



Instituto Federal de Brasília
Campus Gama
Curso Licenciatura em Química

Camilla Thainan Lima Farias

**A História do Desenvolvimento dos Modelos Atômicos: uma análise em
livros didáticos aprovados pelo PNLD 2018**

Brasília
2019

Camilla Thainan Lima Farias

A História do Desenvolvimento dos Modelos Atômicos: uma análise em livros didáticos aprovados pelo PNLD 2018

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Licenciatura em Química do *Campus* Gama do Instituto Federal de Brasília como requisito parcial para obtenção do título de Licenciada em Química. Orientador(a): Prof^ª. Dr^ª. Nizamara Simenremis Pereira.

Brasília
2019

FARIAS, Camilla Thainan Lima

A História do Desenvolvimento dos Modelos Atômicos: uma análise em livros didáticos aprovados pelo PNLD de 2018 / Camilla Thainan Lima Farias; orientação: Profa. Dra. Nizamara Simenremis Pereira. — Brasília, 2019.

75 f.

Orientadora: Profa. Dra. Nizamara Simenremis Pereira.

Trabalho de Conclusão do Curso (Graduação em Licenciatura em Química) — Instituto Federal de Brasília, Campus Gama, 2019.

1. História da Ciência. 2. Livros Didáticos. 3. Modelos Atômicos. I. PEREIRA, Nizamara Simenremis. II. A História do Desenvolvimento dos Modelos Atômicos: uma análise em livros didáticos aprovados pelo PNLD de 2018

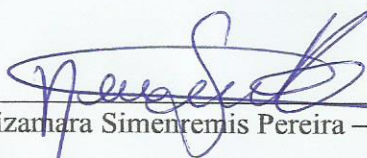
Camilla Thainan Lima Farias


A História do Desenvolvimento dos Modelos Atômicos: uma análise em livros didáticos aprovados pelo PNL D 2018

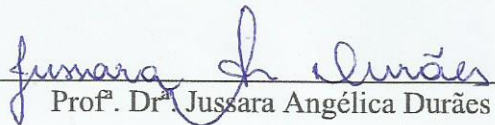
Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Licenciatura em Química do *Campus* Gama do Instituto Federal de Brasília como requisito parcial para obtenção do título de Licenciada em Química.
Orientador(a): Prof^a. Dr^a. Nizamara Simenremis Pereira

Aprovado em: 10/12/2019

BANCA EXAMINADORA


Prof^a. Dr^a. Nizamara Simenremis Pereira – Orientador(a) - IFB


Prof. Msc. José Giovanni Leite de Brito - IFB


Prof^a. Dr^a. Jussara Angélica Durães - IFB

Dedico esse Trabalho de Conclusão
de Curso aos meus pais Joana e Rosivaldo,
meus irmãos Gustavo e Kelvyn e à minha avó
Olivia (*in memoriam*).

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente, a Deus por ser meu refúgio e minha fortaleza de todos os dias.

Aos meus pais pelo apoio incondicional, aos meus irmãos pelo incentivo e a ajuda sempre que solicitada, a minha cunhada Gabryella Correia pela companhia e bons momentos de estudo no IFB do Recanto das Emas.

A minha querida orientadora, Prof^ª. Dr^ª. Nizamara Simenremis Pereira pelo carinho, paciência em sanar minhas dúvidas, atenção, disponibilidade, compreensão, pela empolgação com o desenvolvimento deste trabalho e por acreditar que seria possível finalizá-lo a tempo. Meu profundo respeito e admiração. Obrigada de coração por tudo!!!

A minha professora de Química do Ensino Médio, Janine Oliveira e Silva, pelos bons anos de amizade e pelo empréstimo dos livros didáticos, que foram fundamentais para realização deste trabalho.

Aos meus amigos e irmãos na fé Rayssa Alencar, Jader Melo, Renan Alves e Rodolfo Simões pelas boas conversas, também as minhas amigas e companheiras de curso Benedita Cardoso, Regina Sales, Patrícia Silva, Jamilla Farrapo e Nágila Matias por me encorajarem a não desistir, pela disponibilidade e paciência em ouvir as minhas angústias e pela ajuda prestada durante esses longos e árduos anos de graduação.

Ao corpo docente do curso de Licenciatura em Química pela competência e pela ajuda concedida.

A banca pela disponibilidade em avaliar esse Trabalho de Conclusão de Curso.

A todos os colegas do curso de Licenciatura em Química que direta ou indiretamente contribuíram com a minha formação pessoal e acadêmica, deixo aqui o meu muito obrigada!

Jesus olhou fixamente para eles e lhes disse: “Para os homens isso é impossível, mas para Deus todas as coisas são possíveis.”(Mateus.19:26)

RESUMO

O presente trabalho tem por objetivo analisar os livros didáticos do Programa Nacional do Livro Didático (PNLD) de 2018, considerando a importância da História da Ciência como estratégia pedagógica para aprendizagem de conceitos científicos. Nesse sentido, foi realizada uma pesquisa qualitativa com o intuito de investigar a abordagem histórica apresentada nos livros didáticos acerca do tema modelos atômicos. Para isso, foram selecionados capítulos, unidades e seções que tratam da referida temática. Na primeira análise observou-se a dimensão extensa do conteúdo histórico encontrado nos livros, de modo que optou-se por selecionar trechos para a análise. Os fragmentos foram selecionados de acordo com alguns itens da lista de verificação de conteúdo histórico disponibilizada por Leite (2002), as interpretações e inferências a cada excerto foram apoiadas na revisão de literatura, considerando a contextualização dos fatos históricos ou se há simplificações que tornam o conteúdo superficial, ou ainda, informações que estão incoerentes com a história na concepção atomista e na descrição do modelo atômico. Por fim, foi realizado um breve relato do modelo atômico, buscando esclarecer os motivos de determinados conteúdos históricos não serem adequados para um livro didático do Ensino Médio. Os resultados obtidos mostraram que a simplificação ou omissão de relatos históricos pode tornar o conteúdo superficial ou até distorcer informações históricas. Também ficou evidente que o modelo atômico de Thomson descrito nos livros didáticos não está concordante com as informações consultadas nos documentos originais.

Palavras-chave: História da Ciência, Livros Didáticos, Modelos Atômicos.

ABSTRACT

This paper aims to analyze the textbooks of the 2018 National Textbook Program (PNLD), considering the importance of the history of science as a pedagogical strategy for learning scientific concepts. In this sense, a qualitative research was carried out in order to investigate the historical approach presented in textbooks on the theme atomic models. For this, we selected chapters, units and sections that deal with this theme. In the first analysis we observed the extensive dimension of the historical content found in the books, so we chose to select excerpts for the analysis. The fragments were selected according to some items of the historical content checklist provided by Leite (2002), the interpretations and inferences for each excerpt were supported in the literature review, considering the contextualization of the historical facts or if there are simplifications that make the superficial content, or even information that is inconsistent with history in the atomistic conception and description of the atomic model. Finally, a brief report of the atomic model was made, seeking to clarify the reasons why certain historical contents are not suitable for a high school textbook. The results showed that the simplification or omission of historical accounts can make the content superficial or even distort historical information. It was also evident that Thomson's atomic model described in the textbooks does not agree with the information consulted in the original documents.

Keywords: History of Science, Textbook, Atomic Models.

LISTA DE ABREVIATURAS

HC	História da Ciência
CTS	Ciência, Tecnologia e Sociedade
AAAC	Associação Americana para o Avanço da Ciência
PCNEM	Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio
LD	Livro didático
PNLD	Programa Nacional do Livro Didático
MEC	Ministério da Educação
PNLEM	Programa Nacional do Livro Didático no Ensino Médio
HFC	História e Filosofia da Ciência
SD	Sequência didática
Ced 104	Centro Educacional 104
CEM 111	Centro de Ensino Médio 111
CEM 804	Centro de Ensino Médio 804

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 Representação da repulsão entre as atmosferas de calórico do azoto
(nitrogênio) e do hidrogênio. 28

LISTA DE QUADROS

Quadro 1	Livros selecionado no PNLD 2018	44
Quadro 2	Principais resultados do modelo de Dalton	54
Quadro 3	Principais resultados do modelo de Thomson	59
Quadro 4	Principais resultados do modelo de Rutherford	64
Quadro 5	Principais resultados do modelo de Bohr	67

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1 A importância da história da ciência na Educação Básica	17
2.2 A história do desenvolvimento dos modelos atômicos nos livros didáticos	18
2.3 A história do desenvolvimento da teoria atômica	20
2.3.1 Período anterior ao laboratório de Cavendish	20
2.3.1.1 <i>John Dalton (1766-1844)</i>	23
2.3.2 Período posterior ao laboratório de Cavendish	28
2.3.2.1 <i>Joseph John Thomson (1856-1940)</i>	28
2.3.2.2 <i>Hantaro Nagaoka (1865-1950)</i>	32
2.3.2.3 <i>Ernest Rutherford (1871-1937)</i>	34
2.3.2.4 <i>Niels Bohr (1885-1962)</i>	37
3 OBJETIVOS	41
3.1 Objetivo Geral	41
3.2 Objetivos Específicos	41
4 METODOLOGIA	41
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	45
5.1 Atomismo na Antiguidade	45
5.1.1 <i>A versão histórica apresentada nos livros didáticos</i>	45
5.1.2 <i>Omissão aos fatos históricos</i>	47
5.2 Modelo atômico de Dalton	48
5.2.1 <i>A versão histórica apresentada nos livros didáticos</i>	48
5.2.2 <i>Omissão aos fatos históricos</i>	52
5.3 Modelo atômico de Thomson	54
5.3.1 <i>A versão histórica apresentada nos livros didáticos</i>	54
5.3.2 <i>Omissão aos fatos históricos</i>	57
5.4 Modelo atômico de Rutherford	59
5.4.1 <i>A versão histórica apresentada nos livros didáticos</i>	59
5.4.2 <i>Omissão aos fatos históricos</i>	62
5.5 Modelo atômico de Bohr	64
5.5.1 <i>A versão histórica apresentada nos livros didáticos</i>	64
5.5.2 <i>Omissão aos fatos históricos</i>	65
6 CONCLUSÃO	67
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	69

1 INTRODUÇÃO

O ensino de Química, da maneira como é apresentado, desconsiderando aspectos históricos e de forma descontextualizada tem criado obstáculos à aprendizagem dos estudantes, caracterizando-se como um modelo tradicional de ensino, que pouco atrai o interesse dos alunos e que se baseia na memorização de fórmulas, com conteúdos isolados e sem muitas aplicações na vida cotidiana (CALLEGARIO et al., 2015).

Entre os motivos que caracterizam essa problemática no ensino estão a valorização de determinados conteúdos em detrimento de outros, a gama de exercícios com foco nos vestibulares, a metodologia de ensino aplicada em sala de aula, a experimentação com foco na comprovação de teorias e o emprego de metáforas e analogias que se usadas de forma incorreta causam sérios prejuízos ao processo de ensino-aprendizagem. Além dos aspectos citados, pode-se mencionar a formação do professor que, quando carente dos aspectos históricos da ciência, pode levá-lo a transmitir o conhecimento de maneira superficial, assim como sua desatualização quanto às novas práticas pedagógicas. Esses e outros fatores influenciam no processo de ensino-aprendizagem das Ciências (CHAVES, 2011).

Nesse sentido, uma alternativa adotada para esse problema foi a aproximação da História da Ciência (HC) com o Ensino de Química, em busca de apresentar uma visão humanística e cultural da ciência, dotada de interesses políticos, sociais e econômicos, que podem contribuir para a compreensão do conhecimento científico, promovendo debates e desenvolvendo o pensamento crítico do aluno, mostrando a Ciência como um processo de construção coletiva, de tal maneira a ser implementada nos currículos escolares, ampliando a sua abordagem dentro da perspectiva de Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS) (MATTHEWS, 1995).

Assim, ações têm sido propostas em diversos países com vistas a dar lugar e importância ao ensino da HC em virtude da crise ocorrida no Ensino de Ciências, tanto no Ensino Médio como no Ensino Superior, tendo como consequência a formação de estudantes com pouco ou nenhum conhecimento da HC, e a formação de professores despreparados para lidar com o ensino e contextualização da HC, principalmente nos Estados Unidos (MATTHEWS, 1988).

Diante disso, surgiu a necessidade de se incluir a HC nos currículos escolares americanos, o que levou a definição de projetos, tais como: o Programa 2061, organizado pela Associação Americana para o Avanço da Ciência (AAAC) que por meio de estudos, discussões e aplicações, lançou em 1989 o relatório Ciência Para Todos os Americanos, apontando os impactos positivos produzidos pelo ensino de HC nas escolas (HOTTECKE; SILVA, 2011; MATTHEWS, 1995).

No Brasil, essa medida foi implementada por meio de documentos oficiais, dentre eles, os Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (PCNEM), especificamente o de Ciências da Natureza, destacando a complexidade da disciplina de Química e considerando os pressupostos históricos como ferramenta para percepção da Ciência Química como processo de construção com erros, acertos e avanços para o progresso da Ciência, bem como para a construção dos conhecimentos químicos (BRASIL, 2004).

Logo, aproximar a HC do contexto escolar conduz ao desenvolvimento de competências e habilidades que garantem ao aluno autonomia e capacidade para integrar os conhecimentos das áreas correlatas, para resolução de situações-problemas, ampliando a sua visão de mundo diante das diferentes circunstâncias, tornando o conhecimento significativo e contribuindo para a formação cidadã (BRASIL, 2004).

Entretanto, o grande obstáculo reside no fato de a HC, embora inclusa nos currículos escolares, ainda ser um tema pouco discutido em sala de aula pelos professores (HOTTECKE; SILVA, 2011), como também é um assunto tratado sucintamente nos livros didáticos (LDs), por vezes até de maneira errônea, resumindo-se a informações complementares tais como datas e nomes (PAGLIARINI, 2007).

Além disso, a forma de organização sistematizada do LD, com uma sequência de conteúdos, ilustrações, sugestões de experimentos de baixo custo e questões para fixação, conduz o professor no planejamento de suas aulas e na aplicação das atividades, não como a única fonte fidedigna de informação, mas agregado a experiência em sala de aula, bem como aos conhecimentos adquiridos durante a formação acadêmica do professor. Tudo isso compõe o material didático acessível ao aluno e que o norteia em seus estudos (DOMINGUINI; ORTIGARA, 2010).

Outro fator importante é a linguagem. Ela é o elemento primordial que estabelece a relação com o leitor, promove o entendimento, discussão e reflexão sobre o que está sendo estudado (LOPES, 1993). É o principal objeto de análise em LD, pois de acordo com Lopes

(1993) o uso de metáforas e analogias para tornar a linguagem mais próxima da realidade do aluno e assim facilitar o processo de ensino-aprendizagem tem afetado a aprendizagem de conceitos científicos em grande parte, por não diferenciar termos científicos dos termos aprendidos no cotidiano, apontando para uma similaridade entre ambos.

Sendo o LD um intermediário entre o professor e o aluno, as práticas pedagógicas da maioria dos professores ficam restritas às orientações do LD (TFOUNI; CAMARGO; TFOUNI, 1987). Também para aqueles que têm uma deficiência com relação ao contexto histórico das Ciências ou os que não frequentam cursos de formação continuada, o livro é usado como base de informações para se compreender as novas tendências educacionais (HOTTECKE; SILVA, 2011). Por isso, se torna fundamental que os conceitos estejam atualizados e corretos, como também requer uma abordagem mais abrangente e coerente sobre os relatos históricos (MOURA; GUERRA, 2013).

Assim, se faz necessária uma análise do conteúdo apresentado nos LDs de Química, tendo em vista que o LD é o instrumento mais utilizado nas escolas brasileiras, embora o avanço tecnológico tenha proporcionado a utilização de recursos, como: computadores, data shows, entre outras ferramentas, com o intuito de tornar as aulas mais dinâmicas por meio de uma didática diferenciada, e até melhorar o processo de ensino-aprendizagem dos alunos. O LD permanece sempre presente, pois em alguns casos esse é o único material disponível para ser utilizado em sala de aula (LAJOLO, 2008).

Considerando a importância e dificuldades existentes na aprendizagem no ensino de Química, este trabalho teve como finalidade enfatizar a importância da HC no ensino de Química e analisar especificamente a história do desenvolvimento dos modelos atômicos, nos LDs, considerando que o conhecimento sobre a definição, constituição e modelo de átomo são requisitos imprescindíveis para a compreensão dos conteúdos que gradativamente serão abordados na componente curricular Química. Para isso, foram analisadas as abordagens históricas que são apresentadas nos livros didáticos e os fatos históricos que são omitidos, bem como a realização de uma análise crítica sobre a presença e ausência de fatos históricos no contexto do ensino de modelos atômicos. Essa proposta busca desmistificar o caráter neutro e “consolidado configurado nos livros didáticos para o tema modelos atômicos” (MOURA; GUERRA, 2016, p.798).

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A importância da história da ciência na Educação Básica

De acordo com Martins (2006) a HC, apresentada nos LDs, se preocupa com aspectos relativos a resultados experimentais e a exposição de conceitos, mas não consideram o processo por trás do desenvolvimento das teorias. Tal processo envolve o contexto na qual os cientistas trabalharam, as disputas e contendas entre esses pesquisadores, incluindo as motivações para o estudo em determinado campo da Ciência. Esses são alguns dos aspectos pertinentes para remontar a forma como a Ciência foi conduzida e transformada ao longo dos anos.

Ainda, o mesmo autor acrescenta que “a História das Ciências não pode substituir o ensino comum das Ciências, mas pode complementá-lo de várias formas” (MARTINS, 2006, p.21), através das narrativas históricas, pode-se compreender a Ciência como empreendimento humano, carregado de valores sociais e culturais da época, mostrando que a Ciência não é pronta e acabada, não segue uma sequência cronológica e não apresenta uma verdade absoluta e inquestionável (MARTINS, 2006).

Essas características, podem contribuir para o ensino-aprendizagem na Educação Básica, conforme vários pesquisadores defendem (MOURA e GUERRA, 2013; MARTINS, 2006; LEITE, 2002; FORATO, PIETROCOLA e MARTINS, 2011; MATTHEWS, 1995; CACHAPUZ et al.,2005), pois conhecer o desenrolar dos fatos históricos na construção de um conceito ou teoria, permite desenvolver no aluno um pensamento crítico e reflexivo, aproximando-o do contexto da CTS. Matthews (1995, p.172,173) ainda acrescenta mais sete motivos da importância de inserção da História da Ciência no contexto escolar, conforme descrito a seguir:

- (1) motiva e atrai os alunos;
- (2) humaniza a matéria;
- (3) promove uma compreensão melhor dos conceitos científicos por traçar seu desenvolvimento e aperfeiçoamento;
- (4) há um valor intrínseco em se compreender certos episódios fundamentais na história da ciência - a Revolução Científica, o darwinismo, etc.;
- (5) demonstra que a ciência é mutável e instável e que, por isso, o pensamento científico atual está sujeito a transformações que
- (6) se opõem a ideologia cientificista; e finalmente, (7)

a história permite uma compreensão mais profícua do método científico e apresenta os padrões de mudança na metodologia vigente.

Além de beneficiar os alunos, a HC pode desempenhar um papel fundamental na prática pedagógica do professor, desde que seja fornecida condições para que este tenha formação sobre a HC, pois as evidências apontam que a falta desse conhecimento torna o professor dependente do LD para ensinar em sala de aula (LEITE, 2002).

Por esse motivo, o LD deve contemplar uma abordagem que leve o aluno a perceber o caráter temporário da Ciência, compreendendo que o surgimento de diferentes modelos científicos se deve a necessidade de explicar novos fenômenos que foram sendo descobertos, isso sem excluir o modelo anterior, mas aprimorando-o ou propondo outro modelo, como é o caso das representações acerca da constituição do átomo (LIND, 1980 apud LEITE, 2002).

2.2 A história do desenvolvimento dos modelos atômicos nos livros didáticos

Nas escolas públicas, a distribuição dos livros didáticos ocorre por meio do Programa Nacional do Livro Didático (PNLD) executado pelo Ministério da Educação (MEC). O MEC é o responsável por lançar o edital para inscrição de livros didáticos, com requisitos pré-estabelecidos. Após a seleção e posterior aprovação por uma equipe técnica especializada, segue para a etapa de escolha do professor, que mediante os critérios presentes em legislações educacionais e descritos na Ficha de Avaliação que compõe o Guia de Livros Didáticos do Ensino Médio, escolhem uma dentre as 6 coleções de livros aprovadas, para serem utilizadas no próximo triênio (BRASIL, [s.d]). Algumas pesquisas foram realizadas tendo por investigação os livros didáticos com foco na análise de modelos atômicos dentre elas, pode-se citar: Chaves (2011), Moura e Guerra (2013) e Moura (2014).

Em seu trabalho, Chaves (2011) aponta para uma análise da história dos modelos atômicos nos livros didáticos do Programa Nacional do Livro Didático no Ensino Médio (PNLEM) de 2007, buscando identificar as visões de Ciências a partir do conteúdo histórico apresentado em cada livro. Os resultados revelaram que o tratamento histórico abordado nos livros é superficial não mostrando a dimensão histórica das Ciências, além do mais foram encontradas divergências históricas nos livros analisados. Concluindo que, a maioria dos LDs corrobora para uma interpretação de Ciência como descontextualizada, dogmática e linear.

Na pesquisa de Moura e Guerra (2013) foram analisadas as controvérsias no contexto da História e Filosofia da Ciência (HFC) em livros didáticos do PNLEM de 2012. Ainda, realizou-se um levantamento quantitativo sobre as obras comumente selecionadas e destinadas as escolas públicas. Os resultados indicaram que, nenhum dos livros investigados fazem menção às controvérsias que ocorreram no campo científico para a elaboração das teorias dos modelos atômicos e ressalta que o livro com maior percentual de distribuição nas escolas é justamente o livro que quase não apresenta evidências da HFC, motivo que pode ser justificado pela escolha dos professores.

Moura (2014) propõe em seu trabalho a elaboração de uma sequência didática (SD) histórico-filosófica dos modelos atômicos para discutir em sala de aula, e posteriormente comparar com a abordagem empregada na obra utilizada por alunos do 1º ano do Ensino Médio. Os resultados mostraram que o relato de alguns modelos no LD se distanciam dos fatos históricos na medida em que distorce detalhes importantes para a compreensão dos mesmos, a exemplo do modelo de Rutherford compondo-se de prótons, além de introduzir analogia incoerente, destacando-se o modelo de Thomson com a analogia de pudim de passas.

Portanto, partindo da premissa de que os LDs omitem informações históricas que são importantes para a construção dos modelos atômicos foi realizada uma revisão de literatura que contemplasse os dois momentos históricos no desenvolvimento da atomística, um precedido a criação do laboratório de Cavendish e outro posterior à criação do laboratório. O motivo para tal escolha se deve a influente repercussão deste laboratório no campo de pesquisas sobre a estrutura atômica, do qual foi palco de pesquisas de vários químicos e físicos entre eles, Joseph John Thomson, Hantaro Nagaoka, Ernest Rutherford, John William Nicholson e Niels Bohr (MELZER; AIRES, 2015).

Destaca-se que a dimensão extensa e a complexidade da HC envolvendo a participação de vários cientistas, a integração entre as diversas áreas de conhecimento da Química e da Física e as disputas entre diversos pesquisadores foram delimitados na perspectiva da construção dos modelos atômicos, que é o foco desta pesquisa. Assim, para delinear a história do desenvolvimento dos modelos atômicos, foram utilizados para essa investigação fontes secundárias, destacando-se algumas: Lappert; Murrell, (2003), Sievers (1982), Griffiths (1997), Kragh (2002), Fiolhais e Ruivo (1996), Downard (2007), Neto (2017), Viana (2007) e Lopes (2009), e fontes primárias: Dalton (1802, 1806, 1808, 1834);

Thomson (1897, 1904, 1907, 1936); Nagaoka (1888, 1904); Rutherford (1899, 1911, 1914, 1920); Bohr (1913a, 1913b, 1913c).

2.3 A história do desenvolvimento da teoria atômica.

2.3.1 Período anterior ao laboratório de Cavendish

O desenvolvimento da teoria atômica se divide em dois momentos: o primeiro, anterior ao laboratório de Cavendish e o segundo, posterior ao laboratório. Esse laboratório, localizado na Universidade de Cambridge foi criado em 1870 (OESPER, 1976), em homenagem ao químico e físico Henry Cavendish, que era conhecido pela sua seriedade e precisão nos trabalhos em laboratório. Dedicou a sua vida desenvolvendo a aparelhagem para o laboratório de Física e estudando o comportamento dos gases (ARAGÃO, 2008). Suas pesquisas se destacaram no campo da eletricidade e um dos seus maiores feitos foi a descoberta do gás hidrogênio e gás carbônico do qual foi uma revolução no meio científico (MARTINS, 1972). Ainda contou com o apoio de Jean Clerk Maxwell que se tornou o primeiro professor responsável pelo laboratório (OESPER, 1976), na ocasião, trabalhando com eletromagnetismo (ARAGÃO, 2008).

O interesse por esse laboratório não estava apenas na quantidade de prêmios Nobel conquistados pelos seus renomados pesquisadores, mas sim pelos períodos de dificuldades enfrentadas para trazer respostas concretas às demandas da sociedade da época. Para tanto, cada gestor que no decorrer da história foi assumindo a cátedra buscou investimentos, melhorando a qualidade do ensino e criando diretrizes para o acesso de jovens graduados e pós-graduados. Com o apoio e a colaboração dos cientistas ali presentes, foi possível expandir e intensificar a produtividade das pesquisas, que por sua vez, tornou-o um reverente centro de pesquisas em física experimental (KIM, 1995).

Diante do exposto e considerando o período anterior à construção do laboratório de Cavendish se faz necessário resgatar alguns conceitos que embasaram o desenvolvimento do atomismo na Antiguidade e como estes influenciaram alguns cientistas na proposição da teoria corpuscular, que inspirou Dalton nos seus estudos sobre o átomo.

Desde os primórdios, o homem sentiu a necessidade de compreender como tudo era feito e do que seria constituído. Nesse sentido, uma das primeiras civilizações a pensar nessa questão foi a grega, destacando-se as concepções de Tales de Mileto (cerca de 624 a.C.- 547 a.C.) da qual observou que tudo a sua volta era composto por água, a exemplo dos alimentos e

dos germes, concluindo que a água era a base de todo Universo (BORNHEIM, 1998). Já para Anaxímenes (cerca de 585 a.C. - 528 a.C.) o ar é o principal constituinte de todas as coisas, pois as mudanças de estado físico da matéria proporcionava a obtenção de tudo que há no planeta (BORNHEIM, 1998), enquanto que para Heráclito (V a.C.) o fogo era a essência de tudo. Seu pensamento estava fundamentado no Logos, reconhecendo o fogo como fonte de luz que ao queimar transforma os materiais nos demais componentes da natureza (SANTOS, 1990).

Também os filósofos pré-socráticos Leucipo (430 a.C. – ? a.C.) e Demócrito (460 a.C – 370 a.C), buscaram compreender as transformações ocorridas na natureza propondo que o Universo seria formado por “infinitos entes minúsculos, incriáveis e indestrutíveis, denominados átomos” (PORTO, 2013, p. 4601-4602), dos quais possuíam diferentes formatos e combinavam-se no espaço, originando tudo o que se conhecia. Essa foi a primeira idealização de átomo da época (PORTO, 2013).

Epicuro (341 a.C – 271 a.C), instigado pelo movimento de queda dos objetos, supôs que uma propriedade intrínseca ao átomo seria o peso, do qual possibilitaria explicar os choques entre os átomos quando submetidos a uma série de movimentos, que por sua vez, justificariam os arranjos entre estes (PORTO, 2013).

Entretanto, Aristóteles (384 a.C. - 322 a.C) discordava dessa teoria, primeiro por desprezar a ideia de vácuo, pois para ele a matéria é contínua, e segundo, por crer, no pressuposto defendido por Empédocles de, que os elementos indispensáveis (fogo, ar, terra e água) integram toda a matéria (GREENBERG, 2009). Estes, por sua vez, possuíam qualidades que ao serem combinadas resultavam na constituição de cada elemento. Por exemplo, “seco + frio = terra; seco + quente = fogo; úmido + frio = água e úmido + quente = ar”. (NEVES; FARIAS, 2011, p. 34)

Além disso, os conhecimentos alquímicos passaram a fazer parte da sociedade da época, com o objetivo de garantir a imortalidade aos humanos por meio do elixir da vida longa (substância capaz de prolongar a vida das pessoas) e também a procura incessante pela pedra filosofal (NEVES; FARIAS, 2011), “substância capaz de transmutar metais nobres em ouro” (NEVES; FARIAS, 2011, p. 25).

As práticas misteriosas regadas de misticismo, foram alvos de perseguição pela Igreja que as considerava como atos de bruxaria e os seus praticantes como hereges, caso fossem descobertos os alquimistas poderiam sofrer duras punições, entre as quais a de serem

queimados na fogueira. Além do mais pessoas mal intencionadas queriam se apropriar da sabedoria dos alquimistas para benefício próprio (CHASSOT, 1995). Por esses motivos os conhecimentos alquímicos eram mantidos em segredo, e não se sabe ao certo sobre as suas origens, mas alguns nomes se destacaram por suas contribuições, como: Nicolau Flamel, Maria (a judia), Alberto Magno, entre outros (NEVES; FARIAS, 2011).

Já outros filósofos, como: Gassendi, Boyle e Newton defendiam a teoria das partículas (VIANA, 2007). Pierre Gassendi (1592-1655), sacerdote católico, defendia que o átomo era criação Divina e que seus movimentos estavam sob o controle de Deus, de modo que por meio da vontade Dele se originou o mundo. Isso permitiu uma ampliação e disseminação da visão atomística para a sociedade da época que rejeitava o atomismo ateu dos gregos (FILGUEIRAS, 2004).

De modo similar a Aristóteles, Descartes (1560-1650) desconsiderava a existência do vazio admitindo dois princípios: o da extensão e o do movimento, o primeiro se referia a ideia de que a matéria seria contínua, já o segundo aos movimentos que são conduzidos por uma substância presente nos corpos chamada de éter. Esses princípios podem ser interpretados pelas leis matemáticas, ao mesmo tempo não concordava com a teoria das qualidades proposta por Aristóteles (GREENBERG, 2009).

Robert Boyle (1626 - 1691), considerou que as propriedades das substâncias eram definidas por um aglomerado de partículas mínimas da qual ele denominou de *mínima naturalia*. Nos experimentos realizados, Boyle não observou traços do éter, de modo a aceitar a existência de espaços vazios entre as partículas (VIANA, 2007).

Apesar dos esforços de Boyle, apenas no final do século XVII, Isaac Newton - por meio da teoria corpuscular - conseguiu articular a experimentação com as leis matemáticas, utilizando-se das leis universais a nível macroscópico para explicar os fenômenos microscópicos, concluindo que existe uma força entre as partículas que varia conforme a distância entre elas (VIANA, 2007).

Fleming (1974) afirma que Newton, em seus estudos sobre os gases, constatou que para tentar manter as partículas de gases relativamente próximas seria necessário reduzir o volume ocupado por elas, deste modo só ocorreriam mudanças caso as condições do sistema fossem alteradas, concluindo que a força de repulsão entre as partículas era inversamente proporcional a distância.

Com o declínio da Igreja e a ascensão da burguesia no século XVIII, a teoria corpuscular elaborada por Newton e Boyle foi reconhecida como atomismo e os trabalhos de Newton impactaram a comunidade científica e filosófica da época, cuja divulgação e disseminação ocorreu na Grã-Bretanha (VIANA, 2007).

2.3.1.1 John Dalton (1766-1844)

A história de Dalton é extensa e surpreendente, pois através de seus estudos, abriu-se um leque de possibilidades e investigações a respeito do átomo, contudo muitos de seus registros foram perdidos na Segunda Guerra Mundial. Os poucos documentos que restaram não seguem uma sequência e alguns não apresentam a data (NASH, 1956).

Melzer e Aires (2015) reiteram que a idealização da teoria atômica de Dalton percorre dois estágios: no primeiro, a sua proposta é baseada na teoria corpuscular de Newton; já no segundo, consideram-se os trabalhos desenvolvidos sobre a teoria das misturas gasosas da qual foi alvo de debates e considerações. Essas teorias levaram Dalton a reflexão e a integração da teoria corpuscular newtoniana com a afinidade química.

John Dalton, nasceu em 5 de setembro de 1766. A história desse renomado cientista teve início na Inglaterra, em Eaglesfield, um pequeno povoado localizado na cidade de Cumbria, morava em um humilde casebre junto com a sua mãe Deborah e seus dois irmãos, Jonathan e Mary, a única fonte de renda da sua família era proveniente do trabalho de seu pai, Joseph, que era tecelão (LAPPERT; MURRELL, 2003).

William Charles Henry, filho de William Henry, amigo de Dalton, relata sobre a vida e os trabalhos desenvolvidos por ele em seu livro *Memoirs of the life and scientific researches of John Dalton*. Segundo William Charles, Dalton foi influenciado pelo seu avô para entrar na Sociedade dos Amigos (uma associação religiosa conhecida como *quakers*) (HENRY, 1854). Nesta sociedade conheceu pessoas notáveis como o matemático e meteorologista Elihu Robinson e o professor John Fletcher com os quais teve aula, (LAPPERT; MURRELL, 2003) e que perceberam que Dalton demonstrava ser autodidata e perseverante na resolução de problemas complexos (HENRY, 1854).

Dalton, com 12 anos de idade, já trabalhava em uma escola fundada por ele nos fundos de sua casa, para ajudar financeiramente sua família, não obtendo êxito nessa iniciativa, se muda para Kendal e passa a lecionar em uma escola *quakers*, conciliando seu trabalho com os estudos em matemática e filosofia natural. Demonstrando, logo de início, interesse pela área

de meteorologia, sendo orientado por seu professor John Gough a registrar diariamente as mudanças climáticas (LAPPERT; MURRELL, 2003).

Anos mais tarde, atuou como docente nas disciplinas de Filosofia e Matemática em Manchester, (FILGUEIRAS, 2004) e em seu livro intitulado: *Meteorological Observations and Essays* tratou de assuntos relacionados aos fenômenos meteorológicos, incluindo um de seus estudos envolvendo o vapor de água, em que Dalton acreditava que este não estava quimicamente combinado com outros gases presentes na atmosfera, mas comportava-se como um fluido disperso (DALTON, 1834).

Dalton realizou vários estudos envolvendo a difusão dos gases, pois acreditava veementemente que a combinação destes não era um processo químico. A questão é: o que levou Dalton a concluir que não se tratava de uma combinação química? Ele realizou experimentos para chegar a tal constatação ou foram apenas ideias intuitivas? O próprio Dalton afirmou que para ele uma combinação química ocorreria se os gases que são os materiais de partida alterassem suas propriedades, formando novas substâncias que podem ser sólidas ou líquidas, dependendo da natureza de cada gás (DALTON, 1802).

Tal argumentação era clara em seus experimentos. Ao combinar gás amoníaco e ácido muriático (atualmente conhecido como ácido clorídrico), uma substância sólida era formada. Da mesma forma, ao misturar vapor de água com gás amoníaco uma substância líquida era obtida, contudo essa explicação não se aplicava em todos os casos, pois em algumas situações Dalton observava que não ocorria mudança nas propriedades dos gases misturados, de modo que influenciado pelos trabalhos de Newton, propõe uma segunda hipótese para explicar a combinação entre esse últimos (DALTON, 1802).

De acordo com Viana (2007), a teoria corpuscular newtoniana foi relevante para Dalton buscar explicações sobre a composição dos gases na atmosfera, nesse sentido suas primeiras interpretações foram baseadas na questão 23 do livro *Principia*, na qual Newton afirmava que havia uma força de repulsão entre as partículas que variava conforme a distância entre elas. Dessa forma, Dalton pressupõe que “quando dois fluidos elásticos indicados por A e B são misturados, não há repulsão mútua entre suas partículas; isto é, as partículas de A não repelem as de B, como eles fazem um ao outro” (HENRY, 1854, p.31, tradução nossa)¹.

¹ “When two elastic fluids, denoted by A and B, are mixed together, there is no mutual repulsion amongst their particles; that is, the particles of A do not repel those of B, as they do one another.”

Para justificar essa hipótese, Dalton, com base na concepção newtoniano, admitia que os gases se comportavam como fluidos e que estes atuavam de modo independente, ou seja, como se existisse apenas um gás, assim não poderia ocorrer uma combinação química. (FLEMING, 1974). Contudo, Dalton foi bastante criticado por seus contemporâneos Berthollet, Gough, Murray (HENRY, 1854) e especialmente pelo químico Thomas Thomson, que mais tarde se tornaria adepto da teoria daltoniana, ao saber dos estudos de solubilidade dos gases em água e de outras investigações que conduziram ao desenvolvimento da teoria de Dalton (VIANA, 2007).

Thomas Thomson, afirmava que em um recipiente os diferentes gases estão dispostos conforme a sua densidade e não há forças de atração e nem repulsão atuando entre eles. Ainda outra refutação foi relacionada a ideia de considerar um gás como vazio frente a outro, isso para Thomson era inadmissível, uma vez que os experimentos apontavam que cada gás ocupa uma medida do espaço em um recipiente. Thomas alegou que as hipóteses de Dalton não tinham cunho experimental, foram apenas deduções, logo colocava em risco a validade dessa hipótese (DALTON, 1808).

Apesar disso, Dalton defendia obstinadamente as teorias mecanicistas. Segundo Nash (1956), Dalton, em 1803, investigava os efeitos da solubilidade de gás em água considerando os fenômenos mecânicos, e as condições do sistema em termos de temperatura, pressão e a natureza do gás. Contudo, seus experimentos com diversos gases, a exemplo dos gases oxigênio, hidrogênio, azoto (atualmente denominado como gás nitrogênio) entre outros, resultaram em diferentes valores de solubilidade, o que não era esperado para um sistema mecânico. Assim, Dalton raciocinou da seguinte maneira:

“Estou quase convencido de que a circunstância depende do peso e do número de partículas finais dos vários gases: aqueles cujas partículas são mais leves e são menos absorvíveis, e os outros são mais elevados em peso e complexidade.”(NASH, 1956, p.110,111, tradução nossa)².

Dessa forma, Dalton percebeu que um gás em contato com um volume de água resultaria em uma quantidade de gás absorvida em determinadas proporções pela água (DALTON, 1806). Em vista disso, Dalton necessitava descobrir os pesos relativos das partículas que compõem os gases. Sua dificuldade inicial era como calcular essas massas, no entanto, considerou o hidrogênio como elemento padrão e calculou as massas dos demais em

² “I am nearly persuaded that the circumstance depends upon the weigh and number of the ultimate particles of the several gases: those whose particles are lightest and single being least absorbable, and the others more according as they increase in weight and complexity.”

função desse elemento padrão. (OKI, 2009). Neste caso, utilizou um modelo de combinações baseado nas proporções 1:1 conhecida como “regra da simplicidade” que permitiria a predição de fórmulas químicas, por meio da combinação de dois átomos diferentes, resultando em um binário. Essa regra se estendeu para os compostos em que há mais de um átomo igual, sucedendo em uma cadeia de várias combinações, (por exemplo: 1:2, 1:3 e assim por diante). Portanto, essas proposições posteriormente ficariam conhecidas como lei das proporções múltiplas (OKI, 2009).

Torna-se imprescindível destacar que Dalton trabalhou juntamente com William Henry (1774-1836), em meados de 1802, nas investigações sobre o fenômeno da solubilidade dos gases em água, embora com objetivos diferentes, pois Henry já pesquisava sobre a fabricação de água gaseificada. Ambos conseguiram esclarecer a ocorrência de combinações químicas ou misturas físicas nas dissoluções dos gases em água (VIANA, 2007).

Para tal finalidade, a descoberta anunciada por Henry, foi primordial para sanar as dúvidas de Dalton, uma vez que comprovou que a solubilidade de um gás dissolvido na água é proporcional a pressão do gás, por isso alguns gases apresentavam solubilidades distintas, isso significava que cada gás possui uma pressão parcial, logo em uma mistura gasosa a pressão total é resultante da soma das pressões parciais. Esse postulado ficou conhecido como lei das pressões parciais (DALTON, 1808).

Por outro lado, o fato de Henry ter apoiado Dalton em sua teoria, não agradava John Gough, pois esse entendia que a solubilidade de gases em água só poderia ser elucidada por efeitos puramente químicos e não físico como os dois pesquisadores esclareciam (DALTON, 1808).

Dalton (1808) ao observar os resultados experimentais alcançados por Henry, verificou que gases mais densos possuíam maior solubilidade, pois um de seus componentes com maior massa seria o mais solúvel em água, como era o caso do óxido nitroso (N_2O). Já para o gás de óxido nítrico (NO_2), não ocorre o mesmo, pois quando em contato com a água nota-se o efeito da combinação química, pois há alteração das suas propriedades, obtendo-se ácido nítrico.

Para Nash (1956), Dalton explicou que a solubilidade dos gases estava relacionada com a proporção dos mesmos em uma reação química, o que conseqüentemente fornecia base

para a constituição das fórmulas químicas das substâncias, dessa forma Dalton calculou proporção mássica do nitrogênio e do oxigênio, conforme o exemplo a seguir:

[...] as proporções em massa determinadas por Lavoisier para a água, constatamos que a água apresenta uma proporção em massa de 15 g de hidrogênio para 85 g de oxigênio, ou seja, 1 g de hidrogênio para 5,66 g de oxigênio [...]. Dessa forma, um átomo de oxigênio deveria ter uma massa atômica relativa igual a 5,66 (5,66 vezes maior que o padrão). Seguindo o mesmo raciocínio, como a proporção em massa da amônia (determinada por Austin) é de 20 g de hidrogênio para 80 g de nitrogênio, ou seja, 1 g de hidrogênio para 4 g de nitrogênio, logo o nitrogênio possuiria uma [massa] atômica relativa igual a 4. A partir dessas massas atômicas relativas (principalmente a do oxigênio, o qual se encontra presente em um número maior de compostos) outras massas atômicas relativas foram propostas (VIANA, 2007, p.49).

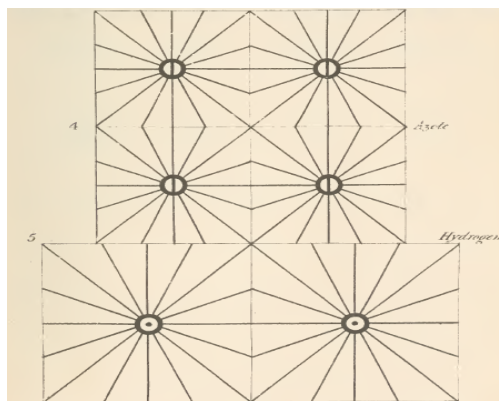
A partir dessas massas atômicas, Dalton conseguiu obter a fórmula química para alguns gases a exemplo do dióxido de nitrogênio (NO_2) e óxido nitroso (N_2O). Em meio a tantas pesquisas realizadas por Dalton, a seguinte questão ficava em aberto: porque em um processo de difusão de um gás em outro, resultava em uma mistura homogênea para gases com átomos diferentes, porém em alguns casos isso não acontecia, o que poderia ser? (DALTON, 1808).

Dalton, novamente retoma suas concepções sobre o efeito da repulsão, mas dessa vez adotando o conceito de calórico, assunto que já era unânime entre os pesquisadores de sua época que afirmavam que esse era o causador da repulsão entre as partículas. Esse calórico seria uma substância fluida que envolveria cada átomo como uma “atmosfera”, ou seja, o átomo seria constituído por um centro de tamanho variável e circundado por uma atmosfera de calórico. O balanço desse calórico era o responsável pelos fenômenos da atração e repulsão. Para Dalton, quando se tem pouco calórico os corpúsculos tendem a se unir formando moléculas e agregados atômicos vislumbrando o que seria o estado sólido. Quando se tem um equilíbrio entre calórico e afinidade há o estado líquido da matéria onde não há repulsão e nem atração, mas um híbrido entre as duas formas. Entretanto, no estado gasoso, o átomo pode liberar uma quantidade enorme de calórico enquanto a afinidade é zero. Nesse estado, a repulsão é máxima gerando as formas gasosa observadas na atmosfera (NETO, 2017).

Para ilustrar, a Figura 1 apresenta a repulsão entre átomos iguais, nota-se que tanto o azoto (nitrogênio) como o hidrogênio ao serem misturados cada um com sua própria espécie, ocorre repulsão devido ao tamanho de seus calóricos serem iguais, já quando se mistura azoto

com hidrogênio ocorreria uma combinação química, pois o tamanho de seus átomos são diferentes (DALTON, 1808).

Figura 1 - Representação da repulsão entre as atmosferas de calórico do azoto (nitrogênio) e do hidrogênio.



Fonte: Dalton (1808, p.565)

A proposta de modelo atômico de Dalton, não foi aceita de imediato, pois diversos fatores de cunho ontológico e epistemológico estavam relacionadas a idéia de átomo, especialmente sobre a sua existência e a utilização da teoria atômica para explicar resultados experimentais (PEREIRA e SILVA, 2017; OKI, 2009). Além disso, novos fenômenos que foram surgindo naquela época, a exemplo da natureza elétrica da matéria, que não eram explicados pela proposta de Dalton. Para tentar explicar esses novos fenômenos surgem novas propostas de seus sucessores, como por exemplo Lord Kelvin que trabalhava com J.J. Thomson no laboratório de Cavendish (NETO, 2017).

2.3.2 Período posterior ao laboratório de Cavendish

2.3.2.1 Joseph John Thomson (1856-1940)

Outro cientista, que viria a ter seu nome reconhecido mundialmente foi Joseph John Thomson, nascido em 18 de dezembro de 1856 em Cheetham, localizado na Inglaterra, filho de Emma Swindells e do modesto livreiro Joseph James Thomson. As dificuldades financeiras de sua família levaram Thomson a ter uma parte da sua vida escolar sustentada pelas amigas de sua mãe. Anos depois foi encaminhado à escola dos irmãos Townsend, onde demonstrou bastante facilidade com as disciplinas de exatas, especialmente em Matemática (GRIFFITHS, 1997).

Mas seu futuro mesmo era ser engenheiro, a Física foi apenas um acaso em sua vida, pois era o desejo de seu pai que ele trabalhasse na locomotiva a vapor Sharp-Stewart & Co uma das maiores companhias de fabricação de trem, porém esta corporação tinha uma imensa lista de espera. Então, um amigo da família sugeriu que Thomson estudasse na Owens College até a empresa convocá-lo e foi o que seu pai fez (GRIFFITHS, 1997). Assim, Joseph John Thomson ingressou no curso de engenharia da Owens College, contudo, ao final do segundo ano de curso, seu pai veio a falecer e Thomson quase desistiu do curso porque sua mãe não tinha condições de pagar, até que ele conseguiu uma bolsa de estudo e resolveu concluir os estudos (THOMSON, 1936).

Nos anos em que estudou no colégio, ele demonstrou interesse pela Física principalmente nos temas acerca da teoria do vórtex e do campo magnético, como também foi fortemente influenciado pelas pesquisas de Dalton sobre a teoria atômica (THOMSON, 1936).

Em 1875, Thomas Baker, observando o excelente desempenho de Thomson incentiva-o a tentar uma bolsa de estudos no Trinity College em Cambridge, uma das universidades mais reconhecidas da Inglaterra. Porém, em sua primeira tentativa não consegue, pois concentrou seus estudos em conteúdos que não foram incluídos na prova. Ao tentar novamente é aprovado e dá sequência aos seus estudos em Física e Matemática (LOPES, 2009). Durante esses anos era perceptível sua habilidade para interpretar situações-problemas e realizar deduções. Foi nessa instituição que participou de palestras no campo da Física e da Matemática Pura das quais obteve mais conhecimento acerca das teorias de Maxwell sobre eletromagnetismo, que foi inspiração para seu estudo sobre a estrutura atômica (GRIFFITHS, 1997).

Após finalizar seus estudos em 1880, ingressa como pesquisador no Laboratório de Cavendish, tendo como exigência da bolsa de estudos o desenvolvimento de uma dissertação, cujo tema envolvia a energia e suas transformações em diversos sistemas (GRIFFITHS, 1997). Ainda instigado pelos estudos de William Thomson (conhecido como Lord Kelvin) sobre a matéria ser composta por anéis de vórtices, que são formados por uma substância, conhecida como éter, cujo movimento varia de acordo com a força elétrica aplicada sobre este (KRAGH, 2002; LOPES; MARTINS, 2009).

Contudo, sua proposta de átomo vortex sofreu severa oposição de Wilhelm Ostwald, pois não conseguia explicar as reações entre os gases, o que não agradou a Thomson. Após esse conflito Ostwald que era um cientista antiatomista (rejeitava as idéias corpuscularistas

defendida pelos ingleses), não faz menção a essa teoria em seus trabalhos, e continua explicando os fenômenos químicos com base no conceito de energia e em suas transformações (KRAGH, 2002).

Nessa época, a teoria de vortex era parte da monografia de Thomson, que demonstrava-se desinteressado em tratar deste assunto, pois não conseguia explicar determinados fenômenos (KRAGH, 2002). Então surge uma nova proposta de modelo atômico adaptada do átomo de vortex, fundamentado nos pressupostos do tubo de Faraday, ou seja, a depender da direção de giro desse tubo, o átomo pode adquirir uma carga elétrica (KRAGH, 2002; LOPES; MARTINS, 2009).

Enquanto isso, as investigações sobre os raios catódicos eram objetos de estudos de vários cientistas. Em seu livro *The corpuscular theory of matter* publicado em 1907, fruto de várias palestras que o próprio Thomson ministrou na *Royal Institution* em 1906, fornece mais detalhes sobre a descoberta dos corpúsculos, relatando que seu experimento consistia na aplicação de uma descarga elétrica em um tubo de vidro contendo um gás rarefeito, a qual produzia um raio luminoso nas paredes do tubo, o que indicava que esse raio era proveniente do cátodo (eletrodo negativo). Esse foi um dos primeiros experimentos que possibilitaram a constatação de corpúsculos (THOMSON, 1907).

Thomson reproduziu o experimento de William Crookes aplicando uma descarga elétrica em um ampola de vidro, no qual em seu interior continha um objeto no formato de uma cruz para tentar obstruir a passagem dos raios, assim observou que os raios seguiam em linha reta atingindo a cruz que, por sua vez, formava uma sombra no fundo do tubo confirmando que esse raio luminoso era gerada pelos raios catódicos (THOMSON, 1907).

Outros cientistas investigaram os raios catódicos, dentre eles Jean Baptiste Perrin e Heinrich Hertz. Perrin foi o primeiro a realizar experimentos buscando comprovar que a carga dos raios era negativa, contudo a grande discussão estava em saber se esses raios eram constituídos por alguma carga elétrica (partículas) (THOMSON, 1897). Uma vez, que a experiência de Perrin levantava dúvidas, pois quando submetidos a uma força externa (campo magnético) não era identificada a carga elétrica no feixe (raios), mas quando nenhuma força magnética era aplicada, identificava-se à presença de carga negativa por meio de um dispositivo de medição chamado eletrômetro (THOMSON, 1897).

Nesse sentido, a fim de evitar embaraços, Thomson fez adaptações no experimento de Perrin, chegando a conclusão de que a alteração do percurso dos raios provocada por um

campo magnético indicava que a “eletrificação negativa está indissolúvelmente conectada aos raios catódicos”.(THOMSON, 1897, p.295, tradução nossa)³

Assim, já que os raios provenientes do cátodo são constituídos de cargas negativas, Heinrich Hertz questionou porque que a baixas tensões não era visto desvio. Dessa forma, Thomson reproduziu o experimento de Hertz, em uma ampola de vidro, quando os raios do cátodo passam por duas placas de alumínio energizadas por uma bateria, não há desvio do feixe. Entretanto, ao repetir o experimento várias vezes, constatou que condutividade é inversamente proporcional a pressão do gás, logo a baixas pressões o feixe não sofreria desvio. Mas quando aplicava uma voltagem maior percebia-se que o feixe era desviado no sentido da placa que estivesse ligada ao pólo positivo da bateria (THOMSON, 1897).

Após realizar mais uma série de experimentos não restava dúvidas para Thomson de que esses raios eram formados por partículas de carga negativa. Assim já se sabia a origem dessas partículas e também que elas possuíam uma carga elétrica negativa, agora faltava saber se essas partículas eram subatômicas ou eram átomos? Para responder a essa pergunta, Thomson prossegue com os estudos para determinar a razão entre a carga e a massa dessas partículas. Novamente realizou vários experimentos utilizando três ampolas de vidro de formatos diferentes, com três gases, sendo estes o gás hidrogênio, ar e o gás carbônico, utilizando o eletrodo negativo constituído de diferentes metais, a exemplo, do cobre, alumínio, ferro, platina, entre outros (THOMSON, 1897).

Os resultados obtidos indicaram que a razão carga e massa dessas partículas não dependiam da composição dos eletrodos, nem dos gases utilizados e muito menos da pressão desses, pois os valores eram sempre os mesmos, inclusive sua massa era menor do que a do átomo de hidrogênio (THOMSON, 1897; THOMSON, 1907). Deste modo, essas partículas menores estariam presentes na estrutura da matéria de todo e qualquer elemento, reconhecendo que se tratava de partículas subatômicas as quais Thomson denominou de corpúsculos (THOMSON, 1897).

Essa descoberta forneceu base teórica para a investigação do elétron realizada por FitzGerald que estudava a razão entre a carga e a massa deste (FALCONER, 1997), como também conduziu os estudos de Hendrik Antoon Lorentz e Lamor, que buscavam explicar as radiações eletromagnéticas a partir dos elétrons (KRAUGH, 2002). Embora a ideia de corpúsculo fosse rejeitada por alguns físicos (FALCONER, 1997). Essas constatações de

³ “negative electrification is indissolubly connected with the cathode rays”.

Thomson ampliaram a visão da comunidade científica sobre a natureza elétrica da matéria. Com relação ao nome elétron, este surgiu dos trabalhos de George Johnstone Stoney que mais tarde denominou os corpúsculos de elétrons (KRAUGH, 2002).

Em 1904, Thomson começou a estruturar seu modelo atômico, descrevendo o átomo como uma esfera uniforme e positivamente carregada, cuja massa é bem maior que a massa dos corpúsculos (elétrons), dentro dessa esfera há orbitais onde os elétrons estão dispostos, percorrendo uma trajetória circular em alta velocidade nesses orbitais. Cada orbital comporta uma determinada quantidade de elétrons, de modo que “aqueles que contêm um grande número dos corpúsculos estão perto da superfície da esfera, enquanto aqueles em que há um número menor de corpúsculos são mais internos” (THOMSON, 1904, p.255)⁴.

Thomson também estimou que nos orbitais os corpúsculos deveriam estar a uma determinada distância entre si, devido as forças de repulsão (THOMSON, 1904). Para isso, investigou a estabilidade do átomo, calculando a quantidade de elétrons que poderia ter em um orbital, concluiu que “um único anel com mais de 5 corpúsculos era instável, pois o resultado do cálculo da frequência para $n > 5$ é um número não real” (LOPES; MARTINS, 2009, p.6). Com esses estudos Thomson passou a compreender a distribuição eletrônica, as propriedades periódicas, entre outros assuntos na Química (THOMSON, 1907; LOPES e MARTINS, 2009).

Nessa mesma época, avanços no campo da radioatividade já eram divulgados e apesar do modelo atômico de Thomson apresentar estabilidade, sua proposta não conseguia explicar os desvios das partículas alfa observadas nos experimentos de Geiger e Marsden, de modo que Rutherford, percebeu a necessidade de formular um novo modelo de átomo (RUTHERFORD, 1911).

2.3.2.2 Hantaro Nagaoka (1865-1950)

Um nome pouco conhecido e também pouco mencionado nos livros didáticos é o de Hantaro Nagaoka. Físico japonês que trouxe contribuições do seu modelo atômico saturniano, do qual serviu de referência para o desenvolvimento do modelo atômico de Rutherford (FIOLHAIS; RUIVO, 1996).

⁴ “those which contain a large number of corpuscles are near the surface of the sphere, while those in which there are a smaller number of corpuscles are more in the inside”.

Nagaoka viveu em um período conturbado para o Japão, que após intensos anos de segregação buscava restabelecer suas relações políticas com os Estados Unidos e com países da Europa (YUKAWA, 1951). Nasceu em 18 de agosto de 1865, “filho do samurai Jisaburo Nagaoka” (OKUNO; YOSHIMURA, 2010, p. 43). Graduou-se e obteve o título de doutor em Física ambos pela Universidade Imperial de Tóquio, que mais tarde viria a se tornar uma das Universidades mais prestigiadas do Japão (FIOLHAIS; RUIVO, 1996). Em seu artigo revelava ter conhecimento sobre o processo de magnetização já estudado por Thomson e do qual utilizou resultado das pesquisas para desenvolver seu estudo com magnetização de metais (NAGAOKA, 1888).

Nessa época, apesar dos avanços sociais e econômicos, o campo científico ainda era uma realidade distante para o Japão. Tal preocupação levou Nagaoka, a estudar no Ocidente com o objetivo de adquirir conhecimento acerca dos estudos realizados no campo científico e propagar no Japão, além do interesse de formar uma comunidade científica japonesa (FIOLHAIS; RUIVO, 1996).

Estudou com Ludwig Boltzmann sobre o movimento das partículas de um gás (OKUNO; YOSHIMURA, 2010); Boltzman considerava o átomo “como impenetrável e tendo pequenas regiões sensíveis que em contato ou sobrepostas poderiam produzir atração química.” (YAGI, 1964 citado por LOPES, 2009, p.55).

A inspiração de Nagaoka para criação de seu modelo veio das pesquisas de Maxwell que estudava as órbitas do planeta Saturno, como também dos trabalhos desenvolvidos no campo da radioatividade pelo casal Curie e das pesquisas de Henri Poincaré sobre espectros de linha em um átomo (OKUNO; YOSHIMURA, 2010).

A proposta de modelo atômico de Nagaoka surge em oposição a ideia de uma esfera positiva com elétrons circulando dentro da mesma, apresentado por Lord Kelvin (YAGI, 1903 citado por LOPES, 2009). Assim, seu modelo atômico é constituído por uma partícula central de carga positiva, cuja massa é maior que a das partículas que circulam a sua volta. Essas últimas foram designadas pelo próprio Nagaoka como elétrons e possuem a mesma massa entre si, destaca-se que esse modelo não possui orbital, portanto os elétrons devem manter uma distância entre si para evitar os efeitos da repulsão (NAGAOKA, 1904).

Para que o átomo não sofra um colapso, devido às forças de atração entre suas partículas, é necessário que uma intensa força de atração proveniente do núcleo atue sobre os elétrons que, por sua vez, devem circular com velocidades semelhantes entre si, assim seria

garantida a estabilidade do átomo. Porém esse modelo apresentava limitação, pois chegaria um certo ponto em que os elétrons estacionariam em virtude da exaustão da energia radiante, tal consideração também seria apresentada no modelo de Rutherford (NAGAOKA, 1904).

Motoyama (1994) defende o pressuposto de que Rutherford ganhou a fama por um modelo que na verdade era de Nagaoka. Isso porque na era da Restauração Meiji, quando a Ciência japonesa já estava avançada, os superiores da Academia de Ciências do Japão, sabendo da pesquisa de Nagaoka sobre a estrutura atômica, insistiram para que ele desistisse da sua proposta, alegando que os estudos sobre o átomo não eram do campo da Física e, sim da Metafísica, o que fez Nagaoka abandonar seus estudos nesse ramo.

2.3.2.3 Ernest Rutherford (1871-1937)

Ernest Rutherford é um dos mais velhos dentre os 12 filhos de Martha e James Rutherford. Foi criado em uma área rural próxima a cidade de Spring Grove na Nova Zelândia, onde nasceu em 30 de agosto de 1871. Sua mãe cuidava da educação escolar e religiosa de Rutherford e seus irmãos, enquanto que seu pai trabalhava fazendo reparo de rodas em um engenho (DOWNARD, 2007).

A situação humilde na qual Rutherford e sua família viviam exigia que ele e seus irmãos ajudassem tanto nas tarefas domésticas, como nas atividades do campo. Sendo um dos filhos mais velhos, Rutherford, tinha a responsabilidade de cuidar dos irmãos mais novos, cultivar legumes, recolher lenha e tomar de conta de algumas cabeças de gado (DOWNARD, 2007).

Entretanto, a felicidade dessa família não durou por muito tempo, a perda de dois irmãos mais novos de Rutherford, foi devastadora para a sua mãe. Apesar das dificuldades, Rutherford era esforçado e progrediu na vida acadêmica. Ingressou na Nelson College como bolsista, conhecido por sua dedicação nos estudos, era um jovem bastante reservado (DOWNARD, 2007); estudou Física, Química e Matemática (EVE; CHADWICK, 1936).

Formou-se em, Matemática, e em 1895, uma oportunidade ímpar mudou o percurso de Rutherford (LOPES, 2009). Estavam abertas inscrições para bolsa de estudo na Universidade de Cambridge com o intuito de recrutar jovens que possuíam pelo menos a graduação para realizarem pesquisas. Rutherford só foi contemplado na seleção porque o primeiro colocado desistiu da bolsa, sendo assim o primeiro orientando de J.J. Thomson (DOWNARD, 2007).

Os estudos de Rutherford no campo da radioatividade, foram inspirados nas várias descobertas que estavam sendo anunciadas tanto na Alemanha pelo físico Wilhelm Röntgen que descobriu os raios X, como também na França por Henri Becquerel que descobriu o urânio, seguida do polônio e do rádio ambos revelados pelo casal Curie (EVE; CHADWICK, 1936).

Rutherford ao estudar o urânio identificou dois tipos de radiação que segundo ele eram: “uma radiação que é muito prontamente absorvida, que será denominado por conveniência α radiação, e a outra de caráter mais penetrativo, que será denominado de β radiação” (RUTHERFORD, 1899, p. 116, tradução nossa)⁵. Segundo Eve e Chadwick (1936) uma terceira radiação, denominada pelo químico e físico francês Paul Ulrich Villard como raios gama (γ), foi percebida, nos estudos de Rutherford, sendo por sua vez, mais intensa que a radiação beta (β).

Enfatiza-se que a motivação para elaboração do modelo atômico de Rutherford só foi possível devido aos estudos sobre os ângulos de espalhamento das partículas alfa, cujos experimentos realizados foram de autoria de Geiger e Marsden (RUTHERFORD, 1911).

Deste modo, os experimentos de Geiger e Marsden com lançamento de partículas alfa em diferentes e finas chapas metálicas, revelaram que uma pequena parcela dessas partículas sofriam desvios em diferentes direções, e algumas ainda retornavam na mesma direção em que foram lançadas (NETO, 2017). Os resultados obtidos se mostraram positivos para a chapa de ouro, devido ao alto grau de espalhamento e a homogeneidade do ouro, sendo este escolhido para continuar os ensaios experimentais (GEIGER;MARSDEN, 1913 citado por NETO, 2017).

Dessa maneira, uma das primeiras hipóteses foi que ao lançar uma partícula alfa sobre a chapa de ouro o desvio observado poderia ser atribuído a presença de um campo elétrico no átomo de ouro. A segunda hipótese seria a análise dos resultados comparando com o modelo atômico de Thomson, onde foi verificado que o campo elétrico gerado pelos elétrons no átomo seriam insuficientes para fazer as partículas sofrerem alguma reflexão. Dessa forma, Rutherford concluiu que há uma região densa no centro do átomo que era responsável por provocar os desvios observados nos experimentos. É importante destacar que Rutherford, em nenhum momento, diz qual a carga desse centro (RUTHERFORD, 1911).

⁵ “One that is very readily absorbed, which will be termed for convenience the α radiation, and the other of a more penetrative character, which will be termed the β radiation”.

De tal maneira que os resultados das pesquisas não dependem da carga do centro, mas por convenção adotou-se a carga positiva. Assim, o modelo atômico de Rutherford, também conhecido como modelo de átomo nuclear, resumiu-se “a um centro de carga cercada por uma distribuição uniforme” (RUTHERFORD, 1911, p. 10 tradução nossa)⁶, cuja carga elétrica do centro é oposta a carga da atmosfera, não sendo possível prever a estabilidade do átomo naquele momento, mas Rutherford já sabia que a estrutura atômica não era estática (RUTHERFORD, 1911).

O modelo atômico de Thomson por conter uma esfera positiva muito grande produzia desvios mínimos quando comparados com os desvios observados nos experimentos de Geiger e Marsden, de modo a não explicar os desvios desses últimos (RUTHERFORD, 1911; RUTHERFORD, 1914). Para tentar explicar esse fenômeno Rutherford propôs um novo modelo atômico e revela que embora ele não descreva o modelo de Nagaoka no decorrer do artigo, este foi fundamental para pensar em seu modelo atômico (RUTHERFORD, 1911).

De acordo com Lopes (2009) a proposta de modelo atômico de Rutherford não foi adiante, devido a comunidade científica estar preocupada em explicar a estrutura atômica, com base nos elétrons, enquanto que o modelo de Rutherford não mencionava as cargas de seu átomo e não apresentava estabilidade, isto é, estava fora dos interesses dos cientistas da época; assim, seu modelo só foi retomado em 1913 por Niels Bohr.

É válido considerar que o artigo de 1911 propôs o modelo atômico sem definir as cargas tanto da massa central, quanto das partículas ao seu redor, isso fica claro no artigo de 1914 em que Rutherford reconhece a omissão das cargas no seu primeiro artigo e começa a usar o termo núcleo para denominar a massa central do átomo e a atmosfera constituída por elétrons (RUTHERFORD, 1914).

Mas em seu artigo publicado em 1920, Rutherford afirmou que a carga do núcleo é positiva, essa constatação ficou clara quando observou nos experimentos que os maiores ângulos de espalhamento eram obtidos quando as partículas lançadas se aproximavam do núcleo, logo o núcleo é a região onde se concentra a maior massa do átomo e está envolvida por elétrons de carga negativa (RUTHERFORD, 1920).

Além disso, Geiger e Marsden constataram que a partir dos resultados dos desvios das partículas alfa poderia ser calculada o número de cargas positivas presentes no núcleo do átomo, ainda menciona que a igualdade entre o número de cargas positivas e o número de

⁶ “a central charge surrounded by a uniform distribution.”

cargas negativas seria responsável pela neutralidade do átomo, como também menciona sobre o número atômico corresponder a carga do átomo (RUTHERFORD, 1920).

2.3.2.4 Niels Bohr (1885-1962)

Outro cientista pouco mencionado, mas que seu nome aparece com frequência nos artigos de Bohr, é John William Nicholson. Esse jovem astrônomo, estudioso dos corpos celestes, buscava explicar o espectro de linhas dos elementos presentes nesses corpos, se apoiando na teoria de Max Planck, que por sinal foi relevante para as pesquisas de Bohr (NETO 2017). Deste modo, Nicholson, propôs a estrutura atômica de quatro átomos, conforme descrito a seguir:

- (1) Coronium: átomo com um anel com dois elétrons girando ao redor de um núcleo positivo.
- (2) Hidrogênio²⁴⁵: átomo com um centro e um anel com três elétrons girando ao seu redor.
- (3) Nebulium: átomo contendo um único anel com quatro elétrons girando ao redor de um núcleo positivo.
- (4) Protofluorine: átomo com um único anel com cinco elétrons girando ao redor de um núcleo positivo. (NETO, 2017, p.124)

Além disso, conseguiu presumir a existência de outras linhas espectrais que não eram investigadas pelos físicos. Contudo a sua teoria atômica não teve impacto na comunidade científica, porque Nicholson era astrônomo, assim os físicos da época continuaram seus estudos com base no modelo de Thomson (NETO, 2017). A pesquisa de Nicholson lança luz para uma nova proposta de modelo atômico desenvolvida por Niels Bohr, como será visto no decorrer da história.

Diferente de seus precursores, Niels Henrik David Bohr nasceu em 7 de outubro de 1885, em Copenhague na Dinamarca, veio de uma família estável financeiramente em que sua mãe, Ellen Adler, era bancária e seu pai, Christian Bohr, era professor de Fisiologia. Bohr, foi titulado doutor pela Universidade de Copenhague (SIEVERS, 1982).

De acordo com Lopes (2009), Bohr tinha grande respeito e apreço pelo trabalho de Thomson e demonstrava interesse em compreender o elétron e a composição do átomo, de modo que, em 1911, viajara para Cambridge para dar continuidade com suas pesquisas, visto que a Física Clássica não estava fornecendo os resultados esperados para a sua pesquisa com movimento dos elétrons em um metal. Uma das possibilidades para resolver esse problema foi ele ter considerado a teoria do *quantum* de Max Planck.

Porém, ao chegar em Cambridge sua estadia não foi das melhores. Ele ficou frustrado por sua tese não ter sido publicada na Sociedade Filosófica de Cambridge (SIEVERS, 1982). Os motivos para tal sentimento são expressos em uma carta de Bohr (1963) enviada para seu irmão Harald Bohr, citado por Neto (2017) na qual Bohr demonstra-se empolgado em seu encontro com Thomson, na qual explicaria a sua proposta envolvendo radiação eletromagnética como possível solução para a questão do movimento dos elétrons.

Na oportunidade Bohr leva alguns artigos de Thomson para apontar os erros encontrados, o que não agradou a Thomson, primeiro por não compreender Bohr que possuía dificuldades com a língua inglesa e segundo por Bohr não expor argumentos consistentes para justificar os erros identificados e desde então o relacionamento entre eles não era amigável (NETO, 2017; HEILBRON; KUHN, 1969). O que fica evidente na declaração de Heilbron e Kuhn (1969, p.225, tradução nossa)⁷: “Thomson certamente não gostou de ouvir seus erros antigos serem recitados por um estrangeiro tenaz cujo inglês ele mal conseguia entender”.

Bohr estava feliz e tinha feito muitos amigos em Cambridge e não perdeu o respeito e admiração por Thomson, mas chegava a hora de decidir o seu destino, uma vez que, ainda em 1911, chegou a conhecer Rutherford, em Manchester (BOHR, 1961 citado por HEILBRON; KUHN, 1969).

Em suas conversas com Rutherford demonstrava-se encantado e decidido a aprender sobre radioatividade, assunto que era o escopo das pesquisas de Rutherford. Mas apenas em 1913, logo após deslocar-se para Manchester, inicia seus trabalhos com radiação eletromagnética buscando interpretar o movimento dos elétrons apoiado na teoria quântica, abrindo caminho para uma nova proposta de modelo atômico (SIEVERS, 1982).

Inicialmente, em 1913, ao investigar a estrutura atômica, Bohr considera tanto o modelo de Thomson quanto o de Rutherford e chega a conclusão de que o átomo de Thomson por ter elétrons circulando em orbitais dentro da esfera uniformemente positiva garante uma certa estabilidade ao átomo, devido ao seu tamanho e às forças de atração e repulsão, o que não era visto no de Rutherford. Sendo assim, o modelo de Rutherford era o mais adequado para desenvolver suas ideias baseadas na teoria de Planck, pois a eletrodinâmica clássica já não trazia respostas satisfatórias para explicar o fenômenos microscópicos. Assim, Bohr considerou o modelo apresentado por Rutherford, como tendo uma massa central de carga

⁷ “Thomson surely did not enjoy hearing his ancient errors rehearsed by a tenacious foreigner whose English he could hardly understand.”

positiva, envolvida por elétrons circulando ao redor dessa massa central. Seu problema de pesquisa era justamente verificar a estabilidade do átomo de Rutherford (BOHR, 1913a).

O ponto importante da teoria de Planck, diferente do que era admitido pela eletrodinâmica clássica, é que em um sistema microscópico, como é o caso do átomo a radiação emitida é descontínua, ou seja, a energia irradiada é definida pela expressão $\tau h\nu$, em que τ é um número inteiro, h é a constante de Planck e ν é a frequência, essa energia é emitida na forma de pacotes denominada de *quantum* de energia. Essa teoria se aplicava tanto para emissão como para absorção da radiação eletromagnética (BOHR, 1913a).

Unindo a proposta de Planck com as idéias do modelo de Rutherford e o conhecimento dos espectros, Bohr chegou a conclusão de que o espectro de emissão produzido em determinadas frequências se deve às diferentes quantidades de energia fornecida para o elétron, provocando a sua transição de um nível de energia menor para outro maior e conseqüentemente a perda dessa energia na forma de luz ou fóton ao retornar ao seu nível de energia original, isso indica que a energia não é emitida de forma contínua (BOHR, 1913a).

Nicholson explicou, por meio de cálculos, que em um espectro de linhas os diferentes comprimentos de onda correspondente a cada linha é explicado pela “relação entre a energia do sistema e a frequência de rotação do anel é igual a um múltiplo inteiro da constante de Planck” (BOHR, 1913a, p.6 tradução nossa)⁸.

Assim, Bohr considerou que o movimento dos elétrons em um orbital pode ser explicado pela eletrodinâmica clássica, mas a questão da transição dos elétrons entre as órbitas envolvendo a emissão de radiação só pode ser explicada pela teoria de Planck (BOHR, 1913a).

Bohr, explicou o espectro do hidrogênio, quando um gás em uma ampola sofre uma descarga elétrica, transmite uma luz ou *quantum* de energia, de modo que em um espectro de emissão, quando um elétron “salta” de um orbital para outro, a diferença de energia entre eles é justamente a energia quantizada emitida. Ao realizar o mesmo experimento com o gás hélio, percebeu que a descarga aplicada não era suficiente para remover os dois elétrons do hélio, ou seja, o elétron que ocupa o orbital mais interno do átomo necessitaria de uma energia bem maior do que o elétron que ocupa o orbital mais externo (BOHR, 1913a).

⁸ “ratio between the energy of the system and the frequency of rotation of the ring is equal to an entire multiple of Planck’s constant.”

Dessa maneira, Bohr supõe que cada órbita tem uma determinada quantidade de elétrons e para manter essa distribuição, os elétrons precisam estar a uma determinada distância entre si, para que a estabilidade do sistema seja mantida (BOHR, 1913b).

Ao final do seu artigo, Bohr postula algumas hipóteses sobre o comportamento dos elétrons, trabalhando a teoria de Planck no modelo de Rutherford, conforme descrito abaixo:

1. Essa radiação de energia não é emitida (ou absorvida) da maneira contínua assumida na eletrodinâmica comum, mas apenas durante a passagem dos sistemas entre diferentes estados "estacionários".
2. Que o equilíbrio dinâmico dos sistemas nos estados estacionários é governado pelas leis comuns da mecânica, essas leis não valem para a passagem dos sistemas entre os diferentes estados estacionários.
3. Que a radiação emitida durante o sistema entre dois estados estacionários é homogênea e que a relação entre a frequência ν e a quantidade total de energia emitida E é dada por $E = h\nu$, onde h é a constante de Planck.
4. Que os diferentes estados estacionários de um sistema simples que consiste em um elétron girando em torno de um núcleo positivo são determinados pela condição de que a razão entre a energia total emitida durante a formação da configuração e a frequência de revolução do elétron é um múltiplo inteiro de $\frac{h}{2}$. Supondo que a órbita do elétron seja circular, essa suposição é equivalente à suposição de que o momento angular do elétron ao redor do núcleo é igual a um múltiplo inteiro de $\frac{h}{2\pi}$.
5. Que o estado "permanente" de qualquer sistema atômico - isto é, o estado no qual a energia emitida é máxima - é determinado pela condição de que o momento angular de cada elétron ao redor do centro de sua órbita é igual a $\frac{h}{2\pi}$ (BOHR, 1913c, p. 874,875, tradução nossa)⁹.

Apesar da sua proposta de modelo atômico explicar a estabilidade por meio da emissão de radiação eletromagnética, não conseguia explicar o espectro de átomos com mais de um elétron, mesmo assim foi de grande repercussão para a comunidade científica, recebendo elogios até mesmo de Nagaoka pela semelhança com o seu modelo atômico (MELZER; AIRES, 2015).

⁹ "1. That energy radiation is not emitted (or absorbed) in the continuous way assumed in the ordinary electro-dynamics, but only during the passing of the systems between different "stationary" states. 2. That the dynamical equilibrium of the systems in the stationary states is governed by the ordinary laws of mechanics, while these laws do not hold for the passing of the systems between the different stationary states. 3. That the radiation emitted during the transition of a system between two stationary states is homogeneous, and that the relation between the frequency ν and the total amount of energy emitted E is given by $E = h\nu$, where h is Planck's constant. 4. That the different stationary states of a simple system consisting of an electron rotating round a positive nucleus are determined by the condition that the ratio between the total energy, emitted during the formation of the configuration, and the frequency of revolution of the electron is an entire multiple of $h/2$. Assuming that orbit of the electron is circular, this assumption is equivalent with the assumption that the angular momentum of the electron round the nucleus is equal to an entire multiple of $h/2\pi$. 5. That the "permanent" state of any atomic system - i.e., the state in which the energy emitted is maximum - is determined by the condition that the angular momentum of every electron round the centre of its orbit is equal to $h/2\pi$."

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo Geral

Analisar a história dos Modelos Atômicos nos livros didáticos selecionados pelo PNLD de 2018.

3.2 Objetivos Específicos

- Conhecer a história do desenvolvimento dos modelos atômicos antes e depois do laboratório de Cavendish, por meio de revisão de literatura.
- Selecionar os capítulos ou unidades dos livros didáticos do PNLD de 2018 que tratam dos modelos atômicos.
- Verificar as versões históricas presentes nos livros didáticos e os fatos históricos omitidos.
- Realizar uma análise crítica apontando quais informações dentro da história não são adequadas para um livro didático de Ensino Médio e quais informações estão incoerentes com a história.

4 METODOLOGIA

O percurso metodológico, inicialmente, foi movido por intensa revisão bibliográfica acerca da história do desenvolvimento dos modelos atômicos, com o intuito de conhecer a versão histórica apresentada nos escritos originais e também em fontes secundárias, para posteriormente confrontar com os trechos históricos coletados nos livros didáticos.

Para tanto, o objeto dessa pesquisa são os livros didáticos (LDs) de Química, volume 1 de cada coleção utilizados no 1^a ano do Ensino Médio, aprovados pelo Programa Nacional do Livro Didático (PNLD) do ano de 2018 e dispostos no Quadro 1. A escolha por esse universo se deve a sua ampla utilização nas Escolas da Rede Pública de Ensino e as diferentes abordagens no ensino de modelos atômicos, conforme investigado por Moura (2014) e Chaves (2011), que podem afetar o processo de ensino-aprendizagem do aluno.

Dentre os livros selecionados, três deles são utilizados em escolas públicas localizadas na cidade do Recanto das Emas, região administrativa do Distrito Federal, sendo o livro Vivá: Química, de autoria de Novais e Antunes (2016) utilizado no Centro Educacional 104 (Ced

104). O livro Química, de autoria de Chemello e colaboradores (2016) utilizado no Centro de Ensino Médio 111 (CEM 111). O livro Ser Protagonista: Química, de autoria de Lisboa e colaboradores (2016) utilizado no Centro de Ensino Médio 804 (CEM 804).

A análise dessa pesquisa foi conduzida por algumas etapas do trabalho de Bardin (1977) que define a análise de conteúdo como um conjunto de técnicas aplicadas para se buscar de maneira sistemática uma interpretação do conteúdo das mensagens, produzindo uma análise crítica do material investigado por meio de uma leitura especulativa. Dessa maneira, a organização da análise foi dividida em três etapas que, segundo Bardin (1977) são: a pré-análise; a exploração do material e o tratamento dos resultados.

A etapa da pré-análise, envolve a definição do material a ser investigado constituindo o universo da pesquisa, conforme citado anteriormente. Para este trabalho de conclusão de curso o *corpus* da análise foram os livros didáticos de Química previamente analisados e posteriormente aprovados pelo PNLN de 2018. Na sequência, foi delimitado o tema a ser estudado, seguindo os critérios de homogeneidade e pertinência, em que o primeiro indica que os dados coletados devem pertencer ao tema a ser analisado e o segundo diz respeito à adequação do tema aos objetivos propostos (BARDIN, 1977). Nesse sentido, o conteúdo a ser examinado são os modelos atômicos, especificamente a sua história. A motivação para esta investigação se deve ao fato de que o conhecimento sobre o átomo e sua constituição ser base para a compreensão de outros assuntos dentro da Química.

Para tanto, foram selecionados capítulos, seções e unidades que tratam da referida temática e em seguida foi realizada uma primeira leitura, que Bardin (1977) denomina de leitura flutuante, com o intuito de estabelecer o primeiro contato entre o pesquisador e o seu objeto de estudo. Deste modo, buscou-se conhecer as versões relatadas em cada livro didático sobre a temática modelo atômico, incluindo o seu percurso histórico.

A partir dessa leitura inicial foi verificado se os objetivos propostos estavam de acordo com o conteúdo a ser investigado (BARDIN, 1977) e deste modo prosseguiu-se com a coleta de dados, realizando uma leitura mais criteriosa do material, pois os livros apresentam um amplo contexto histórico anterior a cada modelo atômico, sendo de uma dimensão muito extensa para esse trabalho de conclusão de curso. Dessa maneira, foi feito um recorte, seguindo alguns itens da lista de verificação de conteúdo histórico em livros didáticos proposto por Leite (2002). Essa lista passou por adaptações para atender aos objetivos desta pesquisa. Nesse trabalho não foram considerados aspectos quantitativos relativos a ocorrência

dos fatos históricos como utilizado por Leite, o foco aqui se manteve apenas na seleção de trechos históricos dispostos tanto no texto principal, como também em quadros e caixas, para serem confrontados com a fundamentação teórica e submetidos a uma análise crítica.





Ainda para facilitar a análise, optou-se por classificar os resultados por modelo atômico pois, boa parte das citações de interesse para esta pesquisa são semelhantes entre os livros analisados, por isso utilizou apenas a citação de um livro como referência para os demais, seja na questão de trechos análogos, seja na ausência desses trechos. Foram estabelecidas duas categorias para análise: a primeira denominada de versão histórica apresentada nos livros didáticos e a segunda denominada de omissão dos fatos históricos.

Para a primeira categoria, constitui-se versão histórica apresentada nos livros didáticos, citações que se referem aos seguintes itens da lista de Leite (2002): a vida do cientista; a participação, direta ou indireta, de outros pesquisadores na construção de algum dos modelos atômicos; as controvérsias no campo científico; as descrições acerca de cada teoria atômica e dos princípios atomísticos. A segunda categoria, considerou-se como omissão dos fatos históricos a ausência de trechos que correspondessem aos itens avaliados na categoria anterior ou até mesmo a supressão de detalhes importantes para a compreensão dos modelos atômicos. Essa etapa de definição das categoria e dos fragmentos a serem analisados fazem parte da exploração do material designada por Bardin.

Definida a etapa de pré-análise e a etapa de exploração do material, seguiu-se para a etapa de tratamento dos resultados, isto é, a inferência e a interpretação, apoiada nos dados coletados e reproduzidos na íntegra por meio de citações (BARDIN, 1977). As interpretações e críticas feitas a cada excerto foram sustentadas por meio de revisão bibliográfica. Para essa etapa, considerou se a história contada é suficiente ou se há simplificações que tornam o conteúdo superficial, prejudicando o entendimento e a contextualização dos fatos históricos; bem como detalhes e/ou informações que são importantes para a compreensão do desenvolvimento dos modelos atômicos e que não estão vinculadas aos livros didáticos; ou ainda, informações que estão incoerentes com a história na concepção atomista e na descrição do modelo atômico. Por fim, foi feito um breve relato do modelo atômico, buscando esclarecer os motivos de determinados conteúdos históricos não serem adequados para um livro didático do Ensino Médio.

Os livros do PNLD 2018 que foram investigados neste trabalho, estão listados no Quadro 1, acompanhados da sua identificação e dos capítulos analisados.

Quadro 1 - Livros aprovados pelo PNLD 2018.

Identificação dos livros	Capa do livro	Referências	Capítulos analisados
Mól et al. (2016)		SANTOS, W.L.P.S.; MÓL, G.S.; DIB, S.M.F.; MATSUNAGA, R.T.; SANTOS, S.M.O; CASTRO, E.N.F; SILVA, G.S.; FARIAS, S.B. Química Cidadã: ensino médio, 1ª série. 3ª ed. São Paulo: Editora AJS, 2016.	Capítulo 4 - Do atomismo aos modelos atômicos.
Lisboa e colaboradores (2016)		LISBOA, J.C.F.; BRUNI, A.T.; NERY, A.L.P.; LIEGEL, R.M.; AOKI, V.L.M. Ser Protagonista: Química. 1º ano: ensino médio. 3ª ed. São Paulo: Edições SM, 2016.	Capítulo 5 - Modelos atômicos e características dos átomos.
Novais e Antunes (2016)		NOVAIS, V.L.D.; ANTUNES, M.T. Vivá: Química. v 1: ensino médio. Curitiba: Positivo, 2016.	Capítulo 2 - Leis das reações químicas e teoria atômica de Dalton. Capítulo 4 - Estrutura atômica: conceitos fundamentais
Chemello e colaboradores (2016)		CISCATO, C.A.M.; PEREIRA, L.F.; CHEMELLO, E.; PROTI, P.B. Química. 1ª ed. São Paulo: Moderna, 2016.	Capítulo 3 - Elementos Químicos e Tecnologia: modelos sobre a constituição da matéria.

Reis (2016)		REIS, M. Química: ensino médio. 2ª ed. São Paulo: Ática, 2016.	Capítulo 4 - Transformações da Matéria. Capítulo 6 - Eletricidade e radioatividade
Mortimer e Machado (2016)		MORTIMER, E.F.; MACHADO, A.H. Química: ensino médio. 3ª ed. São Paulo: Scipione, 2016.	Capítulo 6 - Modelos para o átomo e uma introdução a Tabela Periódica.

Fonte: Autoria própria.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

É importante ressaltar que essa pesquisa é qualitativa e, segundo Ludke e André (1986) esse tipo de abordagem se traduz em uma pesquisa realista, envolvendo o pesquisador e seu objeto de estudo, qualquer que seja esse e geralmente compreendem a análise de dados descritivos que fundamentarão afirmações ou pontos de vista. Nesse sentido não há preocupação com a mensuração dos dados.

5.1 Atomismo na Antiguidade

5.1.1 A versão histórica apresentada nos livros didáticos

Dos livros analisados, o livro de Mól et al. (2016), apresenta uma ampla abordagem histórica sobre as ideias acerca da composição da matéria e do que o Universo seria formado, mostrando as concepções dos filósofos naturais Leucipo e Demócrito, conforme apresentado no trecho a seguir:

Cerca de quatrocentos anos antes da Era Cristã, o filósofo grego Leucipo [século V a.C.] e seu discípulo Demócrito [470-360 a.C.] propuseram uma teoria que se referia a natureza da matéria. Para eles, a matéria não poderia ser dividida infinitamente, ou seja, qualquer porção de matéria poderia ser repartida em partes menores até atingir um limite. Ao atingir o limite chegar-se-ia a pequenas partículas indivisíveis, as quais foram denominadas átomos (a = prefixo de negação, tomo = "divisão"). (MÓL et al., 2016, p. 142)

Além disso, o livro de Mól et al. (2016) apresenta a percepção de outros filósofos que especularam sobre a constituição do Universo, conforme descrito abaixo:

Para o filósofo grego Tales de Mileto, a água era a causa material, ou seja, o “elemento” do qual se originavam todas as coisas. [...] Outros filósofos gregos propuseram que mais três “elementos” deveriam constituir a matéria básica. Anaxímenes [VI a.C.] propôs que o ar seria o “elemento” constituinte do Universo. Heráclito [cerca de 540-480 a.C.], considerou que, se a natureza é caracterizada pela mudança, então o “elemento” essencial deveria ser o que apresentasse uma mudança notável. Propôs então o fogo como “elemento” básico. Empédocles [cerca de 490-430 a.C.] [...] concluiu que não existiam apenas três “elementos”, mas quatro, e acrescentou a terra como quarto “elemento”. (MÓL et al., 2016, p. 142, 143)

O livro de Mól et al. (2016) indica que as contribuições de Aristóteles foram influentes para o campo da Filosofia, uma vez que sua hipótese era consistente, pois apresentava uma explicação clara para as transformações da matéria com base na combinação das qualidades dos quatro elementos, conforme descrito no trecho a seguir:

De acordo com ele [Aristóteles], o Universo seria formado pela combinação do que chamou “elementos fundamentais”: água, ar, fogo e terra. Tais “elementos” podiam se transformar uns nos outros pela mudança de suas propriedades e, ao se combinarem, davam origem a todos os materiais.” (MÓL et al., 2016, p. 143)

Para Aristóteles, toda matéria seria formada por um substrato, o qual se modifica pela mudança de suas propriedades e qualidades, que seriam quatro: quente, frio, seco e úmido. Essas qualidades se dispõem em pares contrários, resultando formas diferentes: quente-seco (fogo), quente-úmido (ar), frio-úmido (água) e frio-seco (terra). Trocando-se uma dessas qualidades, muda-se à forma da matéria. Ao ser aquecida, a água se transforma em ar, o qual pode inflamar quando perde a qualidade de úmido, se transformando no fogo e assim por diante, [...]. (MÓL et al., 2016, p. 143)

Semelhante ao livro de Mól et al. (2016), o livro de Chemello e colaboradores (2016) também apresenta uma versão histórica completa e contextualizada com relação ao atomismo na Antiguidade, mostrando a importância de se compreender que as primeiras ideias acerca do átomo foram deduzidas por filósofos gregos a partir do comportamento da matéria e da curiosidade em saber do que seria constituído o Universo, de modo que não foi uma ideia isolada, mas vários filósofos demonstravam essa preocupação.

O livro de Lisboa e colaboradores (2016) resume a história do atomismo na concepção de Leucipo e Demócrito, descrita a seguir:

Leucipo e Demócrito, filósofos gregos que viveram entre os séculos IV e V a.C [...] acreditavam que o Universo era constituído por partículas indivisíveis – a palavra “átomo”, em grego, significava indivisível -, eternas e indestrutíveis, que estão em movimento no vazio. (LISBOA et al., 2016, p. 77)

E na oposição de Aristóteles sobre as ideias atomistas, da qual menciona que “[...] Aristóteles (384-322 a.C.), [...] afirmava que a matéria era contínua, isto é, não formada por átomos.” (LISBOA et al., 2016, p. 77). Nesse sentido, o papel da controvérsia se mostra de extrema importância, uma vez que revela a evolução da Ciência como um processo construído em meio a debates e na busca incessante para interpretar e obter respostas acerca dos fenômenos observados (CACHAPUZ et al., 2005), embora as hipóteses dos filósofos fossem fundamentadas nas suas observações, sem nenhuma comprovação experimental, foram imprescindíveis para o estabelecimento das primeiras idealizações sobre a natureza da matéria.

O livro de Novais e Antunes (2016) aponta para uma abordagem histórica similar aos livros de Mól et al. (2016), Chemello e colaboradores (2016) expondo os princípios defendidos por Leucipo e Demócrito relativo ao atomismo, bem como as convicções de Tales de Mileto, Anaxímenes, Heráclito. Também menciona que Aristóteles era contrário a teoria atomística, relatando brevemente a teoria dos quatro elementos afirmando que: “[...] qualquer um deles poderia ser transformado em outro, já que na constituição dos quatro havia algo em comum.”(NOVAIS; ANTUNES, 2016, p. 34). Entretanto, os autores não esclarecem que esse algo em comum que há nos quatro elementos são qualidades proposta por Aristóteles, que ao serem combinadas resultam na transformação de alguns elementos em outros (NEVES; FARIAS, 2011).

5.1.2 Omissão aos fatos históricos

O livro de Reis (2016) foi o único que não apresentou nenhuma abordagem histórica em relação às percepções do atomismo na antiguidade, caracterizando um sério prejuízo ao desenvolvimento da história do atomismo, já que as primeiras concepções filosóficas conduzem ao surgimento do atomismo, buscando respostas para a seguinte problemática: do que é constituído todas as coisas? Tal questão era examinada racionalmente pelos filósofos através das transformações que ocorriam no Universo. Além do mais, esse conhecimento foi o ponto de partida para reascender o interesse de outros cientistas na investigação da teoria atômica.

Os livros de Lisboa e colaboradores (2016) e, Mortimer e Machado (2016) não apresentam as contribuições de outros filósofos gregos, tais como: Tales de Mileto,

Anaxímenes, Heráclito e outros, dos quais embasaram a teoria dos quatro elementos, que também não é mencionada nos livros.

5.2 Modelo atômico de Dalton

5.2.1 A versão histórica apresentada nos livros didáticos

Novamente o livro de Mól et al. (2016) apresenta uma abordagem histórica abrangente. No quadro intitulado História da Ciência, os autores relatam detalhes da vida de Dalton conforme indicado no trecho abaixo:

O empenho com que se dedicava em tudo que fazia era marca fundamental do inglês nascido em 6 de setembro de 1766, em uma casa com sólida formação religiosa. Aos 6 anos, foi matriculado na única escola da vila, onde os professores ensinavam tópicos a Ciência. Aos 11 anos, já tendo concluído os estudos, começou a dar aula em uma escola montada em sua casa. Em 1781, aos 15 anos, fechou sua escola particular, e empregou-se como professor de Ciências Naturais na cidade de Kendall. [...] De sua curiosidade e perspicácia nasceram alguns trabalhos fundamentais para a Ciência, como a lei das pressões parciais, publicada em 1803. [...] Faleceu em 27 de julho de 1844, aos 77 anos, sendo sepultado com honras oficiais. (MÓL et al., 2016, p.152)

Nesse sentido, os autores poderiam ter adicionado informações referentes ao histórico familiar, como por exemplo, que o pai dele foi tecelão e que a escola montada no fundo de sua casa era justamente para ajudar financeiramente nas despesas da família (LAPPERT; MURRELL, 2003). A importância de apresentar historicamente as origens e as dificuldades enfrentadas por esse cientista e sua família remete a possibilidade de apontar características que confirmem que ele era uma pessoa comum e que passou por situações das quais todos os seres humanos estão sujeitos (CACHAPUZ et al, 2005). Além disso, relatar nas aulas de Química as dificuldades pessoais e sócio-econômicas dos cientistas, bem como seu sucesso profissional pode ser estímulo para o estudante a permanecer nos estudos. Isso demonstra o caráter humanizado das Ciências.

A respeito das influências para estabelecimento da teoria de Dalton é pertinente considerar a informação que o livro de Mól et al. (2016) apresenta, conforme exposto abaixo:

Não se sabe, exatamente, como Dalton desenvolveu sua teoria e tem até quem considere que ela foi resultante mais de ideias intuitivas do seu autor, do que de deduções rigorosas. [...] em algum momento [historiadores] evocaram as leis ponderais para justificar a teoria atômica de Dalton [...]. (MÓL et al., 2016, p.150).

Pouco se sabe sobre os trabalhos de Dalton porque muitos se perderam na Segunda Guerra Mundial (NASH, 1956), mas o texto apresentado por Mól está em discordância com alguns textos que relatam a história de Dalton (MELZER e AIRES, 2015; DALTON, 1802; VIANA, 2007) pois nesses textos afirma-se que a teoria atômica foi desenvolvida sob influência da teoria corpuscular newtoniana e da lei das misturas gasosas que foi duramente criticada por seus contemporâneos, ambos os conhecimentos foram determinantes para a concepção do modelo atômico daltoniano.

Além do mais, as ideias de Dalton não eram intuitivas, prova disso é que seus argumentos eram baseados em fatos experimentais, como por exemplo: ao combinar gás amoníaco e ácido muriático (ácido clorídrico), uma substância sólida era formada. Da mesma forma, ao misturar vapor de água com gás amoníaco uma substância líquida era obtida. A partir dessas análises, Dalton conseguiu definir que a combinação química é resultado da formação de novas substâncias com propriedades diferentes dos reagentes envolvidos na sua constituição (DALTON, 1802).

Chemello e colaboradores (2016) destaca que a teoria de Dalton foi influenciada pelos estudos das leis ponderais e do comportamento dos gases. Conforme exibido abaixo:

Por volta de 1803, o químico e físico John Dalton (1766-1844) sugeriu que boa parte das observações científicas de sua época, relacionadas ao estudo da matéria (especialmente as leis ponderais, já estudadas, e o comportamento dos gases, que ainda será estudado) poderia ser explicada admitindo a existência de [...] átomos. (CHEMELLO et al., 2016, p.84)

Semelhante a Chemello e colaboradores (2016), Mortimer e Machado (2016), ressalta que Dalton elaborou a sua hipótese com base no comportamento dos gases e das misturas gasosas, além disso, Lisboa e colaboradores (2016) também menciona a concepção de elemento retomada por Lavoisier.

Os três livros mencionam as temáticas que embasaram os estudos de Dalton para com a teoria atômica, mas assim como os demais livros poderiam ter apontado que os conhecimentos e as curiosidades no campo meteorológico foram os responsáveis por desencadear gradativamente seus estudos sobre o comportamento dos gases, misturas gasosas, determinação das proporções e das massas, inclusive utilizando dos estudos de seus precursores para sua fundamentação teórica (OKI, 2009).

O livro de Novais e Antunes (2016) expõe que as reações químicas foram o início para desvendar a estrutura atômica, conforme informado a seguir:

Com base nas massas das substâncias envolvidas nas reações, John Dalton (1766-1844) concluiu que a matéria é formada por pequenas partículas, que ele supôs indivisíveis. Os trabalhos que o levaram a essa conclusão foram publicados entre 1803 e 1827. Para Dalton, a ideia de átomo surgiu como uma possibilidade de justificar o que verificava experimentalmente. (NOVAIS; ANTUNES, 2016, p.45)

Dalton já havia notado a existência de pequenas partículas nos gases com base nos trabalhos de Newton e também em suas investigações, nos trabalhos consultados não é mencionado que ele supôs que essas partículas eram indivisíveis. A ideia de átomo surgiu para explicar porque alguns gases não se combinavam em uma mistura gasosa, de tal maneira a considerar a introdução do conceito de calórico, fornecendo justificativas para as suas observações experimentais (DALTON, 1808). De modo geral, a consolidação do átomo de Dalton foi uma união entre as ideias do corpuscularismo newtoniano, a afinidade química e o calórico (NETO, 2017).

O livro de Reis (2016) informa que Dalton retomou a ideia dos filósofos gregos para desenvolver uma teoria sobre a constituição do átomo, conforme descrito abaixo:

Em 1803, o químico inglês John Dalton (1766-1844) desenvolveu uma teoria sobre a estrutura da matéria retomando a antiga ideia de átomo (partícula indivisível) imaginada pelos físicos gregos Demócrito e Leucipo, por volta de 450 a.C. (matéria descontínua) (REIS, 2016, p.89).

Entende-se que as concepções a respeito do átomo já estavam estabelecidas pelos filósofos Leucipo e Demócrito, contudo essa informação está incoerente com os relatos históricos, pois foram as teorias corpuscularistas do século XVII, principalmente a desenvolvida por Newton, de maior repercussão, que foi decisiva na proposição das hipóteses de Dalton e conseqüentemente na formulação de sua teoria atômica, uma vez que esse buscava respostas para compreender a combinação dos gases na atmosfera, como um processo físico e não químico (VIANA, 2007).

Nesse sentido, o livro de Chemello e colaboradores (2016) é o único a mencionar o nome de Isaac Newton, como influenciador dos trabalhos de Dalton, conforme o trecho a seguir: “Dalton, porém, foi influenciado pela grande repercussão do trabalho de Newton, que teve muito sucesso em sua proposta de utilizar a Matemática para descrever a natureza, especialmente os fenômenos estudados pela Mecânica e pela Astronomia.” (CHEMELLO et al., 2016, p.84).

O livro de Mól et al. (2016) é o único livro a mencionar o nome de William Henry que trabalhou conjuntamente com Dalton na investigação sobre a difusão dos gases, conforme o trecho a seguir:

[...] químico inglês William Henry [1774-1836], com o qual Dalton trabalhou em investigações de solubilidade de gases em água. William Henry desenvolveu suas investigações com o objetivo de produzir água gaseificada para a indústria química de sua família. (MÓL et al., 2016, p.150)

A colaboração de outros cientistas no desenvolvimento da teoria atômica se mostra imprescindível para revelar que a Ciência é desenvolvida por meio de um trabalho coletivo, nesse sentido, os autores poderiam ter mencionado que uma das contribuições de William Henry foi a constatação de que a quantidade de gás absorvida pela água era proporcional a pressão do gás. Isso esclareceu a Dalton o motivo de seus experimentos resultarem em solubilidades diferentes para os gases analisados e foi o ponto de partida para a construção do seu modelo atômico (DALTON, 1808).

O livro de Mól et al. (2016), ainda faz referência às controvérsias, salienta-se que os debates no campo da Ciência eram de várias dimensões, sendo elas: epistemológicas, ontológicas ou metodológicas. Os trechos a seguir são exemplos claros de ordem epistemológica e ontológica, pois a ideia de átomo poderia não ser real para alguns, como não foi real para Berthelot que rejeitou ideias atomistas defendendo a concepção de peso equivalente e atacou fervorosamente os atomistas afastando alguns deles de seus cargos políticos. Mas para outros, como no caso de Dumas, tais idéias poderiam fornecer interpretações para os resultados de seus experimentos, entretanto, Dumas não conseguiu aplicar as ideias de átomo proposta por Dalton aos resultados de seus ensaios, levando-o a questionar que a ideia de átomo poderia ser meramente intuitiva (PEREIRA e SILVA, 2017; OKI, 2009). Conforme apresentado abaixo:

Porém, a aceitação científica da teoria atômica de Dalton não foi imediata e nem tranquila; ela dividiu opiniões da comunidade. Exemplo dessa controvérsia pode ser ilustrado pelo químico francês Jean-Baptiste-André Dumas [1800-1884], que foi um dos primeiros a aceitar as ideias de Dalton, mas depois disse que se pudesse apagava a palavra átomo da ciência. Isso porque considerava o átomo uma ideia especulativa, sem confirmação experimental. (MÓL et al., 2016, p.151).

O influente francês Marcelin Pierre Eugène Berthelot [1827-1907] combateu o atomismo. Ele foi também um influente político, que ocupou cargos de destaque no governo e com sua influência política afastou atomistas que ocupavam postos de destaque no governo [...] (MÓL et al., 2016, p.151).

Semelhante o livro de Mól et al. (2016), Mortimer e Machado (2016) e, Novais e Antunes (2016) enfatizam, como já mencionado anteriormente, que o problema das intrigas entre a comunidade científica não se concentrava apenas na existência do átomo, mas na aplicabilidade da teoria em explicar os resultados obtidos quantitativamente, na validade do método utilizado, como também nos conceitos que até então não estavam definidos universalmente, tais aspectos levaram a teoria de Dalton não ser aceita de imediato (OKI, 2009).

Os cientistas que a [hipótese atômica de Dalton] aceitavam reconheciam o seu valor para explicar um grande número de fatos e para raciocinar em termos de fórmulas e pesos das substâncias, algo reconhecido mesmo por alguns de seus opositores, que no entanto duvidavam da existência dos átomos, [...] mas envolvia aspectos ligados a natureza do conhecimento científico e aos métodos utilizados pelos cientistas da época. (MORTIMER; MACHADO, 2016, p.138).

Apesar da teoria atômica de Dalton ter se mostrado coerente para explicar os resultados experimentais que levaram as leis ponderais, apenas muitas décadas depois ela foi totalmente aceita no meio científico. (NOVAIS; ANTUNES, 2016, p.45)

5.2.2 Omissão aos fatos históricos

Com exceção do livro de Mól et al. (2016), os demais resumem a biografia de Dalton apenas ao ano do nascimento, da morte, formação e a sua nacionalidade, sem fornecer detalhes sobre sua vida pessoal, acadêmica, o contexto social da época, as influências e inspirações que motivaram esse cientista a investigar determinado campo da Ciência, que são informações relevantes que podem despertar o interesse do aluno para o estudo da Ciência, bem como mostrar que o trabalho científico desenvolvido não surgiu repentinamente na mente de um cientista.

Com exceção do livro de Chemello e colaboradores (2016), os demais não mencionam o nome de Newton, cujos trabalhos influenciou os estudos de Dalton acerca dos gases e consequentemente na proposição do seu modelo atômico.

Nenhum dos livros mencionam o nome de Thomas Thomson nas controvérsias acerca das primeiras ideias de Dalton sobre a composição atmosférica que foram bastante criticadas por serem baseadas na mecânica clássica. Um de seus contemporâneos foi Thomas Thomson, químico que acreditava no princípio da afinidade química e atacou fervorosamente as concepções de Dalton, pois seus experimentos resultavam em observações que não condiziam com os pressupostos de Dalton. Thomas Thomson chegou a afirmar que as ideias de Dalton

eram especulações sem confirmação experimental (DALTON, 1808). Esse debate foi importante, pois apesar de Dalton persistir nas ideias da teoria mecânica, conseguiu conquistar alguns adeptos, como foi o caso de Thomas Thomson que ficou surpreso com os novos estudos de solubilidade dos gases em água, e passou a pregar as ideias de Dalton na comunidade científica (VIANA, 2007).

Com exceção do livro de Mól et al. (2016), os demais livros não citam o nome de William Henry, que previamente já explorava o tema da solubilidade de gases em água, para utilizar na indústria de sua família e que uma de suas descobertas foi a chave para Dalton compreender que a natureza e a pressão dos gases eram fatores determinantes na solubilidade em água.

É importante notar que nenhum livro do ensino médio de fato relata o modelo de Dalton como ele foi descrito pelo seu autor. Houve um processo de simplificação limitando-se a afirmar que o modelo atômico de Dalton se resume a dizer que o átomo é uma esfera maciça e indivisível. No entanto, os textos relatam que Dalton une a proposta newtoniana de partícula, afinidade e calórico e propõe que o átomo seja um corpúsculo esférico de tamanho variável envolvido por uma “atmosfera” que ele chamou de calórico (NETO, 2017). O balanço desse calórico era o responsável pelos fenômenos da atração e repulsão. Para Dalton, quando se tem pouco calórico os corpúsculos tendem a se unir formando moléculas e agregados atômicos vislumbrando o que seria o estado sólido. Quando se tem um equilíbrio entre calórico e afinidade há o estado líquido da matéria onde não há repulsão e nem atração, mas um híbrido entre as duas formas. Entretanto, no estado gasoso, o átomo pode liberar uma quantidade enorme de calórico enquanto a afinidade é zero. Nesse estado, a repulsão é máxima gerando as formas gasosa observadas na atmosfera (NETO, 2017). Dalton leu trabalhos de Cavendish, Ritcher, Bertholet e Lavoisier fazendo um pensamento intercoletivo e destacou-se por desenvolver sua proposta (que não foi aceita de imediato) dentro do Coletivo de Pensamento¹⁰, porém ela não conseguiu explicar novos fenômenos que foram surgindo naquela época como, por exemplo, a natureza elétrica da matéria. Para tentar explicar esse novos fenômenos surgem novas propostas de seus sucessores, dentro do Coletivo de Pensamento, como por exemplo, Lord Kelvin que fazia parte da equipe de pesquisa de J.J. Thomson no laboratório de Cavendish (NETO, 2017).

¹⁰ Coletivo de pensamento são técnicas e idéias compartilhadas entre uma comunidade de cientistas e que conduzem a um estilo de pensamento acerca de determinado objeto de estudo em um contexto histórico específico (LEITE; FERRARI; DELIZOICOV, 2001).

Apesar da história da Ciência ser um recurso utilizado para que os alunos tenham uma visão de Ciência desenvolvida com erros, acertos e debates, com o intuito de contribuir para um processo de ensino-aprendizagem mais significativo (BRASIL, 2004). O seu uso em livros didáticos se torna restrito diante da complexidade e extensão do conteúdo histórico. Em se tratando da história dos modelos atômicos, sustenta-se que determinados assuntos não podem ser incluídos nos livros didáticos do Ensino Médio, por ser incompatível com o nível de escolaridade dos alunos, como por exemplo uma abordagem sobre o calórico, foge do nível de compreensão de um aluno do Ensino Médio (LEITE, 2002).

O quadro 2 apresenta de maneira resumida os principais resultados do modelo atômico de Dalton:

Quadro 2: Principais resultados do modelo de Dalton.

Trechos analisados	Principais resultados
Vida do Cientista	Apenas Mól et al. (2016) apresenta a vida de Dalton.
Participação de outros pesquisadores	Todos os livros fazem menção a Lavoisier.
Omissões dos fatos históricos	Apenas o livro de Chemello e colaboradores (2016) faz menção a Isaac Newton.
Modelo Atômico	Todos os livros resumem o modelo a esfera maciça e indivisível.
Informações incoerentes com a história	Apenas Mól et al. (2016) menciona que as ideias de Dalton eram intuitivas.
Informações inadequadas para um livro didático	A ideia de calórico.

Fonte: Autoria própria.

5.3 Modelo atômico de Thomson

5.3.1 A versão histórica apresentada nos livros didáticos

O livro de Mól et al. (2016) apresenta a descrição do experimento de Crookes, conforme a seguir:

Dentre os estudos, que contribuíram para a identificação de tal partícula, estão os do cientista inglês William Crookes [1832-1919]. Ele inventou a ampola de raios catódicos. A ampola contém um gás ou ar em baixa pressão que, quando submetido a uma corrente elétrica, produz raios luminosos que saem da extremidade da ampola, onde está o polo negativo (-) da fonte de alta tensão, e vão para a outra extremidade, onde está o polo positivo (+). (MÓL et al., 2016, p. 159)

Semelhante a Mól et al. (2016), os livros de Lisboa e colaboradores (2016), Reis (2016), Chemello e colaboradores (2016), Novais e Antunes (2016), Mortimer e Machado (2016) relatam o experimento de Crookes como uma contribuição para o estudo sobre raios catódicos, o que os autores poderiam realçar é que Thomson tinha conhecimento dos trabalhos de Crookes e reproduziu o experimento desse, obtendo os mesmos resultados, confirmando que os raios luminosos eram produzidos pelos raios catódicos (THOMSON, 1907).

O livro de Mortimer e Machado (2016) apresenta a seguinte controvérsia a respeito dos raios catódicos:

Esses raios eram produzidos no catodo de um tubo com ar a baixa pressão, atingiam a parede do tubo no lado oposto, produzindo incandescência, viajavam em linha reta e eram desviados por um ímã. Conhecer essas características não impediu a grande polêmica sobre a natureza dos raios catódicos: seriam ondas ou partículas? (MORTIMER; MACHADO, 2016, p. 142).

Semelhante a Mortimer e Machado (2016), o livro de Lisboa e colaboradores (2016), apresenta essa abordagem em um quadro intitulado: Química tem história, ambos os livros são os únicos a mencionar a grande questão que motivou Thomson nos estudos dos raios catódicos, uma vez que a discussão estava em saber se esses raios eram ondas como defendiam os físicos alemães ou se eram partículas como assumida pelo físicos ingleses (THOMSON, 1907).

Os autores de ambos os livros poderiam complementar essa informação explicando que o experimento de Perrin levantava dúvidas com relação a esses raios serem partículas ou ondas, por isso Thomson reproduziu o experimento de Perrin e de Hertz em busca de provar que eram partículas, pois esses raios eram desviados tanto por um campo magnético como por um campo elétrico. Thomson acreditava veementemente na hipótese corpuscular (THOMSON, 1897).

Ainda o livro de Mól et al. (2016) destaca o experimento realizado por Thomson e as suas observações sobre estes. Conforme o trecho a seguir:

[...] ele [Thomson] realizou experimentos com tubos de descarga contendo quatro diferentes gases e utilizou três metais diferentes na constituição dos eletrodos. Os dados coletados nessa experiência permitiram a Thomson alcançar sempre os mesmos valores para a razão entre a carga e a massa do elétron (e/m), que compunham os raios catódicos [...]. Thomson observou, assim, que os raios catódicos eram os mesmos, independentemente, da composição do catodo, do anticatodo ou do gás na válvula (MÓL et al., 2016, p. 160).

No trecho apresentado acima, encontra-se alguns equívocos, primeiro com relação aos gases utilizados nos experimentos de Thomson que foram três, especificamente o gás hidrogênio, ar e gás carbônico. Outro ponto é que nesse período Thomson não utilizava o termo elétron e sim corpúsculo, para definir as partículas subatômicas das quais os raios catódicos eram constituídos. No mais, ressalta-se que para a contextualização dos fatos, os autores poderiam ter mencionado os metais que foram utilizados na constituição dos eletrodos, que segundo a narrativa de Thomson em sua maioria eram de alumínio, mas em alguns casos foram utilizados ferro e platina (THOMSON, 1897).

O livro de Reis (2016) também apresenta equívoco semelhante ao afirmar que: “Thomson passou a chamar os raios catódicos de elétrons [...]” (REIS, 2016, p. 139) Conforme explicado anteriormente, os raios catódicos eram formados por partículas de carga negativa as quais Thomson denominou de corpúsculos, anos mais tarde Stoney nomeou-os de elétrons (KRAGH, 2002).

Com exceção das incorreções mencionadas, os demais livros apresentam abordagem semelhante a do excerto acima, sem mencionar os metais que constituíam os eletrodos, muito menos os gases utilizados, nesse sentido, a contextualização dos fatos se torna importante para a imagem de ciência que se deseja construir (FORATO, PIETROCOLA e MARTINS, 2011; LEITE, 2002).

Ainda o livro de Mól et al. (2016) descreve o modelo de Thomson em tópicos, conforme o trecho a seguir:

- Os átomos dos diferentes elementos seriam esferas com carga elétrica positiva uniforme.
- Essas esferas conteriam os elétrons dispostos em uma série de anéis paralelos.
- Os anéis conteriam diferentes quantidades de elétrons.
- Os elétrons se movimentariam em alta velocidade em torno dos anéis.

- Esses anéis estariam organizados de forma que a maioria dos elétrons ficaria próxima da superfície da esfera e os anéis, com menores quantidades de elétrons, ficariam mais no centro da esfera. (MÓL et al., 2016, p. 160)

No trecho acima, há um equívoco quando os autores mencionam que “os elétrons se movimentariam em alta velocidade em torno dos anéis”, pois, não é essa informação que consta no artigo de 1904, em que o próprio Thomson relata que o elétron está se movimentando em alta velocidade percorrendo uma trajetória circular no anel em que ele está disposto (THOMSON, 1904).

O livro de Chemello e colaboradores (2016) apresenta versão semelhante a de Mól et al. (2016), sem o equívoco desse. Sua descrição coincide com os relatos históricos encontrados nos artigos originais de Thomson, que assinala para um modelo de átomo dinâmico cujos elétrons estão em movimento e distribuídos em orbitais que se localizam dentro da esfera de carga positiva (THOMSON, 1904).

O livro de Mól et al. (2016) retrata a analogia do pudim de passas como instrumento para se compreender a estrutura da matéria. Segundo Lopes e Martins (2009) para se ter um efeito positivo com o uso de analogia ela deve atender à duas condições: a primeira é que a analogia deve estar inserida no contexto do aluno, ou seja, deve estar associada a algo presente no seu cotidiano e a segunda é que ela deve ser coerente com o conceito que se deseja abordar, de modo que a analogia pudim de passas não atende a essas duas condições. O livro de Mortimer e Machado (2016) apesar de explicar que o pudim de passas é uma típica sobremesa inglesa, e que para fins educacionais os autores usam o panetone, ainda assim não está correto, pois não concorda com o conceito científico apresentado pelo modelo atômico de Thomson.

5.3.2 Omissão aos fatos históricos

Todos os livros analisados simplificam a biografia de Thomson reduzindo-a apenas ao ano do nascimento, da morte, a formação e a sua nacionalidade, isso apenas reforça a ideia de ciência construída individualmente, revelando uma imagem de cientista inteligente e ilustre, caracterizado pela falta de contextualização (CACHAPUZ et al., 2005). Além do mais, não mencionam que o interesse de Thomson em estudar a estrutura da matéria foi motivado pela lei das combinações químicas e pelas pesquisas desenvolvidas por Dalton (THOMSON, 1936).

Com exceção dos livros de Mortimer e Machado (2016) e, Lisboa e colaboradores (2016), os demais livros não apresentam a disputa entre os alemães e ingleses sobre a natureza dos raios catódicos, se eram ondas ou partículas. Tal questionamento impulsionou os estudos de Thomson com o intuito de provar que se tratavam de partículas e a descoberta deste corpúsculo foi de grande repercussão para a comunidade científica (THOMSON, 1907).

Com exceção dos livros de Mól et al. (2016) e Chemello e colaboradores (2016), os demais livros simplificam o modelo atômico de Thomson como sendo uma esfera uniformemente positiva com elétrons incrustados, contudo a descrição de seu modelo atômico nos documentos originais, revela que o átomo é constituído por uma esfera positiva, cujos corpúsculos (elétrons) estão dispostos em orbitais que se movimentam em alta velocidade percorrendo uma trajetória circular dentro da esfera (THOMSON, 1904).

Com os avanços das pesquisas no campo da radioatividade, o modelo de Thomson não conseguia explicar os desvios das partículas alfa observadas nos experimentos de Geiger e Marsden, de modo que Rutherford, percebeu a necessidade de formular um novo modelo de átomo (RUTHERFORD, 1911), tal modelo foi pensado com base nos trabalhos de Hantaro Nagaoka, cientista que já tinha proposto um modelo atômico saturniano, por se opor a ideia de uma esfera positiva com elétrons circulando dentro da mesma, apresentado por Lord Kelvin (YAGI, 1903 citado por LOPES, 2009).

De acordo com Forato, Pietrocola, Martins (2011), afirmam que os acontecimentos históricos são carregados de conceitos e envolvidos por um contexto característico da época, dessa maneira adaptações são necessárias para transformar o saber científico em saber escolar, contudo essa modificação deve levar em conta que a supressão ou simplificação de detalhes da narrativa histórica pode conduzir a uma distorção dos fatos. Como por exemplo, a descrição do modelo de Thomson nos livros didáticos, passando uma imagem de modelo estático, com elétrons dispersos na esfera positiva.

Nenhum dos livros referenciam os modelos atômicos de vortex e girostato, dos quais foram tentativas de Thomson propor um modelo atômico, com base nos conhecimentos previamente adquiridos. Embora a história aponte tais modelos como possibilidades para Thomson chegar ao seu modelo atual, reconhece-se que o nível de abstração para o entendimento desses modelos está além da percepção de um estudante do Ensino Médio, o que poderia trazer prejuízos ao processo de ensino-aprendizagem. Também os conteúdos

históricos devem ser selecionados de modo a atingir os objetivos pedagógicos (LEITE, 2002; FORATO, PIETROCOLA e MARTINS, 2011).

O quadro 3 apresenta de maneira resumida os principais resultados do modelo atômico de Thomson:

Quadro 3: Principais resultados do modelo de Thomson.

Trechos analisados	Principais resultados
Vida do Cientista	Nenhum livro menciona a vida de Thomson.
Participação de outros pesquisadores	Todos os livros mencionam William Crookes.
Omissões dos fatos históricos	A disputa entre alemães e ingleses sobre a natureza dos raios catódicos destacado apenas por Lisboa e colaboradores e Mortimer e Machado (2016).
Modelo Atômico	Chemello e colaboradores (2016) apresenta a descrição correta do modelo.
Informações incoerentes com a história	Esfera positiva e uniforme com elétrons incrustados.
Informações inadequadas para um livro didático	Os modelos atômicos de vórtex e girostatos.

Fonte: Autoria própria.

5.4 Modelo atômico de Rutherford

5.4.1 A versão histórica apresentada nos livros didáticos

O livro de Mól et al. (2016) é o único a mencionar sobre a vida de Rutherford, no quadro intitulado História da Ciência, conforme descrito no trecho abaixo:

Ernest Rutherford, o curioso garoto nascido em 30 de agosto de 1871 na cidade de Brightwater, Nova Zelândia, foi o quarto dos doze filhos do construtor autodidata e lavrador James Rutherford e da professora Marta, escoceses que tinham ido colonizar aquele país. Sua mãe teve papel marcante em sua vida, incentivando o interesse pelas Ciências que o menino demonstrou desde cedo. (MÓL et al., 2016, p. 165)

Ainda o livro de Mól et al. (2016) menciona o modelo atômico de Nagaoka, conforme descrito a seguir:

Em 5 de dezembro de 1903, o físico japonês Hantaro Nagaoka [1865-1950] apresentou à Sociedade de Física e Matemática de Tóquio um artigo [...]. Nele propôs seu modelo saturniano de átomo. O modelo de Nagaoka considerava o átomo com as seguintes características:

- Teria massa central grande, carregada positivamente.
- Essa massa central atrairia os elétrons de mesma massa e com cargas negativas.
- Os elétrons girariam em um anel circular, distribuídos em intervalos angulares iguais, repelindo-se uns aos outros. (MÓL et al., 2016, p.162)

No trecho acima, há um equívoco com relação a descrição do modelo de Nagaoka, quando os autores afirmam que: “Essa massa central atrairia os elétrons de mesma massa e com cargas negativas”. Isso induz a uma interpretação de como se o elétron apresentasse a mesma massa da partícula central, mas a versão apresentada nos escritos de Nagaoka é que os elétrons tem massa menor do que a da partícula central (NAGAOKA, 1904).

Chemello e colaboradores (2016) descreve o modelo de Nagaoka, conforme os escritos deste cientista. No artigo de 1911, Rutherford reconhece que não descreveu o modelo atômico de Nagaoka, mas que esse foi fundamental para pensar em seu modelo atômico (RUTHERFORD, 1911), isso mostra que pesquisas anteriores impulsionaram o desenvolvimento do seu modelo.

O livro de Mól et al. (2016), apresenta que Geiger e Marsden, realizaram vários testes com vários metais de espessuras diferentes, conforme descrito abaixo:

Geiger e Marsden realizaram muitos experimentos e investigaram a quantidade relativa de reflexão, a partir de metais de espessura variável, e a fração de partículas alfa incidentes que eram refletidas. Em suas observações, puderam identificar que a maioria das partículas alfa atravessava as lâminas metálicas, quando estas eram muito finas, mas que uma quantidade muito pequena dessas partículas retornava com grandes ângulos de desvio, que poderia retornar na mesma direção de incidência das partículas alfa ou variar o desvio até 90°. (MÓL, et al. 2016, p. 163)

Semelhante, a Mól et al. (2016), Chemello e colaboradores (2016), Novais e Antunes (2016), Lisboa e colaboradores (2016) e, Mortimer e Machado (2016), mostram a participação de Geiger e Marsden na realização do experimento, como também às observações do experimento de espalhamento das partículas alfa em folhas de ouro.

Já no livro de Reis (2016) atribui a autoria do experimento a Rutherford, contudo em seus relatos Rutherford deixou evidente em seu artigo de 1911 que os experimentos eram de autoria dos seus orientandos (RUTHERFORD, 1911). A preocupação com a autoria dos experimentos existe pelo fato de livros de Química passarem a ideia de que os experimentos

são de autoria de Rutherford e que foram apenas reproduzidos por seus alunos. É uma questão que parece simples, mas que na verdade pode ter muito significado, pois mostra que o cientista não trabalhou sozinho ou que todas as ideias para criação de uma proposta de modelo atômico não surgiu de uma única mente brilhante.

Ainda o livro de Reis (2016), é o único a apresentar o motivo do ouro ser escolhido para continuar com as pesquisas de Geiger e Marsden, conforme o trecho abaixo:

Inicialmente o ouro foi escolhido por ser um material inerte (pouco reativo). Esperava-se que a grande energia cinética das partículas alfa as faria atravessar uma finíssima folha metálica de ouro (de aproximadamente 10^{-4} mm de espessura), tal como uma bala de espingarda atravessa uma folha de papel sem ser rebatida. (REIS, 2016, p.148)

No trecho acima, a autora poderia ter enfatizado que o ouro foi escolhido, devido às suas características de homogeneidade, alto poder de dispersão e a capacidade de se obter folhas com espessuras muito finas, com o intuito de alcançar diferentes resultados a depender da espessura da lâmina (GEIGER;MARS DEN, 1913 citado por NETO, 2017), tal fato não é relatado nos demais livros.

Para Mól et al. (2016), Rutherford considerou o modelo atômico de Thomson para buscar respostas quanto aos ângulos de espalhamento das partículas alfa, conforme o trecho a seguir:

“De acordo com o modelo atômico de Thomson, as deflexões seriam improváveis: sendo muito mais leves que as partículas alfa, os elétrons teriam tanta dificuldade para desviar suas trajetórias quanto bolas de gude para desviar balas de canhão.”(MÓL, et al., 2016, p.163)

Semelhante ao livro de Mól et al. (2016), Mortimer e Machado (2016), Chemello e colaboradores (2016) também manifestam essa questão, pois os documentos originais de Rutherford revelaram que a proposta de modelo atômico de Thomson, era limitada no sentido de não explicar as reflexões sofridas pelas partículas alfa ao atingirem a chapa de ouro, pois no modelo de Thomson essas deflexões seriam mínimas, devido ao campo elétrico gerado pelos elétrons no átomo ser insuficiente para fazer as partículas sofrerem alguma reflexão (RUTHERFORD, 1911).

Segundo as observações de Rutherford, como eram pouquíssimas partículas que desviavam na direção em que foram incididas e com grande ângulo de espalhamento, isso poderia ser causado por uma massa concentrada no interior do átomo, dessa forma apresentando uma nova proposta de modelo atômico (RUTHERFORD, 1911).

5.4.2 Omissão aos fatos históricos

Semelhante a Dalton, o único livro a reportar-se sobre a biografia de Rutherford é o de Mól et al. (2016), os demais se limitam a informações pouco relevantes, como mencionado nas análises anteriores, que não consideram a colaboração de outros cientistas, muito menos as várias tentativas em busca de obter soluções para os fatos observados. Fatos estes que em sua maioria já estavam sendo investigados por cientistas de outros países e que serviram de subsídios para esclarecer as dúvidas ou até mesmo para consolidar um determinado modelo.

Com o exceção dos livros de Mól et al. (2016) e Chemello e colaboradores (2016), os demais omitem as informações concernentes ao modelo de Nagaoka causando uma impressão de que o modelo de Rutherford surgiu do acaso e não que foi baseado em pesquisas já publicadas por outro cientista (FORATO, PIETROCOLA, MARTINS, 2011).

O livro de Novais e Antunes (2016) não menciona os nomes de Geiger e Marsden, apenas relatam que Rutherford trabalhou com alguns colaboradores e isso se torna um problema, já que a elaboração do modelo atômico de Rutherford só foi possível, devido aos experimentos propostos por Geiger e Marsden para verificar o comportamento das partículas alfa (RUTHERFORD, 1911).

No livro de Reis (2016) o nome de Geiger e Marsden aparece em uma caixa ao lado do texto principal, demonstrando o caráter complementar da informação, deixando a critério do aluno ler ou não, isso é preocupante, pois, como já destacado anteriormente, esses dois cientistas foram os responsáveis, mesmo que indiretamente, pela construção do modelo.

Com exceção de Reis (2016), os demais livros não esclarecem o motivo da escolha do ouro, que atendia melhor aos objetivos do experimento, em virtude do seu maior poder de dispersão, já que o espanto dos cientistas estava no fato das partículas alfa ao serem lançadas na chapa de ouro, algumas poucas partículas eram refletidas na mesma direção em que foram incididas (GEIGER;MARSDEN, 1913 citado por NETO, 2017).

Outro ponto que não é destacado nos livros de Reis (2016), Novais e Antunes (2016) e, Lisboa e colaboradores (2016) é a inconsistência do modelo atômico de Thomson em

explicar o motivo dos grandes ângulos das partículas alfa ao atingirem a lâmina de ouro, esse foi um dos motivos para Rutherford constatar que a estrutura do átomo internamente não estava de acordo com a proposta do modelo de Thomson, levando-o a apresentar um novo modelo de átomo (RUTHERFORD, 1911).

As controvérsias no contexto do modelo atômico de Rutherford não foram encontradas nos livros didáticos e nem nos documentos históricos examinados. Uma explicação para esse fato é que a comunidade científica estava preocupada em explicar a estrutura atômica, com base nos elétrons, como o modelo de Rutherford não mencionava o elétron e não apresentava estabilidade, não despertou o interesse dos cientistas da época (LOPES, 2009).

Esclarece-se que a impressão causada pela descrição dos livros é que o modelo criado por Rutherford já constava de um núcleo com carga positiva e uma eletrosfera com elétrons de carga negativa, sendo que em seu primeiro registro sobre a estrutura atômica que foi em 1911 não constava tais informações, ele apenas convencionou o centro de massa de carga positiva (RUTHERFORD, 1911). As demais informações ficaram em aberto num primeiro momento, mas após análises gradativas de seus resultados foram escalonadas em artigos subsequentes publicados pelo próprio Rutherford em 1914 e 1920. Além do mais o termo eletrosfera não foi identificado nos artigos investigados (RUTHERFORD, 1914; RUTHERFORD, 1920). O modelo de átomo com todos os elementos que se conhece hoje, foi constituído por um processo, não foi algo imediato como os livros deixam transparecer.

O modelo atômico de Rutherford resumiu-se a um centro de massa envolvida por uma atmosfera com carga elétrica oposta ao do centro, porém seu modelo não foi adiante devido aos problemas de instabilidade, mas Rutherford já sabia que para manter a estabilidade, o modelo atômico teria que ser dinâmico (RUTHERFORD, 1911).

Reforça-se que até 1911, Rutherford não havia definido as cargas da massa central, nem da atmosfera envolvida pela mesma, tal ponto foi retomado em 1914 quando nomeou de núcleo essa massa central e afirmou que a atmosfera era constituída de elétrons (RUTHERFORD, 1914). Ainda prosseguindo seus estudos, em 1920, Rutherford declara que a carga do núcleo é positiva (RUTHERFORD, 1920). Além do mais, a proposta de modelo atômico de Rutherford foi retomada em 1913 por Bohr que procurava respostas para sanar os problemas da instabilidade nesse modelo, assumindo como pressuposto a teoria de Planck do *quantum* de energia (BOHR, 1913a).

O quadro 4 apresenta de maneira resumida os principais resultados do modelo atômico de Rutherford:

Quadro 4: Principais resultados do modelo de Rutherford.

Trechos analisados	Principais resultados
Vida do Cientista	Apenas Mól et al.(2016) menciona a vida de Rutherford.
Participação de outros pesquisadores	Apenas Novais e Antunes (2016) não menciona Geiger e Marsden.
Omissões dos fatos históricos	Apenas os livros de Mól et al. (2016) e Chemello e colaboradores (2016) mencionam o modelo de Nagaoka.
Modelo Atômico	Todos apresentam o modelo atômico.
Informações incoerentes com a história	A descrição dos modelos não foi imediato, mas se deu por um processo.
Informações inadequadas para um livro didático	Não foram encontradas.

Fonte: A autoria própria.

5.5 Modelo atômico de Bohr

5.5.1 A versão histórica apresentada nos livros didáticos

O livro de Chemello e colaboradores (2016) menciona que Bohr trabalhou com Rutherford, conforme o trecho a seguir: “Em 1912, Rutherford recebeu um novo cientista em seu laboratório. Tratava-se de Niels Bohr (1885-1962), um exímio físico teórico dinamarquês, que passou a estudar as limitações do modelo atômico de Rutherford.” (CHEMELLO et al., 2016, p.94)

Semelhante ao livro de Chemello e colaboradores (2016), o livro de Novais e Antunes (2016), Lisboa e colaboradores (2016) e, Mortimer e Machado (2016) mencionam o trabalho em conjunto desses dois cientistas na formulação do modelo de Rutherford-Bohr, contudo para contextualizar os fatos, os autores dos livros poderiam ter esclarecido que o motivo deste trabalho, foi devido a discussão de Bohr com Thomson, o que fez Bohr trilhar novos

caminhos após conhecer Rutherford e se interessar por seus trabalhos no campo da radioatividade e, posteriormente retomando a proposta de modelo atômico (NETO, 2017; HEILBRON; KUHN, 1969).

O livro de Lisboa e colaboradores (2016) menciona o nome de Max Planck, conforme o trecho a seguir:

Bohr sugeriu que uma teoria sobre a luz, proposta por Max Planck (1858-1962), poderia ser aplicada ao átomo. Segundo Planck, toda energia do elétron é **quantizada**, ou seja, os elétrons absorvem ou emitem quantidades fixas de energia na forma de pequenos pacotes denominados de *quanta*. (LISBOA et al., 2016, p.89)

Semelhante ao livro de Lisboa e colaboradores (2016), os livros de Reis (2016), Chemello e colaboradores (2016) e, Mortimer e Machado (2016) mencionam que Bohr utilizou a teoria de Planck, para explicar o movimento dos elétrons por meio da quantização de energia e conseqüentemente a estabilidade do átomo. Os autores acrescentam também que Bohr teve acesso aos estudos de Balmer que assim como os de Planck contribuíram para explicar o espectro de linhas.

5.5.2 Omissão aos fatos históricos

De modo similar a análise realizada em Thomson e pelos mesmos motivos citados anteriormente, nenhum dos livros apresenta o contexto histórico, familiar e acadêmico que foram determinantes para Bohr seguir com seus estudos na constituição da matéria.

Outro ponto que não é mencionado em nenhum livro são os desentendimentos entre Bohr e Thomson. A desavença começou quando Bohr resolveu apontar os erros de alguns artigos publicados por Thomson. Thomson não gostou de ouvir tais críticas sobre seu artigo, ainda mais, porque Bohr não soube justificar os mesmos, logo essa controvérsia foi determinante para Bohr decidir trabalhar com Rutherford e, aprimorar o modelo deste, por isso que alguns livros apresentam o modelo de Rutherford-Bohr (NETO, 2017; HEILBRON; KUHN, 1969). Ainda os livros de Mól et al. (2016) e Reis (2016) não mencionam que Bohr trabalhou com Rutherford.

Nenhum dos livros menciona o nome de Nicholson, cuja proposta antecedeu os trabalhos de Bohr. Este cientista buscou investigar as linhas espectrais em corpos celestes utilizando conhecimentos da espectroscopia e da teoria de Planck (NETO, 2017). Suas pesquisas serviram de inspiração para Bohr utilizar a teoria de Planck para discutir o espectro de linhas, inclusive nos artigos do próprio Bohr, o nome de Nicholson é mencionado com

grande frequência. Compreende-se que uma discussão sobre o modelo atômico de Nicholson é de extrema complexidade para se introduzir em um livro didático, contudo apenas a menção de que Bohr consultou seus trabalhos seria válido para mostrar que pesquisas anteriores embasaram o desenvolvimento de sua teoria, revelando que a Ciência é construída por meio de um trabalho coletivo. Se um cientista foi capaz de elaborar uma teoria não se deve apenas a sua inteligência, mas principalmente porque outro pesquisador anterior a ele investigou o mesmo fenômeno e, forneceu bases teóricas para seus estudos, para novas descobertas no campo científico e proposição de teorias. É assim que a Ciência conquista seu espaço, por meio de atividades colaborativas e de um consenso entre a comunidade científica (COSTA, 1983 apud LEITE, 2002).

O livro de Mól et al. (2016), não menciona o nome de Max Planck que foi uma das figuras importantes na introdução da mecânica quântica, pois a Física Clássica não conseguia explicar a transição dos elétrons em um sistema microscópico. Assim, Bohr deu um novo sentido a teoria de Planck ao unir com a proposta de modelo atômico de Rutherford e explicar os efeitos da radiação emitida em uma transição eletrônica. Além disso, o trabalho de Planck também foi utilizado por Nicholson para explicar os espectros dos corpos celestes (BOHR, 1913a).

Já no livro de Novais e Antunes (2016) o nome de Max Planck está associado aos seus estudos sobre mecânica quântica, porém essa informação vem em um quadro, como uma informação adicional, que parece não se relacionar com os estudos Bohr. No livro não fica claro que os estudos de Planck conduziram Bohr nas interpretações do movimento dos elétrons no modelo de Rutherford acerca das emissões de radiação eletromagnética.

A proposta de modelo atômico de Bohr se apresenta no formato de postulados nos livros didáticos, em que os elétrons estão distribuídos nos níveis de energia. O elétron não pode permanecer parado na órbita. Ele recebe uma determinada energia para deslocá-lo do seu nível estável para níveis mais energéticos, devido a instabilidade o elétron retorna para sua órbita de origem emitindo uma energia quantizada. Esclarece-se que o modelo utilizado por Bohr foi o de Rutherford, justamente para explicar o problema da estabilidade que só poderia ser explicado pela mecânica quântica, assumindo o pressuposto de que a energia é quantizada, fornecendo bases para explicar o espectro do hidrogênio, de modo que seus postulados conduzem a explicações sobre o movimento dos elétrons com base na teoria de Planck. Mas no decorrer da história, o próprio Bohr vai relatando algumas dessas características

apresentadas nos livros didáticos, sem contudo deixar claro a quantidade de níveis de energia presentes em um átomo (BOHR, 1913a; BOHR, 1913b; BOHR, 1913c).

O quadro 5 apresenta de maneira resumida os principais resultados do modelo atômico de Bohr:

Quadro 5: Principais resultados do modelo de Bohr.

Trechos analisados	Principais resultados
Vida do Cientista	Nenhum livro menciona a vida de Bohr.
Participação de outros pesquisadores	O livro de Mól et al. (2016) não menciona o nome de Planck.
Omissões dos fatos históricos	Nenhum livro menciona o desentendimento entre Bohr e Thomson.
Modelo Atômico	Os detalhes da descrição estão de acordo com a história.
Informações incoerentes com a história	Não foram encontradas.
Informações inadequadas para um livro didático	Abordagem do modelo atômico de Nicholson.

Fonte: Autoria própria.

6 CONCLUSÃO

Retratar a história dos modelos atômicos no período anterior e posterior a construção do laboratório de Cavendish, foi importante para mostrar a evolução dos modelos atômicos, iniciando-se com as primeiras concepções dos filósofos gregos com base em suas observações, seguindo para o pressuposto daltoniano que foi fortemente influenciado pela mecânica newtoniana (VIANA, 2007). Esse foi o marco da história anterior a construção do laboratório de Cavendish. Logo, com a criação do laboratório, vários trabalhos no ramo da ciência atômica foram desenvolvido em colaboração com pesquisadores de diversos países entre eles: Thomson, Nagaoka, Nicholson, Rutherford e Bohr que resultaram nos modelos conhecidos até hoje (KIM, 1995).

Deste modo, considerando a importância da História da Ciência como estratégia de ensino para motivar o aluno nos seus estudos e na compreensão do conhecimento científico,

os livros didáticos analisados, apresentaram um conteúdo histórico integrado às diversas áreas de conhecimento da Química e da Física. Os trechos submetidos a análise em sua maioria foram questionados quanto a contextualização dos fatos, destacando-se pequenos detalhes que não são citados nos livros didáticos, mas que são importantes para aproximar do contexto real da narrativa histórica, incluindo informações históricas que fundamentam ou esclarecem o que estava sendo dito em alguns fragmentos, mostrando como a Ciência foi de fato construída.

Outro ponto importante que não é detalhado em grande parte dos livros didáticos é a vida do cientista. Nesse sentido, conhecer o percurso histórico corrobora para uma visão de Ciência Humanizada, pois alguns destes vieram de famílias humildes, são pessoas comuns que conseguiram alcançar uma posição respeitada na Ciência pelo seu esforço e dedicação, mas principalmente por professores que foram suas inspirações e que os apoiaram na sua caminhada, saber de tal contexto pode estimular a curiosidade do aluno a respeito da Ciência, tornando o estudo mais interessante (CACHAPUZ et al, 2005).

Também a participação direta ou indireta de pesquisadores no desenvolvimento do atomismo e na construção dos modelos é um assunto bastante destacado nos livros analisados, isso mostra que a Ciência não é linear, não é uma ideia que surgiu repentinamente na mente do cientista e foi concebida por um gênio, mas envolve um trabalho árduo e de incessante estudo por meio do qual os cientistas vão utilizando-se de pesquisas anteriores para fomentar as suas investigações, inclusive trabalhando em equipe (CACHAPUZ et al, 2005).

Quanto aos conflitos no contexto dos modelos atômicos, poucas menções foram identificadas em alguns livros didáticos, esse seria um dos pontos que os autores poderiam dar mais ênfase nos livros didáticos, pois as discussões entre os cientistas e pesquisadores foram um passo importante para o desenvolvimento e consolidação dos modelos atômicos.

Com relação aos trechos que se mostram incoerentes com a história, percebeu-se que a simplificação do conteúdo causou uma alteração da narrativa histórica versada no livro, especialmente no modelo de Thomson, em que a maioria dos livros apontam para um modelo estático (FORATO, PIETROCOLA, MARTINS, 2011).

Por fim, em relação às informações históricas que não são apropriadas para um livro didático como por exemplo, sobre o calórico que é mencionado no modelo de Dalton e os modelo de vortex e girostatos que foram propostos por Thomson, reconhece-se que tais conteúdos são complexos para esse nível de ensino. Também salienta-se que para isso as

narrações históricas devem ser selecionadas para atender aos objetivos educacionais, no entanto sem desvirtuar determinado fato histórico. Essa tarefa não é fácil e, é por esse motivo, que a história apresentada pelos livros didáticos passa por um processo de transposição didática que visa tornar o conteúdo propício para o contexto escolar. Entretanto, o que se observou durante as análises vai ao encontro do que é defendido por vários pesquisadores (CACHAPUZ et al., 2005; NETO, 2017; FORATO, PIETROCOLA, MARTINS, 2011; LEITE, 2002) de que a supressão ou a simplificação de certos episódios históricos influencia na visão de Ciência que se deseja transmitir aos estudantes, uma vez que se perde os traços característicos do contexto histórico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAGÃO, M. J. **História da Química**. Rio de Janeiro: Interciência, 2008.

BARDIN, L. **Análise de conteúdo**. Lisboa: Edições 70, p. 225, 1977.

BORNHEIM, G.A. **Os filósofos pré-socráticos**. São Paulo: Editora Cultrix, 1998.

BOHR, N. XXXVII. On the Constitution of Atoms and Molecules. **The Philosophical Magazine de Londres, Edimburgo e Dublin e Journal of Science**, v. 26, n. 153, p. 476-502, 1913a. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/14786441308634993>>. Acesso em: 18 nov 2019.

BOHR, N. Part II.–Systems containing only a single nucleus. **Philosophical Magazine**, v. 26, p.1-26 1913b. Disponível em: <<http://people.isy.liu.se/en/jalar/kurser/QF/references/Bohr1913II.pdf>>. Acesso em: 18 nov 2019.

BOHR, N. Part III.–Systems containing several nuclei. **Philosophical Magazine**, v. 26, p. 857-875, 1913c. Disponível em: <<http://www.nba-old.nbi.dk/pdf/files/trilogypart3.pdf>>. Acesso em: 18 nov 2019.

BRASIL, Ministério da Educação. **PCNEM - Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio. Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias**. 2004. Disponível em: <<http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/ciencian.pdf>>. Acesso em: 22 mai 2019.

BRASIL. Ministério da Educação. **PNLD - Programa Nacional do Livro Didático**. [s.d]. Disponível em: <<http://portal.mec.gov.br/pnld/apresentacao>>. Acesso em: 13 mai 2019.

CACHAPUZ, A.; GIL-PEREZ, D.; CARVALHO, A.M.P.; PRAIA, J.; VILCHES, A. **A Necessária Renovação do Ensino de Ciências**. São Paulo: Cortez, 2005. Disponível em: <<http://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/17569/material/T.5-%20A%20NECESS%C3%81RIA%20RENOVA%C3%87%C3%83O%20DO%20ENSINO%20DAS%20CI%C3%84NCIAS.pdf>>. Acesso em: 18 set 2019.

CALLEGARIO, L.J.; HYGINO, C.B.; ALVES, V.L.O.; LUNA, F.J.; LINHARES, M.P. A História da Ciência no Ensino de Química: Uma Revisão. **Revista Virtual de Química**. v.7, n.3, p. 977-997, 2015.

CHASSOT, A.I. Alquimiando a química. **Química Nova na Escola**. v. 1, p. 20-22, 1995.

CHAVES, L.M.M.P. A História da Ciência no Estudo dos Modelos Atômicos em Livros Didáticos de Química. **Dissertação** (Mestrado em Educação). Universidade de Brasília, Brasília, 2011.

CISCATO, C.A.M.; PEREIRA, L.F.; CHEMELLO, E.; PROTI, P.B. **Química**. 1ª ed. São Paulo: Moderna, 2016.

DALTON, J. **Meteorological Observations and Essays**. Harrison & Crosfield, 1834.

DALTON, J. Experimental Essays On the constitution of mixed gases; on the force of steam or vapour from water and other liquids in different temperatures, both in a Torricellian vacuum and in air; on evaporation; and on the expansion of gases by heat. *In: Memoirs of the Literary and Philosophical Society of Manchester*. v.5, 1802, p. 535-603.

DALTON, J. On the Constitution of Mixed Elastic Fluids. *In: A New System of Chemical Philosophy*. v.1, Parte I, 1808, p. 150-193.

DALTON, J. III. On the absorption of gases by water and other liquids. **Philosophical Magazine Series**. v.24, n.93, 1806, p. 15-24. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/14786440608563325>>. Acesso em: 18 set 2019.

DOMINGUINI, L; ORTIGARA, V. Análise de conteúdo como metodologia para seleção de livros didáticos de química. **Encontro Nacional de Ensino de Química**, v. 15, 2010. Disponível em: <<http://www.s bq.org.br/eneq/xv/resumos/R0434-2.pdf>>. Acesso em: 20 abr 2019.

DOWNARD, K.M. Cavendish's crocodile and dark horse: the lives of Rutherford and Aston in parallel. **Mass spectrometry reviews**, v. 26, n. 5, p. 713-723, 2007. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/mas.20145>>. Acesso em: 11 out 2019.

EVE, A.S.; CHADWICK, J. Lord Rutherford, 1871-1937. **Obituary Notices of Fellows of the Royal Society**. v.2, n.6, p.394-423, 1936. Disponível em: <<https://doi.org/10.1098/rsbm.1938.0025>>. Acesso em: 11 out 2019.

FALCONER, I. J J Thomson and the discovery of the electron. **Phys Educ**, v.32, n.4, 226-231, 1997. Disponível em: <doi: 10.1088 / 0031-9120 / 32/4/015>. Acesso em: 21 nov 2019.

FILGUEIRAS, C.A.L. Duzentos anos da Teoria Atômica de Dalton. **Química Nova na Escola**, n.20, p. 38-44. 2004. Disponível em: <<http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc20/v20a07.pdf>>. Acesso em: 05 jun 2019.

FIOLHAIS, M.; RUIVO, M. DA C. O modelo atômico saturniano de Nagaoka. **Gazeta de Física**, v. 19, 1996. Disponível em: <<https://www.spf.pt/magazines/GFIS/414/article/1277/pdf>>. Acesso em: 07 ago 2019.

FLEMING, R. S. Newton, Gases and Daltonian Chemistry: the Foundations of Combination in Definite Proportions. **Annals of Science**. v. 31, n. 6, p. 561- 574, 1974. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1080/00033797400200461>>. Acesso em: 07 ago 2019.

FORATO, T. C. de M.; PIETROCOLA, M.; MARTINS, R.A. Historiografia e natureza da ciência na sala de aula. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 28, n. 1, p. 27-59, 2011. Disponível em: <<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3683153>>. Acesso em: 27 out 2019.

GREENBERG, A. **Uma breve história da Química - da alquimia as ciências moleculares modernas**. Tradução da primeira edição inglesa: Henrique Eisi Toma; Paola Corio; Viktoria Klara Lakatos Osorio. São Paulo: Blucher, 2009.

GRIFFITHS, I.W. J.J. Thomson — the Centenary of His Discovery of the Electron and of His Invention of Mass Spectrometry. **Rapid Communications in Mass Spectrometry**, v.11, n.1, p.3–16, 1997. Disponível em: <[https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0231\(19970115\)11:1<::AID-RCM768>3.0.CO;2-V](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0231(19970115)11:1<::AID-RCM768>3.0.CO;2-V)>. Acesso em: 06 out 2019.

HEILBRON, J. L., & KUHN, T. S. The Genesis of the Bohr Atom. **Historical Studies in the Physical Sciences**, v.1, p.211–290. 1969. Disponível em: <[http://pcleon.if.ufrgs.br/pub/transposicao/heilbron&kuhn1969%20\(the%20genesis%20of%20the%20bohr%20atom\).pdf](http://pcleon.if.ufrgs.br/pub/transposicao/heilbron&kuhn1969%20(the%20genesis%20of%20the%20bohr%20atom).pdf)>. Acesso em: 05 jul 2019.

HENRY, W. C. **Memoirs of the life and scientific researches of John Dalton**. 1 ed. London: Cavendish Society, London, 1854.

HOTTECKE, D.; SILVA, C.C.; Why implementing history and philosophy in school science education is a challenge: An analysis of obstacles. **Science & Education**, v. 20, n. 3-4, p. 293-316, 2011. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s11191-010-9285-4>>. Acesso em: 04 jul 2019.

KIM, D.-W. J.J. Thomson and the emergence of the Cavendish School, 1885-1990. **The British Journal for the History of Science**, v.29, n.02, p.191-226. 1995. Disponível em:<<https://doi.org/10.1017/S0007087400032969>>. Acesso em: 16 set 2019.

KRAGH, H. The vortex atom: A Victorian theory of everything. **Centaurus**, v. 44, n. 1-2, p. 32-114, 2002. Disponível em:<<https://doi.org/10.1034/j.1600-0498.2002.440102.x>>. Acesso em: 21 nov 2019.

LAJOLO, M. Livro didático: um (quase) manual de usuário. **Em aberto**, v. 16, n. 69, 2008. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.24109/2176-6673.emaberto.16i69.2061>>. Acesso em: 04 jul 2019.

LAPPERT, M. F.; MURRELL, J.N. John Dalton, the man and his legacy: the bicentenary of his Atomic Theory. **Dalton Transactions**, n. 20, p. 3811-3820, 2003. Disponível em:

<<https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2003/dt/b307622a#!divAbstract>>. Acesso em: 07 ago 2019.

LEITE, L. History of science in science education: Development and validation of a checklist for analysing the historical content of science textbooks. **Science & Education**, v. 11, n. 4, p. 333-359, 2002. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1023/A:1016063432662>>. Acesso em: 26 out 2019.

LEITE, R.C.M.; FERRARI, N.; DELIZOICOV, D. A história das leis de Mendel na perspectiva fleckiana. **Revista brasileira de pesquisa em Educação em Ciências**, v. 1, n. 2, 2001. Disponível em: <<https://periodicos.ufmg.br/index.php/rbpec/article/view/4175/2740>>. Acesso em: 26 out 2019.

LISBOA, J.C.F.; BRUNI, A.T.; NERY, A.L.P.; LIEGEL, R.M.; AOKI, V.L.M.. **Ser Protagonista: Química**. 1º ano: ensino médio. 3ª ed. São Paulo: Edições SM, 2016.

LOPES, A. R. C. Livros didáticos: obstáculos verbais e substancialistas ao aprendizado da ciência química. **Revista Brasileira de Estudos Pedagógicos**, v. 74, n. 177, 1993. Disponível em: <<http://rbepold.inep.gov.br/index.php/rbep/article/download/1196/1170>>. Acesso em: 01 jul 2019.

LOPES, C.V.M. Modelos atômicos no início do século XX: da física clássica à introdução da teoria quântica. **Tese (Doutorado)**. Pontifícia Universidade Católica de São Paulo. São Paulo, 2009.

LOPES, C.V.M.; MARTINS, R. de A. JJ Thomson e o uso de analogias para explicar os modelos atômicos: O ‘Pudim de passas’ nos livros texto. **VII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências**, Florianópolis, SC, 2009. Disponível em: <<http://fep.if.usp.br/~profis/arquivos/viienpec/VII%20ENPEC%20-%202009/www.foco.fae.ufmg.br/cd/pdfs/1682.pdf>>. Acesso em: 21 nov 2019.

LUDKE, M.; ANDRÉ, M. Pesquisa em educação: abordagens qualitativas. **Em Aberto**, v. 5, n. 31, 1986. Disponível em: <https://moodle.ufsc.br/pluginfile.php/2431625/mod_resource/content/1/Pesquisa%20em%20Educa%C3%A7%C3%A3o%20Abordagens%20Qualitativas%20vf.pdf>. Acesso em: 02 nov 2019.

MARTINS, R. de A. Henry Cavendish (1731-1810). In: MARTINS, R. de A. **Coleção: “Os cientistas”** São Paulo: Abril Cultural, 1972. p. 197-212. Disponível em: <https://www.academia.edu/3821578/Henry_Cavendish_17311810._Os_Cientistas._MARTINS_Roberto_de_Andrade>. Acesso em: 17 set 2019.

MARTINS, R. de A. Introdução: a história das ciências e seus usos na educação. **Estudos de história e filosofia das ciências: subsídios para aplicação no ensino**. São Paulo: Editora Livraria da Física, p. 17-30, 2006. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/275832971>>. Acesso em: 23 nov 2019.

MATTHEWS, M.R. História, Filosofia e Ensino de Ciências: a tendência atual de reaproximação. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 12, n. 3, p.164-214, 1995. Disponível em: <<https://doi.org/10.5007/%25x>>. Acesso em: 10 jul 2019.

MATTHEWS, M. R. A Role for History and Philosophy in Science, Teaching', **Educational Philosophy and Theory**, v. 20 n. 2, p. 67-81, 1988. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/BF01807043>>. Acesso em: 10 jul 2019.

MELZER, E. E. M.; AIRES, J. A. A história do desenvolvimento da teoria atômica: um percurso de Dalton a Bohr. **Amazônia: Revista de Educação em Ciências e Matemáticas**, v. 11, n. 22, p. 62-77, 2015. Disponível em: <<https://periodicos.ufpa.br/index.php/revistaamazonia/article/view/2137>>. Acesso em: 01 jul 2019.

MORTIMER, E.F.; MACHADO, A.H. **Química: ensino médio**. 3ª ed. São Paulo: Scipione, 2016.

MOTOYAMA, S. Ciência, cultura e a tecnologia e a restauração Meiji. **Estudos Japoneses**, n. 14, p. 93-100, 1994.

MOURA, C.B. Discutindo a natureza da ciência no Ensino Médio: um caminho a partir do desenvolvimento dos modelos atômicos. **Dissertação (Mestrado)**. Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, Rio de Janeiro, 2014.

MOURA, C.B.; GUERRA, A. Modelos atômicos em livros didáticos de química do PNLEM 2012: uma análise qualitativa à luz da história e filosofia da ciência. Atas do **IX Encontro de Pesquisas em Educação em Ciências - IX ENPEC**, Águas de Lindóia, SP, 2013. Disponível em: <<http://www.nutes.ufjf.br/abrapec/ixenpec/atas/resumos/R0573-1.pdf>>. Acesso em: 28 mai 2019.

MOURA, C.; GUERRA, A. Conflitos em abordagens históricas para temas consolidados na ciência escolar: um estudo de caso sobre os modelos atômicos. **Tecné Episteme y Didaxis TED**, p.851-857, 2016. Disponível em: <<https://revistas.pedagogica.edu.co/index.php/TED/article/view/4824>>. Acesso em: 22 set 2019.

NAGAOKA, H. Combined effects of torsion and longitudinal stress on the magnetization of nickel. **Tokyo Sugaku-Butsurigaku Kwai Kiji**, v. 4, n. 2, p. 44-47, 1888. Disponível em: <https://www.jstage.jst.go.jp/article/subutsukiji1885b/4/2/4_2_44/_pdf> Acesso em: 08 ago 2019.

NAGAOKA, H. LV. Kinetics of a system of particles illustrating the line and the band spectrum and the phenomena of radioactivity. **The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science**, v.7, n.41, p. 445-455, 1904. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/14786440409463141>>. Acesso em: 08 jul 2019.

NASH, L.K. The Origin of Dalton's Chemical Atomic Theory. **Isis**, v.47 n.2, p.101-116, 1956. Disponível em: <<https://www.journals.uchicago.edu/doi/abs/10.1086/348480?journalCode=isis>>. Acesso em: 02 jun 2019.

NETO, J.E.S. **Histórias da Química**. 1 ed. Curitiba: Appris, 2017.

NEVES, L.S. das; FARIAS, R.F. Química prática medieval. *In*: NEVES, L.S. das; FARIAS, R.F. **História da Química: um livro texto para a graduação**. 2 ed. Campinas-SP: Átomo, 2011. p. 34-37.

NOVAIS, V.L.D.; ANTUNES, M.T. **Vivá: Química**. v 1: ensino médio. Curitiba: Positivo, 2016.

OESPER, R.E. The Cavendish laboratory (Crowther, J. G.). **Journal of Chemical Education**, v.53 n.5, p. A277. 1976. Disponível em: <<https://pubs.acs.org/doi/10.1021/ed053pA277.2>>. Acesso em: 05 jul 2019.

OKI, M.C.M. Controvérsias sobre o atomismo no século XIX. **Química Nova**, v. 32, n. 4, p. 1072-1082, 2009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-40422009000400043>>. Acesso em: 07 out 2019.

OKUNO, E.; YOSHIMURA, E.M. **Física das radiações**. São Paulo: Oficina de textos, 2010.

PAGLIARINI, C.R. Uma análise da história e filosofia da ciência presente em livros didáticos de física para o ensino médio. **Dissertação de Mestrado**. Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

PEREIRA, L.S.; SILVA, J.L.P.B. Uma História do Antiatomismo: Possibilidades para o Ensino de Química. **Química Nova na Escola**, v.40, n.1, p. 19-24, 2017 Disponível em: <http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc40_1/05-HQ-28-17.pdf>. Acesso em: 24 nov 2019.

PORTO, C.M. O atomismo grego e a formação do pensamento físico moderno. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 35, n. 4, p. 4601-4611, 2013. Disponível em: <https://www2.unifap.br/rsmatos/files/2013/10/atomismo_grego.pdf>. Acesso em: 18 jul 2019.

REIS, M. **Química: ensino médio**. 2ª ed. São Paulo: Ática, 2016.

RUTHERFORD, E. VIII. Uranium radiation and the electrical conduction produced by it. **The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science**, v. 47 n. 284, p.109–163. 1899 Disponível em: <<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/14786449908621245>>. Acesso em: 01 jul 2019.

RUTHERFORD, E. The scattering of α and β particles by matter and the structure of the atom. **Philosophical Magazine**, v. 92, n. 4, p. 379-398, 1911. Disponível em: <<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/14786435.2011.617037>> Acesso em: 03 jul 2019.

RUTHERFORD, Ernest. LVII. The Structure of the Atom. **The Philosophical Magazine de Londres, Edimburgo e Dublin e Journal of Science** , v. 27, n. 159, p. 488-498, 1914. Disponível em: <<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/14786440308635117?journalCode=tphm17>>. Acesso em: 28 out 2019.

RUTHERFORD, E. Bakerian lecture: nuclear constitution of atoms. **Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Containing Papers of a Mathematical and Physical Character**, v. 97, n. 686, p. 374-400, 1920. Disponível em: <<https://royalsocietypublishing.org/doi/abs/10.1098/rspa.1920.0040>>. Acesso em: 12 out 2019.

SANTOS, M.C.A. dos. A lição de Heráclito. **Trans/Form/Ação**, São Paulo, vol.13, 1990. p. 01-09. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/trans/v13/v13a01.pdf>>. Acesso em: 21 set 2019.

SANTOS, W.L.P.S.; MÓL, G.S.; DIB, S.M.F.; MATSUNAGA, R.T.; SANTOS, S.M.O; CASTRO, E.N.F; SILVA, G.S.; FARIAS, S.B. **Química Cidadã: ensino médio**, 1ª série. 3ª ed. São Paulo: Editora AJS, 2016.

SIEVERS, D.R. Niels Bohr. **Journal of Chemical Education**, v. 59, n. 4, p. 303, 1982. Disponível em: <<https://doi.org/10.1021/ed059p303>>. Acesso em: 10 set 2019.

TFOUNI, L.V.; CAMARGO, D.A.F de; TFOUNI, E. A teoria de Piaget e os exercícios dos livros didáticos de Química. **Química Nova**, v.10, n.2, 1987. Disponível em:<http://quimicanova.sbq.org.br/imagebank/pdf/Vol10No2_127_v10_n2_%288%29.pdf>. Acesso em: 16 set 2019.

THOMSON, J.J. XL. Cathode Rays . **The Philosophical Magazine de Londres, Edimburgo e Dublin e Journal of Science**, v. 44, n. 269, p. 293-316, 1897. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1080/14786449708621070>>. Acesso em: 21 nov 2019.

THOMSON, J.J. XXIV. On the structure of the atom: an investigation of the stability and periods of oscillation of a number of corpuscles arranged at equal intervals around the circumference of a circle; with application of the results to the theory of atomic structure. **The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science**, v. 7, n. 39, p. 237-265, 1904. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1080/14786440409463107>>. Acesso em: 21 nov 2019.

THOMSON, J.J. **A teoria corpuscular da matéria** . A. Constable & Company, Limited, 1907. Disponível em: <<https://doi.org/10.1038/077505a0>>. Acesso em: 21 nov 2019.

THOMSON, J. J. **Recollections and reflections**. Master of Trinity College Cambridge, 1936. Disponível em: <<https://archive.org/details/in.ernet.dli.2015.176233>>. Acesso em: 27 jun 2019.

VIANA H. E. B. A construção da teoria atômica de Dalton como estudo de caso - e algumas reflexões para o ensino de química. **Dissertação (Mestrado)**. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2007.

YUKAWA, H. Prof. Hantaro Nagaoka. **Nature** , v. 168, n. 4271, p. 409-409, 1951. Disponível em: <<https://doi.org/10.1038/168409a0>>. Acesso em: 19 set 2019.