a análise, nos LDQ4, LDQ5 e LDQ6, encontramos apenas menções científicas, nas quantidades 3, 2 e 2 respectivamente. No LDQ4 ele faz menções a vários personagens envolvidos na descoberta da radioatividade, nas quais é dito o que fez e a que conclusão se chegou e, ainda, reforça a ideia de genialidade, ao dar ênfase aos prêmios nobéis, conquistados pelos personagens.

Após estas análises e observando a diferença entre a menção e a descrição científica, somos levados a despertar uma inquietude pela ausência das descrições. As descrições podem ser ricas em detalhes que podemos utilizar, para relacionar com a vida do personagem e a vida dos alunos, bem como com a nossa vida e, com isso, buscar, sempre, fazer ponderações, para incentivar o aluno a desenvolver um espírito crítico e investigativo.

4.4 Evolução da Ciência

Vidal (2007), seguindo Laurinda Leite (2002), considera que um período discreto não faz um concatenamento explícito entre duas ou mais ideias cientificas ocorridas em períodos distintos. E, nessa análise, entendemos que o período discreto é, apenas, uma citação de um momento, para reforçar uma ideia científica ou dar um caráter histórico a um determinado conteúdo, no caso a radioatividade. Já a evolução linear e direta, apresenta diversos eventos científicos, sendo abordados de forma sequencial cronológica, dando a conotação de um evento

que teve uma dependência do anterior. Enquanto que a evolução real tem por objetivo contar a história com todas as suas facetas, fazendo interrupções, retomadas de ideias, expondo controvérsias, dificuldades enfrentadas num movimento que Vidal (2007) chama de "idas e voltas".

O LDQ1 não apresenta uma menção à evolução real da história da ciência e não cita períodos discretos, ele faz uma menção a desenvolvimento linear e direto:

> Röentgen concluiu que alguns raios penetrantes originados do choque entre os raios catódicos e as paredes de vidro da ampola cruzaram o ar e atingiram o platinocianeto de bário, tornando-o fluorescente.
> Inicialmente chamou-os de raios Röentgen e mais tarde de raios X.
> Interessado no fenômeno, o físico francês Jules Henri Poincaré (1854-1912) lançou a hipótese da reciprocidade:
> "Se os raios X podem tornar certas substâncias fluorescentes, então as substâncias fluorescentes devem emitir raios X".
> Antoine Henri Becquerel (1852-1908), colega de Poincaré, tinha interesse pelos fenômenos da fluorescência e resolveu testar essa hipótese.
> Em 1º de março ele retomou os experimentos e revelou as chapas fotográficas na expectativa de encontrar imagens muito tênues do minério. Para sua supresa, silhuetas do minério apareceram na chapa com uma nitidez que ele nunca observado. (LDQ1, p143,144)

Ainda no LDQ1,

> O casal de cientistas Pierre Curie (1859-1906) e Marie Curie (1867-1934), trabalhando juntos nas pesquisas sobre radioatividade, constataram que o fenômeno descrito por Becquerel em que a substância impressionava o filme fotográfico no escuro (sem estar fluorescente) era comum a todos os compostos constituídos pelo elemento urânio e, portanto, que devia ser o urânio o responsável pela emissão desses raios.
> Eles denominaram então a propriedade do urânio de emitir esses raios de radioatividade.
> Observaram também que a pechblenda (óxido de urânio) era bem mais radioativa que o urânio metálico. Concluíram então que o minério continha, além do urânio, outro elemento radioativo. (p. 144)

O LDQ2, pertencente à mesma coleção do LDQ1, faz apenas uma menção a um período discreto, relacionando a emissão de partículas às leis estabelecidas por Ernest Rutherford em 1903, a saber: "A emissão de partículas do núcleo de um átomo instável (o decaimento radioativo) ocorre de acordo com algumas leis básicas, estabelecidas em 1903 por Ernest Rutherford, pelo físico-químico inglês Frederick Soddy (1877-1956) e colaboradores". (LDQ2, p.262)

O LDQ3 segue o mesmo perfil do LDQ1, não menciona períodos discretos nem evolução real, apenas uma evolução linear, seguindo uma cronologia dos fatos.

De todos os materiais didáticos analisados neste trabalho, chamamos a atenção especial para o LDQ4 que menciona um período discreto e faz uma abordagem real do desenvolvimento da radioatividade.

Ele faz uma abordagem introdutória sobre a radioatividade, mas “passeia” pela história, concatenando os fatos: “Várias histórias de descobertas realizadas no final do século XVIII e início do século XIX estão bastante interligadas. Vamos recuar um pouco no tempo para examinar alguns fatos que envolveram essas descobertas” (LDQ4, p.14).

O LDQ5 faz duas menções a períodos discretos, abordando o assunto da Radioatividade, em seguida, ele introduz o conteúdo. Neste livro sentimos uma carência gritante de conteúdo histórico.

Umas das menções é a seguinte:

> O termo radioatividade foi criado por Marie Curie, cientista que dividiu com o marido, Pierre Curie (1859-1906), e Becquerel o prêmio Nobel de Física de 1903 pelas pesquisas sobre radioatividade espontânea. Em 1911, Marie Curie ganhou o prêmio Nobel de Química pela descoberta dos elementos rádio e polônio, pelo isolamento do rádio e o estudo da sua natureza e dos seus compostos, sendo a primeira mulher a receber um prêmio Nobel e a primeira pessoa a receber dois prêmios em áreas científicas distintas. Faleceu em 1934, vítima de leucemia.

Observamos, nesta menção, que é feito o relato do surgimento do termo radioatividade e, em seguida, ressaltasse a conquista dos prêmios Nobel que agraciaram os cientistas, mas valoriza o fato de Marie ser mulher e ter ganho dois prêmios em duas áreas distintas, por fim, menciona que ela faleceu de câncer no sangue, o que pode ser uma indução aos perigos da radioatividade.

Por último, o LDQ6, cita a história da radioatividade de forma linear e direta, porém busca fazer um resgate da história de forma mais completa, citando cientistas que viveram quase um século e meio antes da caracterização da radioatividade. Mostra, também, como o advento da eletricidade foi fundamental para a construção das ideias que posteriormente foram propostas.

4.5 Quem faz a Ciência?

Nos livros didáticos, a ciência pode ser caracterizada por ter sido desenvolvida sozinha, em grupos de cientistas ou envolvendo uma comunidade científica inteira.

Quadro 4 – Informações referentes a quem faz a ciência nos LDQs analisados

Quem faz a ciência	LDQ1	LDQ2	LDQ3	LDQ4	LDQ5	LDQ6
Personagens Individuais	3	4	6	3	5	7
Grupos de Personagens	1	1	1	0	0	3
Comunidade Científica	1	0	1	0	0	0

Fonte: Próprio Autor/2019

No LDQ1, faz-se uma abordagem individual, mostrando a relevância de cada personagem:

> O que desencadeou a descoberta da radioatividade foi outra descoberta, a dos raios X, feita em 1895 por Wilhelm Kornrad Röentgen (1845-1923) durante experimentos com a ampola de Crookes.
> Interessado no fenômeno, o físico francês Jules Henri Poincaré (1854-1912) **lançou** a hipótese da reciprocidade: "Se os raios X podem tornar certas substâncias fluorescentes, então as substâncias fluorescentes devem emitir raios X".
> Antoine Henri Becquerel (1852-1908), colega de Poincaré, tinha interesse pelos fenômenos da fluorescência e **resolve testar** essa hipótese (LDQ1, p.143 ,**grifos nossos**).

Muito embora cada citação seja alusiva a um personagem específico, é notória a importância do trabalho de um para o desenvolvimento do trabalho de outro. Mais adiante, o LDQ1 já cita o casal Curie, que sempre aparecem juntos:

> O casal de cientistas Pierre Curie (1859-1906) e Marie Curie (1867-1934), **trabalhando juntos nas pesquisas sobre radioatividade**, **constataram** que o fenômeno descrito por Becquerel em que a substância impressionava o filme fotográfico no escuro (sem estar fluorescente) era comum a todos os compostos constituídos pelo elemento urânio e, portanto, que devia ser o urânio o responsável pela emissão desses raios.
> **Eles denominaram** então a propriedade do urânio de emitir esses raios de radioatividade (LDQ1, p.144 **grifos nossos**).

Observa-se que todas as referências são feitas no plural, constataram, denominaram, mostrando sempre que eles trabalharam juntos por muito tempo. Não obstante, este livro fecha parte de radioatividade de forma bastante elogiável, mostrando que todo os esforços foram coletivos e não exclusivos de Becquerel: "Assim, a descoberta e a compreensão da radioatividade se deve, na realidade, a esse trabalho coletivo e não especificamente ao trabalho de Becquerel". (p. 144)

Esse fechamento pode ser fundamental, para se levantar, em sala de aula, uma discussão acerca da importância do envolvimento de todos os personagens nas descobertas científicas, mostrando que o trabalho de todos pode ter mais rendimento que um trabalho individual.

O LDQ2, que pertence à mesma coleção que o LDQ1, faz uma alusão discreta a um pequeno grupo de cientistas, contudo, à comunidade científica não é feita menção. Neste LD é mostrado mostra que três cientistas independentes conseguem identificar partículas emitidas por um núcleo estável.

> Em 1900, independentemente, o físico neozelandês Ernest Rutherford (1871-1937) e o químico francês Pierre Curie (1859-1906) **identificaram** experimentalmente as partículas alfa (α) e beta (β) emitidas por um núcleo atômico instável. Nesse mesmo ano o físico francês Paul Ulrich Villard (1860-1934) identificou uma espécie de radiação eletromagnética, emitida por elementos radioativos, a qual denominou radiação gama (γ).
> Frederick Soddy **estudou** na Universidade de Oxford. De 1960 a 1902 trabalhou no laboratório de Química da Universidade McGill, Montreal, com Rutherford. **Realizou** vários trabalhos de investigação experimental, sendo um pioneiro no estudo da radioatividade. Em 1912, elaborou o conceito de isótopo e em 1921 recebeu o Prêmio Nobel de Química.
> A emissão de partículas do núcleo de um átomo instável (o decaimento radioativo), ocorre de acordo com algumas leis básicas, estabelecidas em 1903 por Ernest Rutherford, pelo físico-químico inglês Frederick Soddy (1877-1956) e **colaboradores** (LDQ2, p.264 ,**grifos nossos**).

De forma discreta, é exposta a participação de colaboradores, ou seja, mais uma vez, o trabalho não foi realizado sozinho, contudo não foi dada a ênfase devida ao trabalho coletivo.

No LDQ3, tem-se uma rápida explanação sobre a relevância dos trabalhos de Henri Poincaré (1854-1912), em que a sua proposição despertou a curiosidade de outros cientistas. Entretanto, o interesse de Poincaré já havia sido despertado anteriormente pela descoberta dos raios X. Segue-se relatando, ainda, o percurso metodológico feito por Becquerel, até em 1896, 24 de fevereiro, quando fez todo o relato à Academia Francesa de Ciências.

> Essa descoberta despertou grande interesse na época. Na França, Henri Poincaré (1854-1912) **propôs** que poderia haver uma conexão entre a fluorescência da parede de vidro dos tubos de raios catódicos e a emissão de raios X. **Alguns cientistas resolveram testar esta hipótese**.
> O interesse pela luz e pelos fenômenos da fosforescência e fluorescência estava arraigado na família Becquerel. Ao ouvir falar da descoberta dos raios X, ele imaginou que todos esses fenômenos poderiam estar relacionados entre si. Henri Becquerel (1852-1908), físico francês da terceira geração de uma família de cientistas, já havia estudado o fenômeno da fluorescência.
> A fluorescência ocorre quando materiais radioativos são expostos à luz ultravioleta e em seguida emitem luz. Becquerel **organizou** um experimento para investigar compostos fluorescentes de urânio e seu comportamento quando expostos à luz solar. No início de 1896, Becquerel **retomou** suas experiências usando um sal de urânio – que, como muitas substâncias radioativas, é fluorescente – que já havia estudado com o pai. Em 24 de fevereiro, ele relatou os resultados à Academia Francesa de Ciências (LDQ 3, p.143 **grifos nosso**s).

Não obstante, dá uma ênfase ao trabalho coletivo, deixando claro que esse foi o motivo de o tema radioatividade ter se desenvolvido.

> O desenvolvimento das pesquisas em radioatividade, por Marie (1867-1934) e Pierre Curie (1859-1906) e por Rutherford (1871-1937) e Soddy (1877-1956) **acabaram**, no

> entanto, **levando à descoberta** de que os átomos radioativos eram instáveis e se desintegravam emitindo radiações que foram nomeadas por Rutherford como alfa, beta e gama. Essas Emissões se revelariam uma poderosa "sonda" para o estudo da estrutura do átomo (LDQ3, p. 144 **grifos nossos**).

No LDQ4 temos uma descrição da história da radioatividade, citando os envolvidos de forma individual, colocando cada um no seu respectivo lugar. Não dá ênfase mais a um ou outro, ele cita Henri Becquerel (1852-1908), cita Wilhelm Conrad Röntgen (1843-1923), ainda adiante, comenta acerca do casal Curie, relatando todo o trajeto para a descoberta de determinados elementos, cita-os, o *Polônio* e o *Rádio*. Destaca acerca dos citados, como grande relevância, apenas os prêmios Nobel, que por cada um fora conquistado, citando, assim, entretanto, o prêmio que foi dividido entre eles (Marie Curie, Pierre Curie e Becquerel) em 1911.

Além disso, o LDQ4 só fala que a comunidade científica se interessou pelos estudos, mas não que teve participação em seus desenvolvidos: "A descoberta desses elementos *atraiu o interesse da comunidade científica da época* para a radioatividade. Além disso, acabou por confirmar que aquela era uma propriedade de determinados isótopos de alguns elementos (LDQ4, p. 15, grifos nossos)".

O LDQ5, ao citar os responsáveis pelos feitios da ciência, coloca Becquerel como o indivíduo que, pela primeira vez, percebeu o fenômeno, levando os leitores a entender Becquerel como o descobridor da radioatividade, além de citar Marie Curie como sendo a responsável por denominar o fenômeno, assim descreve.

> A radioatividade natural foi percebida pela primeira vez em 1896, por Antoine-Henri Becquerel (1852-1908), quando estudava o comportamento de alguns cristais fosforescentes depositados sobre uma chapa fotográfica, após serem irradiados por luz solar. (LDQ5, p.247)

No parágrafo seguinte, destaca: "O termo radioatividade foi criado por Marie Curie, cientista que dividiu com o marido, Pierre Curie (1859-1906), e Becquerel o prêmio Nobel de Física de 1903 pelas pesquisas sobre radioatividade espontânea" (LDQ5, p.247).

É ressaltado, ainda neste mesmo livro, que a filha de Marie Curie, Irène Joliot-Curie (1897-1956), ganhou um prêmio Nobel junto com o seu marido, Fréderic Joliot (1900-1958).

O LDQ6 faz um breve histórico sobre a descoberta da radioatividade, utilizando-se do termo **breve**, mas faz uma abordagem das mais completas, por exemplo, é o único livro que faz citações de Benjamin Franklin (1706-1790), fazendo uma introdução ao conteúdo que fora analisado e experimentado cerca de 125 anos depois.

> Desde 1750, ano em que o estadunidense Benjamin Franklin (1706-1790) **propôs** que os relâmpagos eram descargas elétricas que atravessavam a atmosfera, estudiosos passaram a investigar a possibilidade de determinadas substâncias no estado de agregação gasoso considerem eletricidade.
> Em 1875, o cientista inglês William Crookes (1832-1919) **aplicou** uma descarga elétrica no interior de um tubo contendo gás a pressões muito reduzidas (milhares de vezes menores que a pressão atmosférica) e observou uma luminosidade esverdeada próximo ao polo positivo (ânodo), conforme ilustra a imagem (C), a seguir.
> Em 1895, durante um experimento com um tubo de raios catódicos, o cientista alemão Wilhelm C. Röntgen (1845-1923) **observou** que uma tela revestida com uma substância fluorescente, posicionada a certa distância do aparelho, começou a brilhar.
> Em 1896, o físico francês Antoine-Henri Becquerel (1852-1908) **estudou** as impressões que um sal de urânio fosforescente deixava em uma chapa fotográfica coberta com papel espesso e opaco.
> Marie e Pierre Curie **observaram** que a pechblenda emitia mais radiação que o urânio metálico, um resultado inesperado segundo as pesquisas de Becquerel.
> Ainda em 1898, Marie e Pierre Curie **identificaram** na pechblenda dois elementos químicos: primeiramente o polônio e depois o rádio.
> **Em parceria** com o químico inglês Frederick Soddy (1877-1956), o físico neozelandês Ernest Rutherford (1871-1937) **desenvolveu**, no início do século XX, a teoria da desintegração atômica para explicar a natureza da radioatividade (os "raios de Becquerel"). Tinha sido determinado anteriormente que o poder de penetração das emissões radioativas era diferente do observado para os raios X (LDQ6, p. 159-160, g**rifos nossos**).

Este LD ainda faz uma abordagem mais ampla delineando a história da fissão nuclear:

> Em 1934, a filha de Marie Curie, a também cientista Irène Joliot-Curie (1897-1956), e seu marido, Frédéric Joliot (1900-1958), **descobriram** ser possível transformar elementos químicos não radioativos em outros, radioativos, por meio de reações nucleares feitas em laboratório (LDQ6, p.100 **grifos nossos**).

4.6 Materiais utilizados para apresentar a informação histórica

Quadro 5 - Materiais utilizados para apresentar a informação histórica

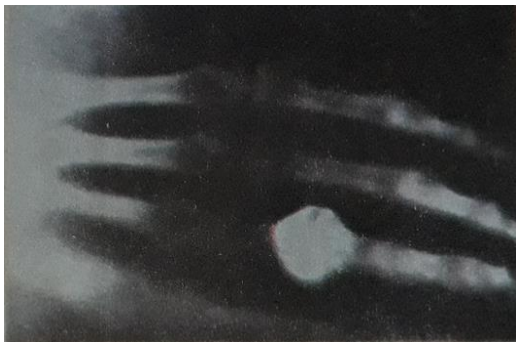
Materiais Apresentados	LDQ1	LDQ2	LDQ3	LDQ4	LDQ5	LDQ6
Imagens dos personagens	3	1	3	2	1	1
Imagens de Equipamentos	1	1	-	-	-	1
Documentos / textos originais	-	-	1	-	-	-
Descrição de experimentos históricos	2	-	-	1	-	1
Fontes secundárias	-	-	-	-	-	-
Outros (selos, cédulas, poesias, etc)	-	-	-	1	-	-

Fonte: Próprio autor/2019

Observa-se, na análise dos Livros Didáticos, que a abordagem histórica é reforçada na utilização de imagens dos personagens. No LDQ1, observa-se apenas três imagens de cientistas, em que, numa delas, apresenta-se o laboratório. Os experimentos descritos são mostrados em imagens representativas, de forma bem proveitosa, mostrando o que foi feito e qual foi o resultado obtido.

O LDQ2 não tem uma preocupação em apresentar informações, imagens, documentos, para dar sustentação à história. Contudo, ele apresenta apenas uma foto de um cientista e uma imagem de um equipamento chamado *Contador Geiger*, mostrando como se dá o seu funcionamento. No LDQ3 encontramos, assim como nos demais, poucos registros de imagens, apenas 3 personagens são expostos na forma de fotos, apresenta-se, também, uma imagem da chapa fotográfica revelada por Becquerel. Uma curiosidade é que o LDQ3 utiliza uma mesma imagem que o LDQ1, no entanto, observa-se que a imagem foi cortada no LDQ1.

Figura 3- Imagem da mão da esposa de Röntgen.

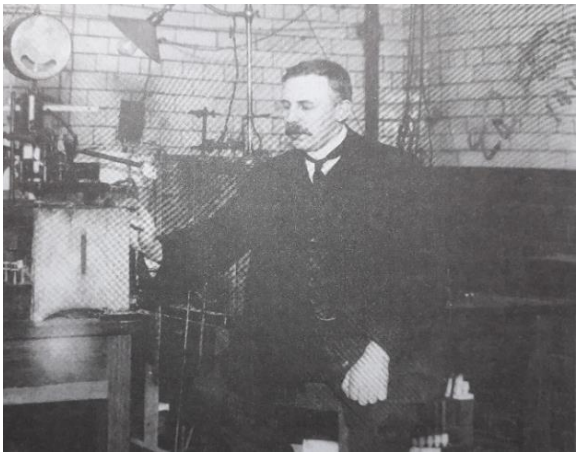


Fonte: LDQ3, p.142

Figura 4 – Geiger e Rutherford trabalhando juntos.

Fonte: (LDQ3, p.147)

Figura 5– Ernest Rutherford em seu laboratório



Fonte: (LDQ1, p.148)

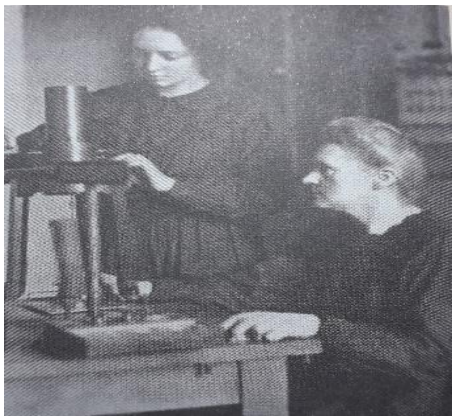
O LDQ4 introduz o assunto de radioatividade com uma propaganda de 1918, exclusiva para mulheres, faz uma recontagem de todos os eventos, mas exalta a descoberta de dois elementos pelo casal Curie, expressa num Selo da República Centro-Africana de 1977, homenagem a Marie Sklodowska Curie e a seu Marido, Pierre Curie. Mostra, mais adiante, o experimento de Rutherford que culminou com a sua descoberta.

Figura 6 – Homenagem ao casal Curie no Selo da República Centro-Africana

Fonte: (LDQ4, p. 15)

O LDQ4 apresenta duas fotos com 3 mulheres, entretanto, não são meramente fotos representativas para tentar enriquecer o conteúdo histórico do capítulo. Estas fotos têm um significado muito além do contexto, reforçam a participação de três mulheres no desenvolvimento da ciência, mais especificamente no assunto de radioatividade.

Figura 7 – Marie Curie e sua filha Irène



Fonte: (LDQ4, p. 28)

Ao apresentar a primeira foto, o texto enobrece a trajetória de Marie Curie, exaltando os seus resultados estupendos nos estudos, os quais não poderiam ser prosseguidos, devido à proibição do governo russo de as mulheres frequentarem as Universidades, ou seja, ela teve que buscar trabalho, é salientado que a sua família não tinha condições, trabalhou por 6 anos, até

finalmente, aos 23 anos, conseguir se inscrever na Faculdade de Ciência da Universidade de Paris. Ainda, ressalta a herança acadêmica passada em vida para a sua filha Irène Joliot-Curie, que também ganhou um prêmio Nobel em 1935. Além das mulheres Curie, Lise Meitner, também, se sacrificou para os paradigmas da época e cooperou com o desenvolvimento da ciência e, de forma lamentável, viu o seu parceiro Otto Hahn ser agraciado com um prêmio Nobel.

Figura 8 – Lise Meitner

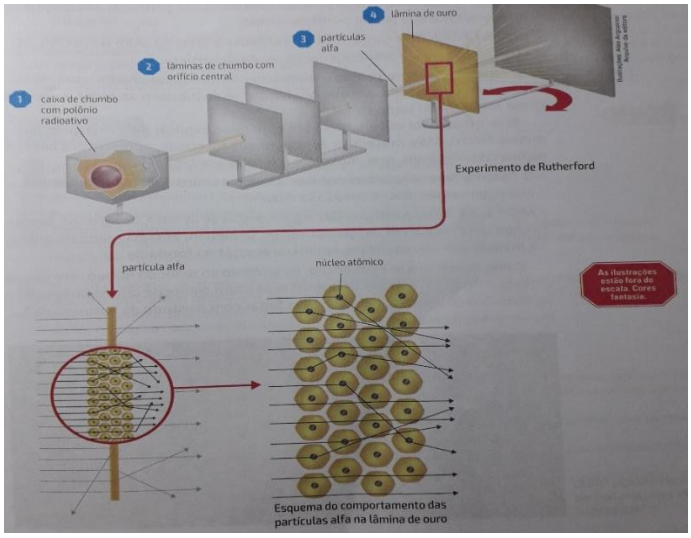
Fonte: (LDQ4, p. 29)

Entendemos que essa é uma discussão, veementemente, pertinente, a ser levantada em sala de aula. Têm-se uma narrativa rica em fatos que podem ratificar que, se as mulheres tivessem mais envolvimento, certamente, a ciência já poderia ter tido mais avanços. Fecha o tópico com um texto impactante e que deve gerar uma reflexão acerca do número reduzido de mulheres na ciência, devido a problemas como sexismo no ambiente de trabalho, além da responsabilidade gigantesca de criar os filhos e cuidar da casa. O LDQ4 foi extremamente feliz, ao incluir, no seu roteiro, um questionário totalmente discursivo com 7 quesitos que ajudam a consolidar toda a ideia voltada, exclusivamente, para as mulheres e a sua relevância para ciência.

O LDQ5 deixa a desejar nesta dimensão, apresenta apenas uma única foto de um cientista cuja contribuição foi mais voltada para reescrever a tabela periódica dos elementos, sendo o único a ser homenageado em vida.

Por fim, o LDQ6 apresenta uma representação da ampola de *Crookes*, bem como imagens do que vem a ser essa, funcionando e desligada. Além de apresentar uma foto do Casal Curie, em um laboratório, no período em que testavam os raios de Becquerel. Quanto ao experimento de Rutherford, é feita uma descrição discreta dando ênfase apenas aos resultados.

Figura 9 – Experimento de Rutherford



Fonte: (LDQ1, p.161)

Outrossim, Vidal (2007) afirma que, quanto mais se utiliza fontes primárias, menos riscos se corre de cometer erros de interpretação e passá-los adiante. Algumas destas coleções já estão sendo reescritas e erros já podem estar vindo de longas datas

4.7 Contextos aos quais a informação histórica está relacionada

Quadro 6 – Informações históricas presentes nas coleções de Química analisadas

Contexto da informação histórica	LDQ1	LDQ2	LDQ3	LDQ4	LDQ5	LDQ6
Científico	1	1	1	1	1	1
Tecnológico	1	1	-	-	-	-
Social	1	-	-	4	-	-
Político	1	-	-	1	-	-
Religioso	-	-	-	-	-	-

Fonte: Próprio autor/2019

Pela análise dos LDs, observa-se que todas as informações históricas estão inseridas dentro de um contexto científico, o que é comum e natural, vale salientar que este não é o único contexto, questões políticas, sociais, religiosos, também, apresentam uma relevância e influenciam o desenvolvimento da ciência.

Apenas o LDQ1 e o LDQ4 fazem uma discretíssima explanação acerca do contexto político e de suas contribuições para o desenvolvimento da ciência. No LDQ1 e no LDQ4, é possível encontrar uma pequena menção quanto à questão social, em que são mencionadas as condições sociais, em que alguns dos personagens, em cheque, viviam, mostrando, assim, que, mesmo sob todas as diversidades e paradigmas existentes em uma época, pode, sim, pela força de vontade, haver superação e obter um avanço científico.

De todos os livros didáticos, o LDQ1 e o LDQ2 não fazem menção ao contexto tecnológico. Para se conseguir um grau de contextualização do conteúdo ensinado, de como será aprendido, para se obter sucesso na relação ensino-aprendizagem, entendemos que se deve fazer um aprofundamento, em todos os aspectos envolvidos na vida cotidiana dos personagens de cada época, para, somente assim, tentar enxergar a ciência com um olhar humanizado e como sendo frutífero.

Ao analisar os livros didáticos, observamos que estes apresentam algumas inadequações, conforme salientado por Martins, (2005). Todos os materiais, ao citarem os personagens e eventos, fazem questão de explicitar as datas, as quais colocam os cientistas em um momento da história com uma descoberta pronta, sem evidenciar e expressar o percurso metodológico, social, tecnológico e científico para se chegar ao feito realizado.

O nome precedido do ano de nascimento e de falecimento não contribui de forma alguma para o entendimento da história que está sendo recontada, sob um viés cronológico, e nem, apenas, recoloca o cientista em uma linha de tempo para dar prosseguimento a uma história. Fatos soltos são inseridos, conforme o conteúdo vai demandando e não há fatos ou menções que possam favorecer a uma reflexão, nem estabelecem uma conexão com a vida dos personagens e a vida dos estudantes de hoje, algo que pudesse tentar igualá-los num mesmo patamar.

O contexto vivido, que foi influência para se chegar a tais descobertas, os erros que foram cometidos, as falhas nos experimentos, os trabalhos aproveitados, dentre outros fatores, não são postos, de forma a mostrar para o aluno que existe uma grande possibilidade de ele seguir um percurso, mesmo que árduo, que o leve a realizar descobertas e feitos magníficos. Segundo Allchin (2003), toda esta narrativa reforça a ideia de que já existe uma fórmula, para se chegar ao encontro da verdade científica, o que reforça o estereótipo de que o gênio é uma pessoa atípica e que, ao estalar dos dedos, as soluções serão encontradas e tudo estará resolvido, tudo isso contrariando a grande necessidade que a ciência tem de anos de estudos e testes para se chegar a algum resultado e que, quase sempre, necessita da contribuição de inúmeras pessoas.

Pode ser observada, nos livros didáticos analisados, uma linearidade no desenvolvimento da ciência. Isso distorce verdades, criando interpretações inconsistentes atribuindo méritos para uns e deméritos a outros. Os livros didáticos analisados apresentam muitas fotos de cientistas, alguns apresentam algumas imagens de experimentos ou equipamentos em um deles, até selos comemorativos, entretanto, nota- se uma falta de critério e de reflexão necessária para a utilização destes materiais. É observado, em dois livros didáticos, que a mesma imagem aparece em uma e é cortada na outra, o que fica caracterizado como uma supervalorização de um, em detrimento da contribuição que o outro deu, mas que não foi considerada.

Em síntese, nesta análise pôde ser constatada a presença de um termo, até então, pouco explorado que é *serendipity*. Acreditamos que este termo e o seu significado pode ser um primoroso mecanismo de auxílio para ajudar o aluno a buscar a compreensão de como as descobertas científicas podem ser acessíveis e como essas podem surgir, de forma espontânea, partindo do princípio básico do desenvolvimento científico que é a observação. Assim, entendemos que desenvolver, no aluno, este conceito pode ser um fator determinante para o ajudar a quebrar uma barreira que exista entre as pessoas normais e os cientistas que, muitas vezes, são endeusados e tidos como gênios, ou seja, deixando-nos todos em um mesmo patamar. Acreditamos que igualar o aluno de hoje com os cientistas de antigamente é uma forma de manter viva a possibilidade de surgimento de novos cientistas e novas descobertas.

As fotos das cientistas, utilizadas pelo LDQ4, com 3 mulheres, deixaram um ganho significativo, para provocar uma discussão mais do que pertinente que é a participação delas, no desenvolvimento da ciência, mais especificamente, no assunto de radioatividade. Assim, acreditamos que suscitar esses questionamentos favorecerá uma tomada de pensamentos críticos e afortunados de boas sugestões para a inserção enriquecedora da mulher na ciência.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho analisamos, de forma qualitativa, os conteúdos de radioatividade presentes nos livros de química do PNLD 2015-2018, buscando atender ao objetivo geral proposto. Em sua maioria, estes apresentam a história da Radioatividade com um perfil de evolução linear e direta, seguindo uma cronologia de eventos sequenciados, que dão a entender que um evento se deu em função de outro que o antecedera.

Alguns exemplares fazem, exclusivamente, citações de datas de nascimento e falecimento, limitando-se, ainda, a fotos dos cientistas, em relação à história da ciência. Algumas inadequações foram encontradas, a exemplo de como os cientistas são apresentados, alguns são endeusados divergindo de Callegario (2015), que diz que a HC pode humanizar as ciências e aproximá-las dos interesses pessoais, éticos, culturais e políticos da comunidade, no entanto, nenhum dos exemplares apresentaram contextos necessários para estas aproximações. Além disso, a HC deveria ser utilizada para tornar as aulas de ciências mais desafiadoras e reflexivas, permitindo, deste modo, o desenvolvimento do pensamento crítico. Mais uma vez, vemos como um ponto negativo a falta de reflexão e problematização apresentando, apenas, uma recontagem discreta de eventos.

Não obstante, é indiscutível que o professor precisa estar preparado para lidar com estas nuances e, com isso, é importante que a sua formação seja contínua, para que possa conseguir interpretar as informações apresentadas e poder orientar os alunos no caminho mais sensato. Afinal, é possível trabalhar estes materiais, seja qual exemplar for, no contexto do ensino da radioatividade, pois, no tocante ao conteúdo, ao fenômeno em si, todos atingem o objetivo. Ou seja, o professor terá a grande responsabilidade de guiar e orientar os estudantes.

Como sugestão, seria interessante reunir as diversas informações históricas contidas nos 6 exemplares, compilando este material e chegando em algo próximo ao desejado. Assim, deixamos como produto desta pesquisa um modelo do que poderia ser uma história da radioatividade nos moldes da história da ciência.

Além disso, devido nossas constatações, acreditamos ser pertinente para trabalhos vindouros uma análise semelhante a esta em livros mais recentes do PNLD para constatar se tais deficiências se mantêm presentes ou estão sendo revistas, inclusive, tendo em vista que, no próximo ano -2020-, serão adotadas novas coleções escolhidas este ano, e caso, se mantenham, investigar os docentes para saber se seguem fielmente o conteúdo prescrito nos LDs ou que estratégias metodológicas utilizam.

REFERÊNCIAS:

AFONSO-GOLDFARB, Ana Maria. **O que é história da ciência**. Brasiliense, 1994.

ALFONSO-GOLDFARB, Ana Maria; BELTRAN, Maria Helena Roxo. **Escrevendo a história da ciência: tendências, propostas e discussões historiográficas**. Editora Livraria da Fisica, 2004.

BECQUEREL, Henri. Sur les radiations émises par phosphorescence. **Comptes Rendus Hebdomadaires des Séances de l'Académie des Sciences de Paris** 122: 420-1, 1896(a).

_____. Sur les radiations invisibles émises par les corps phosphorescents. **Comptes Rendus Hebdomadaires des Séances de l'Académie des Sciences de Paris,** 122: 501-3, 1896 (b).

BIZZO, N. M. V. História da ciência e ensino: onde terminam os paralelos possíveis? **Em Aberto**, Brasília, v. 11, n. 55, p. 29-35, 1992.

BOGDAN, R.; BIKLEN, S**. Investigação qualitativa em educação:** uma introdução à teoria e aos métodos. Tradução Maria João Alvarez, Sara Bahia dos Santos e Telmo Mourinho Baptista. Porto: Porto Editora, 1994.

BUTTERFIELD, H. **The Whig interpretation of history**. London: Bell, 1931.

BRASIL, Ministério da Educação e do Desporto/ Secretaria de educação Média e Tecnológica. **Parâmetros Curriculares Nacionais** para o Ensino Médio. Brasília: MEC, 2000.

CALLEGARIO, Laís J., *et al*. A História da Ciência no Ensino de Química: Uma Revisão. **Revista Virtual de Química** 7.3 (2015): 977-991.

CURIE, Marie Sklodowska. **Les rayons de Becquerel et le polonium**. Revue Générale des Sciences, v. 10, p. 41-50, 1899.

JUNIOR, Decio Hermes Cestari et al. O conceito de descoberta científica: os raios de Roentgen como estudo de caso. 2015.

CHEVALLARD, Y. La Transposition Didactique: Du Savoir Savant au Savoir Ensigné. Grenoble, La pensée Sauvage, (1991).

CARDOSO, P.S.; COLINVAUX, D. Explorando a motivação para estudar química. **Química Nova**, vol.23, n.3, p. 401-404, 2000

DE MELLO FORATO, Thaís Cyrino; PIETROCOLA, Maurício; MARTINS, Roberto Andrade. Historiografia e natureza da ciência na sala de aula. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 28, n. 1, p. 27-59, 2011.

DIAZ, M. J. M. Enseñanza de las ciencias? Para qué? **Revista Electrónica Enseñanza de las Ciencias,** v. 1, n. 2, pp. 1-6, 2002. Disponível em: <www.saum.uvigo.es/reec/volumenes.htm>. Acesso em: 26 set. 2011.

ECHEVERRIA, A.; MELLO, I. C.; GAUCHE, R. O programa nacional do livro didático de química no contexto da educação brasileira. In: ROSA, M. I. P.; ROSSI, A. V. (Org.). **Educação química no Brasil:** memórias, políticas e tendências. Campinas: Átomo, 2008. p. 63-83.

FOUREZ, G. A. Crise no ensino de ciências? **Investigações em Ensino de Ciências**. Porto Alegre, v. 8, n. 2, p. 1-19, 2004.

FLODEN, Robert E.; BUCHMANN, Margret; SCHWILLE, John R. **Breaking with everyday experience**. Teachers College Record, 1987.

FRACALANZA, H.; AMARAL, I. A.; GOUVEIA, M. S. F. **O ensino de ciências no primeiro grau**. São Paulo: Atual, 1987.

FRACALANZA, Hilario; DO AMARAL, Ivan Amorosino; GOUVEIA, Mariley Simões Floria. **Ensino de ciencias: no primeiro grau**. Atual, 1987.

FORATO, T. C. M; PIETROCOLA, M.; MARTINS, R. A. Historiografia e natureza da ciência na sala de aula. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 28, n. 1: pp. 27-59, 2011.

GIL, A.C. **Métodos e técnicas de pesquisa social.** 6 ed. São Paulo: Atlas, 2008.

KRASILCHIK, Myriam. Reformas e realidade: o caso do ensino das ciências. São Paulo em perspectiva. p. 85-93, 2000.

KRAGH, H. **An introduction to the historiography of science**. Cambridge: New York, 1989.

KUHN, T.S. **A estrutura das revoluções científicas**. São Paulo, Perspectiva, 1978.

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

MARTINS, R. A. Sobre o papel da história da ciência no ensino. **Boletim da Sociedade Brasileira de História da Ciência**, v. 9, p. 3-5, 1990.

MARTINS, R. A. As primeiras investigações de Marie Curie sobre elementos radioativos. **Revista da SBHC**, v. 1, p. 29-41, 2003.

MARTINS, R. A. Investigando o invisível: as pesquisas sobre raios X logo após a sua descoberta por Röntgen. **Revista da Sociedade Brasileira de História da Ciência** (17): 81-102, 1997 (a).

MARTINS, R. A. **Do urânio ao rádio:** os Curie e os novos elementos radioativos.

MATTHEWS, Michael S. História, filosofia e ensino de ciências: a tendência atual de reaproximação. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 12, n. 3, p. 164-214, 1995.

MARTINS, R. A. Ciência versus historiografia: os diferentes níveis discursivos nas obras sobre história da ciência. In: ALFONSOGOLDFARB, Ana Maria & BELTRAN, Maria Helena Roxo (eds.). **Escrevendo a História da Ciência:** tendências, propostas e discussões historiográficas. São Paulo: EDUC / Livraria de Física / FAPESP, 2005. p. 115-145

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

MARTINS, R. A. Introdução: a História das Ciências e seus usos na educação. In: SILVA, C. C. (Org.). **Estudos de História e Filosofia das Ciências:** subsídios para aplicação no ensino. São Paulo: Livraria da Física, 2006.

PAIXÃO, F.; ANTÓNIO, CACHAPUZ. Mudanças na prática de ensino da química pela formação dos professores em história e filosofia das ciências. **Química Nova na Escola** (2003): 31-36.

PITANGA, A. F., SANTOS, H. B., GUEDES, J. T., FERREIRA, W. M., SANTOS, L. D. História da Ciência nos Livros Didáticos de Química: Eletroquímica como Objeto de Investigação. **Química Nova na Escola**, v. 1, p. 11-17, 2014.

SANTOS, W.L.P. e SCHNETZLER, R.P. **Educação em Química**. Compromisso com a Cidadania. Ijuí: Editora Unijuí, 1997.

SCHNETZLER, Roseli Pacheco; DOS SANTOS, Wildson Luiz Pereira. **Educação em Química: compromisso com a cidadania**. Ed. UNIJUI, 1997.

VIDAL, Paulo Henrique Oliveira; PORTO, Paulo Alves. "A história da ciência nos livros didáticos de química do PNLEM 2007. **Ciência & Educação** *(Bauru)* 18.2, 2012. p. 291-308.

_____. Representações químicas e a História da Ciência em sala de aula. **História da Ciência e Ensino:** construindo interfaces, 2014.

YIN, R. K. **Pesquisa qualitativa do início ao fim**. Tradução Daniel Bueno. Revisão técnica: Dirceu da Silva. Porto Alegre: Penso, 2016.

APÊNDICE A- RADIOATIVIDADE: PERIGOS E BENEFÍCIOS À SOCIEDADE
(Material didático para os alunos)