

O que dizem os livros didáticos de química do PNLD 2021 sobre a teoria atômica?

Marcos Wilson Vicente de Assis

Daniel Augusto Barra de Oliveira

Verenna Barbosa Gomes

Resumo

Os livros de química apresentam o conteúdo de atomística no início do processo de aprendizagem da Química no ensino médio. As abordagens sobre a teoria atômica se diferenciam. Neste trabalho, buscou-se responder a seguinte pergunta: quais as principais lacunas históricas evidenciadas na construção dos modelos atômicos dos livros didáticos? Assim, trata-se de uma pesquisa bibliográfica, com abordagem qualitativa. Os objetos de pesquisas foram 3 livros didáticos da área de Ciências da Natureza e artigos originais que discutem os modelos atômicos. Em relação aos livros didáticos, os critérios para seleção foram: 1) Livros para os cursos do 1º aos 3º anos do Ensino Médio que contemplassem os conteúdos relativos aos modelos atômicos; 2) Livros aprovados pelo Programa Nacional do Livro e do Material Didático de 2021. Em relação aos artigos de fontes originais, os critérios de seleção foram: artigos escritos por autores clássicos da área de estudo sobre os modelos atômicos: Thomson, Rutherford, Bohr e Erwin Schrödinger. A análise dos livros foi pautada na Análise de Conteúdo de Moraes (1999). Para tanto, foi feita uma exposição dos modelos atômicos dentro da perspectiva dos autores originais das teorias. Depois comparamos as ideias dos atomistas com os modelos atômicos descritos nos exemplares. Também são verificados se os elementos históricos são abordados nos materiais disponibilizados aos estudantes. Por fim, nota-se que as obras para o ensino médio do PNLD que foram analisadas apresentam uma incipiência das atuais aplicações tecnológicas da química por meio da teoria atômica baseada na mecânica quântica.

Palavras-chave: Átomo, Modelos atômicos, História da Ciência

Abstract

Chemistry textbooks present the content of atomistics at the beginning of the Chemistry learning process in high school. The approaches to atomic theory differ. In this work, we sought to answer the following question: what are the main historical gaps evidenced in the construction of atomic models in textbooks? Thus, this is a bibliographic research, with a qualitative approach. The research objects were 3 textbooks in Natural Sciences and original articles that discuss atomic models. Regarding the textbooks, the selection criteria were: 1) Books for courses from the 1st to 3rd years of High School that covered content related to atomic models; 2) Books approved by the 2021 National Textbook and Teaching Material Program. Regarding the articles from original sources, the selection criteria were: articles written by classic authors in the field of study on atomic models: Thomson, Rutherford, Bohr and Erwin Schrödinger. The analysis of the books was based on Moraes' Content Analysis (1999). To this end, an exposition of the atomic models was made from the perspective of the original authors of the theories. Then, we compared the ideas of the atomists with the atomic models described in the copies. We also verified whether the historical elements were addressed in the materials made available to the students. Finally, it was noted that the works for high school education of the PNLD that were analyzed present an incipience of the current technological applications of chemistry through the atomic theory based on quantum mechanics.

Keywords: Atom, Atomic models, History of Science.

INTRODUÇÃO

A construção do conhecimento científico é um processo cumulativo e colaborativo, em que teorias e conceitos são continuamente revisados e refinados, contribuindo para o entendimento do comportamento da matéria. Todavia, há um senso comum de que os modelos atômicos são a base essencial para essa tal compreensão, sendo, portanto, necessário colocar em pauta a discussão de que o avanço da ciência pode ser compreendido como resultado de um processo histórico-cultural que não depende, exclusivamente, da ideia de átomos e suas representações, mas que integra uma diversidade de conhecimentos de várias ciências e que foram historicamente construídas. Antes que os modelos atômicos fossem formalizados, já existiam inúmeras tentativas de descrever a natureza da matéria e os fenômenos naturais, como, por exemplo, as ideias filosóficas acerca da matéria, os estudos relacionados aos gases e à composição da atmosfera publicados por John Dalton (1766 - 1844), entre outros. Foi a partir dos constructos históricos de várias interfaces da ciência que se deu descobertas e novos modelos que melhor explicam a realidade. Nesse intento, e, obviamente sem desconsiderar o contexto histórico da construção da ciência, os modelos atômicos, também são importantes para compreender os fenômenos explicados pela Química moderna.

Todavia, o problema com a teoria do átomo moderno baseada no modelo quântico é que as ideias subjacentes são muito difíceis para um estudante do ensino médio ou até mesmo para um iniciante em um curso de Química que tenha tido contato anterior com tais modelos¹. Existem teorias complexas por trás da mecânica quântica que devem ser ensinadas a um aluno que não possui o embasamento matemático e físico para a aprendizagem do modelo. Isso implica o uso de abordagens qualitativas para simplificar, por exemplo, o ensino da teoria do orbital molecular sem evocar a matemática subjacente².

Nesse sentido, tais simplificações ocorrem também no ensino dos modelos atômicos aqui chamados de preambulares, são aqueles que trouxeram contribuições notadamente importantes para o entendimento do átomo. Referimos aqui aos modelos preambulares àqueles propostos por Joseph John Thomson (1856-1940), Ernest William Rutherford (1871-1937) e Niels Henrik David Bohr (1885-1962). Os modelos atômicos antecessores aos modelos atômicos modernos baseado no modelo quântico guardam igual complexidades nem sempre traduzíveis para os discentes do ensino médio. Historicamente, observa-se uma clara evolução dos modelos atômicos clássicos em relação aos modelos atômicos modernos. O ensino de modelos atômicos vem se servindo de analogias demasiado simplistas que protagonizam entendimento divergente daquele dos autores originários das teorias.

¹ Georgios Tsaparlis, "Atomic and Molecular Structure in Chemical Education: A Critical Analysis from Various Perspectives of Science Education", *Journal of Chemical Education* 74, n.º 8 (agosto de 1997): 922, doi:10.1021/ed074p922.

² Rasmus Persson, "Qualitative molecular orbital theory suited for the high school student", *African Journal of Chemical Education* 13, n.º 1 (2023), <https://www.ajol.info/index.php/ajce/article/view/240585>.

Considerando essas questões, o que se observa é que “não há uma preocupação com a discussão de como os modelos científicos são construídos e sua importância na compreensão da construção do conhecimento”³. Uma das razões para tal, apontada por Giovanni *et al* (2024)⁴, está relacionada ao livro. Assim, observa-se que alguns trabalhos têm buscado oferecer novas perspectivas e apresentado discussões relevantes para o ensino da teoria atômica, em uma tentativa de romper com as simplificações que possam criar obstáculos para a aprendizagem^{4,5,6}. Mediante o exposto, esse estudo busca responder a seguinte pergunta de pesquisa: Quais as principais lacunas históricas evidenciadas na construção dos modelos atômicos dos livros didáticos?

Para responder a essa questão, propomos uma releitura dos modelos atômicos modernos e preambulares a partir dos originais com intuito de traduzir de maneira diferenciada as proposições teórico-experimentais. Buscaremos, ainda, comparar os modelos atômicos propostos nos documentos originais com aqueles propostos em livros didáticos atuais e aprovados pelo Programa Nacional do Livro Didático.

Assim, os livros didáticos são escolhidos e distribuídos para as escolas através do Programa Nacional do Livro e do Material Didático (PNLD).

O Programa Nacional do Livro e do Material Didático - PNLD, executado no âmbito do Ministério da Educação, será destinado a avaliar e a disponibilizar obras didáticas, pedagógicas e literárias, entre outros materiais de apoio à prática educativa, de forma sistemática, regular e gratuita, às escolas públicas de educação básica das redes federal, estaduais, municipais e distrital e às instituições comunitárias, confessionais ou filantrópicas sem fins lucrativos e conveniadas com o Poder Público.

As ações do PNLD serão destinadas aos estudantes, aos professores e aos gestores das instituições a que se refere o caput, as quais garantirão o acesso aos materiais didáticos distribuídos, inclusive fora do ambiente escolar, no caso dos materiais didáticos de uso individual.⁷

Portanto, no primeiro tópico faremos uma pequena abordagem sobre a importância da História da Ciência no ensino de Ciências, bem como um estudo teórico sobre os modelos atômicos com base em artigos originais. Em seguida, explicitamos a metodologia percorrida para verificar se essas abordagens

³ Marlene Rios Melo e Edmilson Gomes de Lima Neto, "Dificuldades de Ensino e Aprendizagem dos Modelos Atômicos em Química", *Química Nova na Escola* 35, n.º 2 (2013): 112–22, http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc35_2/08-PE-81-10.pdf.

⁴ Giovanni Miraveti Carriello *et al.*, "Uma estratégia para o ensino de modelos atômicos baseada nos três momentos pedagógicos", *Revista Debates Em Ensino De Química* 7, n.º 1 (2021): 166–85.

⁵ Augusto César Lima Moreira *et al.*, "Modelos atômicos: Correlações Entre Aspectos Representacionais E a Essência Do Conhecimento", *Revista Debates Em Ensino De Química* 7, n.º 1 (2021): 186–200.

⁶ Leonardo André Testoni *et al.*, "Evolução de Padrões Argumentativos Acerca de Modelos Atômicos: Uma Proposta Investigativa para o Ensino Fundamental.", *Revista Debates Em Ensino De Química* 7, n.º 3 (2021): 58–73.

⁷ Brasil. *Decreto nº 9.099 de 18/07/2017*, Decreto 9099, aprovado em 18 de julho de 2017, Diário Oficial da União, 19 de julho de 2017, <https://legis.senado.leg.br/norma/17733832>.

estão presentes nos livros didáticos usados no ensino médio, e quais lacunas dos modelos atômicos historicamente construídos foram encontradas.

A HISTÓRIA DA CIÊNCIA E SUAS POTENCIALIDADES PARA O ENSINO DE CIÊNCIAS

No ensino de Ciências, uma abordagem com contexto histórico pode ajudar os estudantes a apropriarem os conceitos científicos, entendendo a Ciência como um conhecimento socialmente construído, caracterizado por sua capacidade de ser refutado e pela sua natureza transitória. Isso pode inspirar os alunos a se envolverem mais profundamente na disciplina, bem como mobilizar a curiosidade e o interesse para compreenderem as descobertas científicas que impactam na sociedade numa perspectiva histórica, cultural e social.

A Análise histórica das descobertas científicas desenvolve habilidades críticas, como a capacidade de avaliar evidências, fazer conexões entre eventos históricos e compreender o contexto social e cultural em que ocorreram. Especificamente no contexto do ensino da Química, Wandersee & Griffard destacam bem o papel da História da Ciência para a Química:

Acreditamos que a história da química pode auxiliar os educadores em química a desenvolver, utilizar e investigar materiais e estratégias que promovam a aprendizagem em química de maneira significativa e atenta. Concordamos com a definição de D. B. Gowin de que a aprendizagem é uma mudança no significado da experiência. O objetivo geral da educação química é ajudar os estudantes a construir uma compreensão significativa e atenta da natureza da matéria e das mudanças na matéria. Se for esse o caso, então saber de onde essas ideias surgiram, como foram construídas ao longo do tempo, como o registro das 'lutas humanas para entender' pode iluminar como sabemos o que sabemos hoje, só ajudará os aprendizes. Eles serão capazes de conectar os conceitos e princípios químicos recém-aprendidos tanto ao seu conhecimento prévio quanto ao conhecimento histórico coletivo da comunidade global de química (tradução própria).⁸

Matthews (2022)⁹ estuda o papel crucial da História e Filosofia da Ciência (HFC) na educação em ciências, especialmente o impacto que alguns filósofos da ciência tiveram em estudos de ciência-tecnologia-sociedade e estudos culturais da educação científica.¹⁰ Para melhor abordar o tema decidimos explicitar algumas razões que justificam a importância da abordagem da construção histórica no processo do aprender

⁸ James H. Wandersee e Phyllis Baudoin Griffard, "The History of Chemistry: Potential and Actual Contributions to Chemical Education", in *Chemical Education: Towards Research-based Practice* (Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1st edition), 30, consultado em 1 de julho de 2024, https://doi.org/10.1007/0-306-47977-x_2.

⁹ Michael R. Matthews, "Thomas Kuhn and Science Education Learning from the Past and the Importance of History and Philosophy of Science, *Science & Education*, (2022) 33:609–678

Science

¹⁰ Ibid.

Ciências, a saber: contextualização, progressão do conhecimento, pensamento crítico, humanização da Ciência, impacto na sociedade, inspiração e modelos de referência.

Contextualização: O estudo da história da Ciência oferece um contexto para compreender como ideias e teorias científicas se desenvolveram ao longo do tempo. Isso nos ajuda a valorizar os fatores sociais, culturais e intelectuais que moldaram o pensamento científico, possibilitando uma compreensão mais profunda da natureza e evolução do conhecimento científico¹¹.

Progressão do Conhecimento: Explorar a história da Ciência nos permite traçar a progressão do conhecimento e das descobertas científicas. Podemos ver como teorias e experimentos anteriores pavimentaram o caminho para a compreensão atual, destacando a natureza parcialmente cumulativa do progresso científico¹², que em muitos casos resultou em rupturas paradigmáticas.

Pensamento Crítico: A história da Ciência estimula habilidades de pensamento crítico ao examinar os métodos, raciocínio e evidências usadas por cientistas no passado. Isso nos ajuda a avaliar os pontos fortes e limitações de diferentes abordagens científicas, promovendo uma compreensão mais clara de afirmações e teorias científicas¹³.

Humanização da Ciência: Aprender sobre a história da Ciência humaniza o empreendimento científico. Isso apresenta aos estudantes a diversidade de cientistas, suas motivações e os contextos sociais e culturais em que trabalharam. Essa perspectiva ajuda os estudantes a se relacionarem com o processo científico, promovendo um senso de identidade científica e apreciação pelo lado humano da Ciência¹⁴.

Impacto na Sociedade: A Ciência não está isolada da sociedade, mas profundamente interconectada com ela. Compreender a história da Ciência nos permite explorar o impacto das ideias científicas na sociedade e como fatores sociais influenciam a direção da pesquisa científica. Isso nos ajuda a reconhecer as implicações sociais, éticas e culturais dos avanços científicos¹⁵.

Inspiração e Modelos de Referência: Estudar a história da Ciência pode inspirar e motivar as futuras gerações de cientistas. Aprender sobre as realizações, lutas e descobertas de cientistas famosos pode servir como modelos de referência, encorajando os estudantes a seguir carreiras científicas e despertando um senso de curiosidade e admiração pelo mundo natural¹⁶.

Em geral, a história da Ciência oferece insights valiosos sobre a natureza da investigação científica, o desenvolvimento de ideias científicas e a relação dinâmica entre Ciência e sociedade. Ela aprimora a literacia científica, habilidades de pensamento crítico e uma apreciação mais profunda pelas

¹¹ Ibid.

¹² Ibid.

¹³ Ibid.

¹⁴ Ibid.

¹⁵ Ibid.

¹⁶ Ibid.

conquistas e desafios da comunidade científica ajudando a uma melhor compreensão da natureza da Ciência¹⁷.

A HISTÓRIA DA CIÊNCIA E SUAS POTENCIALIDADES PARA O ENSINO DE CIÊNCIAS

A presente pesquisa é qualitativa, sendo caracterizada como pesquisa bibliográfica que, segundo Oliveira¹⁸ (2007) é um tipo de “estudo direto em fontes científicas, sem precisar recorrer diretamente aos fatos/fenômenos da realidade empírica”. Nessa perspectiva são consideradas objetos de uma pesquisa bibliográfica os livros, os periódicos, as enciclopédias, os ensaios críticos, os dicionários e os artigos científicos que já são reconhecidamente do domínio científico.

Os objetos de pesquisas foram 3 livros didáticos da área de Ciências da Natureza e fontes originais que discutem os modelos atômicos. Em relação aos livros didáticos, os critérios para seleção foram: 1) Livros para os cursos do 1º aos 3º anos do Ensino Médio que contemplassem os conteúdos relativos aos modelos atômicos; 2) Livros aprovados pelo Programa Nacional do Livro e do Material Didático de 2021. Embora no edital de 2021 tenham sido aprovadas 7 coleções, optamos pela seleção de 3 coleções, em função da acessibilidade desses livros em versão física, o que facilita a manipulação dos materiais durante a análise. O Quadro 1 indica quais livros foram analisados, com base nesses critérios estabelecidos.

Quadro 1: Livros aprovados pelo PNLD 2021 que foram selecionados para a presente pesquisa.

Autor (es)	Título	Editora	Ano
Godoy; Agnolo e Melo	Multiversos: ciências da natureza: matéria, energia e a vida: ensino médio	FTD	2020
Santos	Diálogo: ciências da natureza e suas tecnologias: manual do professor	Moderna	2020
Zamboni e Bezerra	Ser protagonista: ciências da natureza e suas tecnologias: composição e estrutura dos corpos: ensino médio	Edições SM	2020

¹⁷ Maria da Conceição Marinho Oki e Edilson Fortuna de Moradillo, "O ensino de história da química: contribuindo para a compreensão da natureza da ciência", *Ciência & Educação (Bauru)* 14, n.º 1 (2008): 67–88, doi:10.1590/s1516-73132008000100005.

¹⁸ Maria Marly de Oliveira, *Como fazer pesquisa qualitativa* (Petrópolis: Vozes, 2007), p. 69.

Em relação às fontes originais, os critérios de seleção foram: artigos escritos por autores clássicos da área de estudo sobre os modelos atômicos. Nesse sentido, os autores considerados na presente pesquisa foram Thomson, Rutherford, Bohr e Erwin Rudolf Josef Alexander Schrödinger (1887 - 1961).

Em um primeiro momento, foi realizada uma pesquisa e estudo dos artigos originais sobre os modelos atômicos. No segundo momento, os livros selecionados foram analisados quanto ao fato de os modelos atômicos serem abordados à luz dos aspectos históricos e dos estudos originais dos cientistas que os desenvolveram.

A análise dos livros foi pautada na Análise de Conteúdo de Moraes¹⁹ (1999), com estabelecimento de categorias a priori, as quais fundamentadas no referencial histórico sobre as potencialidades da História da Ciência estudadas por Matthews²⁰ (2022). As unidades de análise foram recortes de trechos dos livros que abordam a teoria atômica.

O Quadro 2 explicita melhor a matriz de análise:

Quadro 2: Matriz de análise.

Crítérios de análise	Categorias a priori
Presença dos modelos atômicos Thomson, Rutherford, Bohr e Quântico (Schrödinger) Abordagem dos modelos atômicos presentes em concordância com os artigos originais Aspecto histórico de evolução dos modelos.	Progressão do Conhecimento; Pensamento Crítico; Impacto na Sociedade - interdisciplinaridade; Inspiração e Modelos de Referência.

A evolução dos modelos atômicos é um exemplo clássico do progresso do conhecimento científico e da inter-relação entre pensamento crítico, impacto social e interdisciplinaridade. Cada modelo — Thomson, Rutherford, Bohr e Schrödinger — reflete um momento histórico específico, fundamentado em critérios de análise e avanços experimentais, com inspirações e referências que moldaram sua construção.

O modelo de Thomson (1904), conhecido como o "pudim de passas", foi o primeiro a introduzir a ideia de partículas subatômicas, identificando os elétrons como constituintes do átomo. Baseado em experimentos com raios catódicos, esse modelo trouxe uma abordagem inovadora, mas foi criticado por sua incapacidade de explicar a estabilidade atômica ou a interação entre partículas. Apesar disso, pavimentou o caminho para estudos mais detalhados.

Com Rutherford (1911), o entendimento do átomo avançou consideravelmente. Por meio de experimentos de dispersão de partículas alfa, ele propôs a existência de um núcleo pequeno, denso e

¹⁹ Roque Moraes, "Análise de Conteúdo", *Revista Educação* 22, n.º 37 (1999): 7–32.

²⁰ Michael R. Matthews, "Thomas Kuhn and Science Education Learning from the Past and the Importance of History and Philosophy of Science", *Science & Education*, (2022) 33:609–678

Science

positivamente carregado, com elétrons orbitando ao seu redor. Esse modelo desafiou o de Thomson, mas não conseguiu explicar por que os elétrons não colapsaram em direção ao núcleo devido à força eletromagnética.

Em 1913, Bohr incorporou conceitos da teoria quântica de Max Karl Ernst Ludwig Planck (1858 - 1947), sugerindo que os elétrons ocupam órbitas específicas ao redor do núcleo, com níveis de energia quantizados. Essa proposta explicou o espectro de emissão de átomos simples, como o hidrogênio, mas não conseguiu lidar com elementos mais complexos. Mesmo assim, marcou um avanço significativo ao unir conceitos clássicos e quânticos.

Por fim, o modelo quântico de Schrödinger (1926) substituiu as órbitas fixas de Bohr por regiões de maior probabilidade de encontrar elétrons, conhecidas como orbitais. Baseado na mecânica ondulatória, esse modelo revolucionou o entendimento atômico, introduzindo conceitos probabilísticos e o Princípio da Incerteza de Werner Karl Heisenberg (1901 - 1976). Essa abordagem, mais abstrata, foi fundamental para o desenvolvimento da física moderna.

A progressão dos modelos evidencia um processo constante de refinamento, onde lacunas e inconsistências motivaram novos estudos e teorias. Esse avanço foi sustentado por um pensamento crítico que questionava os limites dos modelos anteriores e incorporava novas descobertas experimentais.

O impacto social desses modelos é amplo e interdisciplinar. As ideias de Thomson abriram caminho para a eletrônica; o modelo de Rutherford influenciou a radioatividade e a energia nuclear; Bohr contribuiu para a química moderna e a espectroscopia; e Schrödinger fundamentou tecnologias baseadas na mecânica quântica, como semicondutores e computação quântica.

Além disso, cada modelo foi inspirado por experimentos e teorias inovadoras: Thomson baseou-se nos estudos de raios catódicos; Rutherford, nos experimentos de Johannes Wilhelm "Hans" Geiger (1882 - 1945) e Ernest Marsden (1889 - 1970); Bohr, nas ideias de Planck e espectros atômicos; e Schrödinger, na dualidade onda-partícula proposta por Louis-Victor-Pierre-Raymond (1892- 1987). Essas influências mostram como a ciência é construída a partir de modelos de referência, ao mesmo tempo em que inspira novas descobertas.

Em suma, a evolução dos modelos atômicos ilustra não apenas a progressão do conhecimento científico, mas também o impacto transformador dessas teorias na sociedade, reafirmando a interdisciplinaridade e a capacidade humana de questionar, refinar e expandir nossa compreensão do mundo natural.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para analisarmos se os modelos atômicos presentes nos livros didáticos estão de acordo com o que foi proposto pelos cientistas clássicos que estudaram essa temática (Thomson, Rutherford, Bohr e

Schrödinger), realizamos um levantamento teórico sobre os modelos atômicos publicados em artigos originais com autorias desses cientistas. A seguir, faremos uma explanação sobre cada modelo atômico descrito nesses materiais.

Modelo de Thomson

No artigo intitulado “Sobre a Estrutura do Átomo: uma Investigação da Estabilidade e períodos de oscilação de vários corpúsculos dispostos em intervalos iguais em torno da circunferência de um Círculo; com Aplicação dos Resultados à Teoria da Atomização” Thomson vai discorrer sobre a estrutura do átomo da seguinte forma:

A visão de que os átomos dos elementos consistem em um número de corpúsculos negativamente eletrificados contidos em uma esfera de eletrificação positiva uniforme sugere, entre outros interessantes problemas matemáticos, aquele discutido neste artigo, que é o movimento de um anel de n partículas negativamente eletrificadas colocado dentro de uma esfera eletrificada de forma uniforme. Suponhamos que o átomo consiste de corpúsculos em movimento dentro de uma esfera com eletrificação positiva uniforme. Os corpúsculos se organizam em uma série de anéis concêntricos. Essa disposição é necessária porque um grande número de corpúsculos não pode estar em equilíbrio estável quando dispostos em um único anel, enquanto esse anel pode se tornar estável ao colocar dentro dele um número apropriado de corpúsculos (tradução e adaptação nossa).²¹

Há de se assinalar que o modelo de Thomson prevê que os elétrons (denominados corpúsculos em seus escritos) possuem natureza dinâmica diferente daquela proposta em livros didáticos que apresentam elétrons incrustados. Os livros em geral associam Thomson à descoberta do elétron e atribuem ao cientista um modelo atômico denominado pudim de passas. Como pode ser observado, a teoria atômica ditada pelos livros didáticos pouco diz sobre as teorias atômicas preambulares àquela do átomo moderno.

Modelo de Rutherford

Nos livros didáticos Rutherford é descrito como responsável por determinar o tamanho do núcleo que teria um tamanho bem menor que o da eletrosfera, bem como a existência de partículas com cargas positivas. Nos livros são apresentados experimentos onde as partículas alfa são ejetadas em uma placa de ouro. A deflexão dessas partículas implicaria a existência de partículas positivas no núcleo. Rutherford apresenta os problemas da teoria de J. J. Thomson ²¹.

²¹ J. J. Thomson, "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", *London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science* 7, n.º 39 (março de 1904): 237, doi:10.1080/14786440409463107.

No meu artigo anterior [...], destaquei a importância do estudo da passagem de partículas alfa e beta de alta velocidade através da matéria como um meio de lançar luz sobre a estrutura interna do átomo. Chamei a atenção para o fato notável, observado primeiramente por Geiger e Marsden, de que uma pequena fração das partículas alfa rápidas provenientes de substâncias radioativas era capaz de ser desviada por um ângulo superior a 90 graus como resultado de um encontro com um único átomo. Foi mostrado que o tipo de átomo concebido por Lord Kelvin e elaborado em detalhes por Sir J. J. Thomson não era capaz de produzir tais desvios amplos, a menos que o diâmetro da esfera positiva fosse extremamente pequeno.²²

No caso específico do modelo atômico e dos experimentos de Geiger e Marsden (sob orientação de Rutherford), é verdade que a descoberta do núcleo atômico trouxe uma revolução na Física, mostrando que o modelo de Thomson (pudim de passas) era inadequado. No entanto, o modelo de Rutherford ²², que resultou desses experimentos, permaneceu dentro do escopo da Física Clássica até certo ponto, já que não explicava completamente o comportamento dos elétrons. A necessidade de uma nova abordagem levou ao desenvolvimento da mecânica quântica, com modelos como o de Bohr e, posteriormente, os orbitais eletrônicos da mecânica quântica moderna.

Curiosamente Rutherford menciona que:

A teoria de Sir J. J. Thomson parte do pressuposto de que o espalhamento provocado por um único encontro atômico é insignificante e que a estrutura proposta para o átomo não permite uma deflexão significativa de uma partícula alfa ao atravessar um único átomo, a menos que se suponha que o diâmetro da esfera de eletricidade positiva seja extremamente reduzido em relação ao diâmetro da esfera de influência do átomo.²³

Foi comprovado que o modelo de átomo proposto por Sir J. J. Thomson, com uma esfera de carga positiva difusa, não conseguia explicar os desvios significativos das partículas alfa observados experimentalmente, já que esses desvios só seriam possíveis caso a carga positiva estivesse concentrada em uma região extremamente pequena do átomo.

No artigo de Rutherford, Bohr é mencionado como proponente da ideia de que as partículas alfa têm origem nuclear. No mesmo trabalho, Rutherford menciona que Bohr já estava considerando insatisfatórias as explicações da mecânica clássica para a estrutura do átomo.

²² Ernest Rutherford, "LVII. The structure of the atom", *London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science* 27, n.º 159 (março de 1914): 488, doi:10.1080/14786440308635117.

²³ E. Rutherford, "LXXIX. The scattering of α and β particles by matter and the structure of the atom", *London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science* 21, n.º 125 (maio de 1911): 670, doi:10.1080/14786440508637080.

Pela introdução de uma concepção conectada com o quantum de Planck, ele mostrou que, sob certas suposições, é possível construir átomos e moléculas simples a partir de núcleos positivos e negativos, como, por exemplo, o átomo e a molécula de hidrogênio e o átomo de hélio, que se comportam em muitos aspectos como os átomos ou moléculas reais. Embora possa haver muitas opiniões diferentes quanto à validade e ao significado físico subjacente das suposições feitas por Bohr, não há dúvida de que as teorias de Bohr são de grande interesse e importância para todos os físicos como a primeira tentativa definitiva de construir átomos e moléculas simples e explicar seus espectros.²⁴

O modelo proposto por Rutherford era um modelo constituído por uma esfera de eletrificação²⁵.

Modelo de Bohr

O átomo de Bohr é um modelo atômico que combina o modelo clássico planetário com a ideia do quantum de energia proposto por Planck. Nesse modelo é assumido que as órbitas eletrônicas são acessíveis a partir de quantidades discretas de energia. Esse modelo atômico teve como mérito principal explicar as linhas espectrais de emissão para o gás hidrogênio. No início do artigo há uma menção aos modelos atômicos anteriores.

A principal diferença entre os modelos atômicos propostos por Thomson e Rutherford reside no fato de que as forças atuantes nos elétrons no modelo atômico de Thomson permitem certas configurações e movimentos dos elétrons nos quais o sistema se encontra em um equilíbrio estável. No entanto, essas configurações aparentemente não existem no segundo modelo atômico. A natureza dessa diferença pode ser mais claramente compreendida ao observar que, entre as quantidades que caracterizam o primeiro átomo, aparece uma quantidade - o raio da esfera positiva - com dimensões de comprimento e da mesma ordem de grandeza da extensão linear do átomo, enquanto tal comprimento não aparece entre as quantidades que caracterizam o segundo átomo, ou seja, as cargas e massas dos elétrons e do núcleo positivo; nem pode ser determinado apenas com a ajuda dessas últimas quantidades²⁶.

A problemática do modelo clássico é demonstrada no artigo mencionando as recentes mudanças na física com o surgimento da teoria dos quanta postulada por Planck para explicar as linhas espectrais do corpo negro.

²⁴ Ernest Rutherford, "LVII. The structure of the atom", 498.

²⁵ E. Rutherford, "LXXIX. The scattering of α ", 669–88.

²⁶ N. Bohr, "I. On the constitution of atoms and molecules", *London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science* 26, n.º 151 (julho de 1913): 2, doi:10.1080/14786441308634955.

A maneira de considerar um problema desse tipo, no entanto, sofreu alterações essenciais nos últimos anos devido ao desenvolvimento da teoria da radiação de energia e à afirmação direta das novas suposições introduzidas nessa teoria, encontradas por meio de experimentos em fenômenos muito diferentes, como calor específico, efeito fotoelétrico, raios-X de Roentgen, etc. O resultado da discussão dessas questões parece ser um reconhecimento geral da inadequação da eletrodinâmica clássica para descrever o comportamento de sistemas de tamanho atômico. Seja qual for a alteração nas leis de movimento dos elétrons, parece necessário introduzir nessas leis uma quantidade estranha à eletrodinâmica clássica, ou seja, a constante de Planck, ou como frequentemente é chamada, o quantum elementar de ação. Com a introdução dessa quantidade, a questão da configuração estável dos elétrons nos átomos é essencialmente alterada, uma vez que essa constante possui dimensões e magnitude que, juntamente com a massa e carga das partículas, podem determinar um comprimento da ordem de grandeza necessário²⁷.

No artigo de Bohr são introduzidos os conceitos de órbitas circulares quantizadas.

Em um sistema molecular composto por núcleos positivos e elétrons nos quais os núcleos estão em repouso em relação um ao outro e os elétrons se movem em órbitas circulares. O momento angular de todo elétron circulando ao redor de sua órbita terá, no estado permanente do sistema energia igual a $2\pi h$, onde h é a constante de Planck²⁸.

Modelo Baseado no Modelos Quânticos

O modelo atômico de Bohr, proposto por Niels Bohr em 1913, fez contribuições significativas para a compreensão da estrutura atômica. No entanto, também apresentou várias limitações e problemas, que eventualmente levaram ao desenvolvimento de modelos mais avançados. Listamos alguns problemas com o modelo atômico proposto por Bohr:

1- Aplicabilidade limitada: O modelo de Bohr foi principalmente bem-sucedido na explicação do espectro do hidrogênio e íons semelhantes ao hidrogênio. No entanto, ele enfrentou desafios quando aplicado a átomos com múltiplos elétrons ou estruturas mais complexas.

2- Negligência das interações elétron-elétron: O modelo de Bohr não levava em conta a repulsão ou interações entre elétrons no mesmo átomo. Ele tratava os elétrons como partículas independentes que se moviam em órbitas fixas, desconsiderando os efeitos da repulsão elétron-elétron e da blindagem eletrônica. Essas limitações se tornaram evidentes posteriormente, quando os cientistas começaram a

²⁷ Ibid.

²⁸ Ibid., 24.

estudar átomos multieletrônicos, o que levou ao desenvolvimento de teorias quânticas mais complexas para lidar com as interações entre elétrons

3- Ausência de uma base teórica: O modelo de Bohr carecia de uma base teórica rigorosa e era principalmente baseado em observações empíricas e suposições ad hoc. Ele não fornecia uma explicação abrangente para a estabilidade das órbitas dos elétrons ou a quantização dos níveis de energia.

4- Incapacidade de explicar a estrutura fina do espectro: Embora o modelo de Bohr pudesse explicar as linhas espectrais principais observadas em espectros atômicos, ele não conseguia explicar detalhes finos do espectro e a divisão das linhas espectrais na presença de campos externos.

5- Violação do princípio da incerteza²⁹: O modelo de Bohr implicava que os elétrons tinham posições e velocidades bem definidas. No entanto, essa visão é incompatível com o que a mecânica quântica, desenvolvida posteriormente, revelaria: o princípio da incerteza de Heisenberg, que estabelece que é impossível determinar simultaneamente a posição precisa e o momento de uma partícula.

Essas limitações e problemas levaram ao desenvolvimento de modelos mais sofisticados, como o modelo quântico-mecânico, que abordaram com sucesso essas questões e ofereceram uma descrição mais abrangente da estrutura atômica. Erwin Schrödinger desenvolveu uma equação ondulatória para tentar explicar o átomo baseado nas premissas quânticas. Segundo Schrödinger:

À primeira vista, esta equação parece oferecer poucos meios para resolver problemas atômicos, por exemplo, para definir níveis de energia discretos no átomo de hidrogênio. Sendo uma equação diferencial parcial, ela oferece uma grande multiplicidade de soluções, uma multiplicidade até mesmo de uma ordem transcendental ainda maior do que o sistema de soluções das equações diferenciais ordinárias da mecânica clássica. No entanto, a deficiência destas últimas nos problemas atômicos consistia, como é bem conhecido, não no fato de fornecerem um número pequeno demais de órbitas possíveis, mas, pelo contrário, muito grande demais. Selecionar um número discreto delas como as órbitas 'reais' ou 'estacionárias' é, de acordo com a visão até então adotada, a tarefa das 'condições quânticas'³⁰.

Erwin Schrödinger associa ainda a Equação proposta aos números quânticos:

A solução pode ser realizada em coordenadas polares tridimensionais, assumindo que a função ψ seja um produto de uma função dos ângulos polares e uma função apenas

²⁹ Werner Heisenberg, "Über den anschaulichen Inhalt der quantentheoretischen Kinematik und Mechanik", in *Original Scientific Papers Wissenschaftliche Originalarbeiten* (Berlin: Springer, 1985).

³⁰ E. Schrödinger, "An Undulatory Theory of the Mechanics of Atoms and Molecules", *Physical Review* 28, n.º 6 (1 de dezembro de 1926): 1057, doi:10.1103/physrev.28.1049.

do raio r . A primeira é um harmônico esférico de superfície cuja ordem, aumentada por unidade, corresponde ao número quântico azimutal³¹.

Neste trabalho, Schrödinger menciona a equação diferencial como meio para encontrar os números quânticos que são soluções da equação em coordenadas esféricas.

Como pode ser visto pelo pequeno histórico apresentado, os modelos atômicos anteriores ao modelo mecânico quântico têm um elemento comum. Partem de pressuposições da esfericidade e da circularidade do movimento eletrônico. Nessa abordagem os pressupostos teóricos assumidos como base para a matemática subjacente são figuras geométricas. O histórico desses modelos com pressuposições geométricas remonta aos primeiros modelos atômicos, como o proposto por Dalton. Os modelos contemporâneos não partem de pressupostos de figuras geométricas, mas sim da matemática subjacente aos fenômenos ondulatórios e à descrição probabilística da natureza do elétron. Nesse contexto, a equação de Schrödinger é resolvida, resultando em uma função matemática conhecida como função de onda. A integral do quadrado da função de onda resulta nos orbitais, que são regiões de maior probabilidade de encontrar o elétron, sendo esférica para o orbital s . Essa integral é nada mais que a soma de todas as probabilidades possíveis de encontrar o elétron em uma determinada região do espaço.

ABORDAGEM DOS MODELOS ATÔMICOS À LUZ DOS ASPECTOS HISTÓRICOS E DOS ESTUDOS ORIGINAIS DOS CIENTISTAS QUE OS DESENVOLVERAM

Após uma pesquisa e um levantamento teórico acerca dos estudos dos modelos atômicos em fontes originais, buscamos analisar se a abordagem dos modelos atômicos nos livros para o Ensino Médio está de acordo com os modelos que foram propostos pelos cientistas dessa área de conhecimento.

Para realizar essa análise, foi necessário um levantamento prévio sobre a presença dos modelos atômicos nesses livros. Esse levantamento pode ser melhor visualizado no Quadro 3.

Quadro 3: Apresentação do conteúdo nos livros didáticos conforme a editora.

Editora	Modelos atômicos			
	Thomson	Rutherford	Bohr	Moderno
FTD	SIM	SIM	SIM	NÃO
Moderna	SIM	SIM	SIM	SIM
SM Educação	SIM	SIM	SIM	NÃO

Em seguida, buscamos analisar se nesses livros os modelos atômicos foram discutidos em consonância com as definições originais desses modelos:

Editora FTD

³¹ Schrödinger, 1058.

O livro analisado da editora FTD foi o livro intitulado “Multiversos: ciências da natureza: matéria, energia e a vida: ensino médio”. As definições dos modelos atômicos encontradas são:

Modelo de Thomson:

[...] propõe um novo modelo de átomo, em que os corpúsculos se encontram no interior de uma esfera de carga positiva uniforme, organizados em uma série de anéis paralelos. Cada anel possui uma quantidade distinta de corpúsculos, de modo que aqueles com maior quantidade se encontram próximos à superfície da esfera e aqueles com menor quantidade se encontram próximos ao centro³².

Modelo de Rutherford:

[...] o átomo era constituído por um grande vazio onde estariam os elétrons e essa região foi chamada de eletrosfera. Aquela pequena porção que voltou ou se desviou encontrou pequenos obstáculos em sua trajetória, no caso, um núcleo de carga positiva que se chocava com as partículas alfa também positivas³³.

Modelo de Bohr:

[...] propõe outro modelo atômico com uma nova organização dos elétrons na eletrosfera do átomo, que, segundo ele, pode ter até 7 camadas (n). Em seu modelo, as camadas têm nível de energia crescente, sendo que a camada mais próxima do núcleo (K, primeira camada) é a de menor energia e a última, Q, a mais afastada, a de maior energia. Além disso, ele introduziu o conceito de saltos quânticos, que são transições dos elétrons de uma camada para outra. Cada camada possui um nível de energia característico, e os elétrons só podem ocupá-la caso tenham tal energia. Assim, o salto quântico ocorre quando os elétrons recebem energia suficiente para sair do estado fundamental, que é o estado de menor energia possível, e ocupar uma camada mais energética. Quando os elétrons retornam a uma camada menos energética, há liberação de energia na forma de onda eletromagnética. Dependendo do comprimento desta onda, é possível enxergar diferentes cores do espectro luminoso das cores visíveis, fenômeno que pode ser visualizado com a queima de fogos de artifício, por exemplo³⁴.

O livro da editora FTD apresenta os conteúdos de teoria atômica muito próximos da escrita original dos atomistas (Thomson, Rutherford e Bohr). Todavia o conceito de átomo baseado na teoria quântica é suprimido. Embora o modelo de Bohr e os modelos mais antigos sejam reconhecidamente um avanço na

³² Leandro Pereira de Godoy, Rosana Maria Dell’ Agnolo e Wolney Candido de Melo, *Multiversos: ciências da natureza: matéria, energia e a vida: ensino médio* (São Paulo: FTD, 2020), 61.

³³ *Ibid.*, 62.

³⁴ *Ibid.*, 63.

compreensão do átomo, está longe de explicar os experimentos posteriores que levaram a sua fragilização como modelo atômico. As limitações deste modelo foram discutidas na seção anterior. Cabe mencionar que a ausência do modelo moderno dificulta a aprendizagem de conceitos como aqueles de orbitais que estão presentes no ensino de Química³⁵. O conceito de um orbital atômico ou molecular é um conceito fundamental da química, que adquire seu significado completo apenas dentro da teoria quântica.

Editora Moderna

O livro da Editora Moderna intitulado “Diálogo: ciências da natureza e suas tecnologias” apresentam as seguintes definições de modelos atômicos:

Modelo de Thomson: “propôs um novo modelo de átomo, que consistia em uma esfera maciça e com carga positiva, na qual pequenas partículas negativas, os elétrons, estavam distribuídas em circunferências concêntricas³⁶.”

Modelo de Rutherford:

[...] propôs que o átomo era formado por uma pequena região central positiva, que concentrava quase toda a massa do átomo – o núcleo –, e era circundada por um grande espaço vazio. Nesse espaço, localizavam-se os elétrons, os quais se movimentavam em torno do núcleo seguindo órbitas específicas³⁷.

Modelo de Bohr:

[...] Bohr apresentou seu modelo atômico com base em três postulados, apresentados a seguir.

- *Os elétrons se movem em órbitas circulares ao redor do núcleo atômico. O número de órbitas em um átomo é variável e limitado. Cada uma dessas órbitas é chamada camada eletrônica ou nível de energia (n). A energia dessas camadas varia, sendo maior naquelas localizadas mais distantes do núcleo atômico.*
- *Enquanto se movimentam em uma camada eletrônica específica, os elétrons não emitem energia espontaneamente, mantendo-se no chamado estado estacionário.*
- *Quando o elétron absorve energia suficiente, proveniente do meio externo, ele se desloca de um nível de menor energia (mais próximo ao núcleo) para um nível de maior energia (mais distante do núcleo), passando do estado estacionário para o estado excitado. O elétron pode retornar ao estado estacionário, emitindo a energia que absorveu previamente e retornando à camada eletrônica de menor energia. Ao retornar*

³⁵ C. C. J. Roothaan, "New Developments in Molecular Orbital Theory", *Reviews of Modern Physics* 23, n.º 2 (1 de abril de 1951): 69–89, doi:10.1103/revmodphys.23.69.

³⁶ Kelly Cristina dos Santos, ed., *Diálogo: ciências da natureza e suas tecnologias*. (São Paulo: Moderna, 2020), 51.

³⁷ *Ibid.*, 52.

*à sua órbita original (estado fundamental), o elétron emite, sob a forma de fóton a mesma quantidade de energia que absorveu previamente*³⁸.

Modelo Moderno:

*[...] no atual modelo atômico, o átomo apresenta o núcleo circundado por órbitas atômicas, as quais deixam de ser locais fixos em que os elétrons se movimentam para se tornarem as principais regiões do átomo onde os elétrons podem ser encontrados. Dessa forma, não é possível determinar com exatidão a posição do elétron no átomo, apenas a região mais provável de sua ocorrência*³⁹.

O livro da editora Moderna traz os modelos atômicos mais comumente estudados, incluindo o mais moderno baseado na teoria quântica. O conceito de orbital é descrito associado ao princípio da incerteza onde existe uma região de probabilidade para encontrar o elétron em uma região do espaço.

Editora SM Educação

No caso da editora SM Educação, o livro analisado foi o “Ser protagonista: ciências da natureza e suas tecnologias: composição e estrutura dos corpos: ensino médio”. Os modelos atômicos são definidos das seguintes formas:

Modelo de Thomson: “[...] era constituído de uma esfera maciça, de carga elétrica positiva, que continha ‘corpúsculos’ de carga negativa (elétrons) nela dispersos e em número suficiente para anular sua carga positiva⁴⁰.”

Modelo de Rutherford:

*Segundo ele, o átomo seria constituído, então, de duas regiões: uma central, chamada núcleo, e uma periférica, denominada eletrosfera. O núcleo seria maciço, formado por partículas de carga positiva, denominadas prótons, e concentrava quase toda a massa do átomo. Na eletrosfera, região de volume muito maior do que o do núcleo, estariam os elétrons, movimentando-se ao redor do núcleo*⁴¹. [...]

Modelo de Bohr:

Os elétrons ocupam determinados níveis de energia ou camadas eletrônicas. O elétron não pode ter energia zero, ou seja, estar parado no átomo. Em cada camada eletrônica, o elétron apresenta energia constante: quanto mais próximo do núcleo, menor a energia do elétron com relação ao núcleo, e, quanto mais distante dele, maior sua energia. Para

³⁸ Ibid., 54.

³⁹ Ibid., 55.

⁴⁰ André Zamboni e Lia Monguilhott Bezerra, eds., *Ser protagonista: ciências da natureza e suas tecnologias: composição e estrutura dos corpos: ensino médio* (São Paulo: Edições SM, 2020), 29.

⁴¹ Ibid., 29-30.

passar de um nível de menor energia para um de maior, o elétron absorve determinada quantidade de energia. Ao fazer o caminho inverso (do nível de maior para o de menor energia), ele libera energia, essa liberação pode ocorrer na forma de luz. A quantidade que é absorvida ou liberada por um elétron corresponde exatamente à diferença entre um nível de energia e outro. Como existem apenas algumas órbitas possíveis, há somente alguns valores de energia – por isso a denominação energia quantizada⁴².

Aqui mais uma vez o conceito de átomo moderno é suprimido. Há, contudo, discussões acerca da pertinência ou não dos conceitos quânticos no ensino médio⁴³. Embora haja autores que defendem a supressão da quântica no ensino médio, é possível encontrar um equilíbrio entre fornecer uma compreensão sólida da base e não reter conhecimento essencial para estudos mais avançados e aplicações do mundo real⁴⁴. Como já citado anteriormente, essa omissão pode levar a incompreensão do conceito de orbitais e ligação química por exemplo. No ensino médio são abordados os conceitos de ligação iônica, covalente e metálica.

Dos três livros analisados, apenas um aborda de modo claro o átomo moderno. Isso indica uma lacuna de aprendizagem sobre os princípios básicos da mecânica quântica e, conseqüentemente, no entendimento da matéria e sua transformação, que, na sua essência, é explicada pela estrutura dos átomos. Portanto, considerando que a Mecânica Quântica é a base de toda a Química atomística e, também, do conhecimento que permite compreender cientificamente como acontece o avanço tecnológico e científico, faz-se necessário um olhar atento sobre a abordagem histórico-conceitual da mecânica quântica os livros da Educação Básica. Nesse sentido, além de abordar os conceitos, é importante verificar como esses conceitos são abordados do ponto de vista histórico. Para essa análise, estabelecemos algumas categorias a priori: Progressão do Conhecimento; Pensamento Crítico; Impacto na Sociedade – interdisciplinaridade; Inspiração e Modelos de Referência. A presença dessas categorias nos livros analisados pode ser visualizada no Quadro 4.

Quadro 4: abordagem histórica dos livros didáticos analisados.

Editora	Categorias a priori			
	Progressão do conhecimento	Pensamento crítico	Impactos na sociedade- Interdisciplinaridade	Inspiração e Modelos de referência
FTD	SIM	NÃO	NÃO	NÃO

⁴² Ibid., 35.

⁴³ Georgios TSAPARLIS e Georgios PAPAPHOTIS, "QUANTUM-CHEMICAL CONCEPTS: ARE THEY SUITABLE FOR SECONDARY STUDENTS?", *Chem. Educ. Res. Pract.* 3, n.º 2 (2002): 129-44, doi:10.1039/b2rp90011d.

⁴⁴ Georgios TSAPARLIS e Georgios PAPAPHOTIS, "QUANTUM-CHEMICAL CONCEPTS: ARE THEY SUITABLE FOR SECONDARY STUDENTS?", *Chem. Educ. Res. Pract.* 3, n.º 2 (2002): 129-44, doi:10.1039/b2rp90011d.

Moderna	SIM	NÃO	NÃO	SIM
SM Educação	SIM	SIM	SIM	SIM

Editora FTD

No livro “Multiversos: ciências da natureza: matéria, energia e a vida: ensino médio”. Foi observada uma pequena amostra da progressão do conhecimento científico.

Thomson postulou a existência de elétrons a partir dos experimentos de William Crookes. O átomo de Rutherford propôs seu modelo atômico devido a incapacidade do modelo atômico de Thomson de explicar a emissão de radioatividade. Seria sugestivo pontuar a própria declaração de Rutherford que diz que a teoria de Sir J. J. Thomson parte da premissa de que a dispersão causada por um único encontro atômico é de pequena magnitude, e a estrutura específica atribuída ao átomo não permite uma deflexão significativa, uma vez que o tamanho da esfera de carga positiva é extremamente reduzido em comparação com o diâmetro da região de influência do átomo. A partir desse momento poderia se mostrar o experimento da placa de ouro mostrando a deflexão das partículas alfa (α). O modelo de Bohr é apresentado de modo muito simplificado, não permitindo o desenvolvimento dos métodos e raciocínios desenvolvidos pelo cientista. Isso é consequência da não apresentação da teoria atômica que antecede o modelo de Bohr e o modelo de átomo moderno que sequer é mencionado.

No que reporta ao impacto na sociedade verificamos uma completa ausência dos impactos das ideias científicas na sociedade dos modelos de Thomson e Rutherford. O tubo de raios catódicos poderia ser abordado como precursor das televisões modernas. Um tubo de raios catódicos (TRC) é um componente essencial em televisões e monitores de tubo, que foram amplamente utilizados antes do advento das telas de cristal líquido (LCD) e outros tipos de tecnologia de tela plana. O TRC é um dispositivo de vácuo que utiliza um feixe de elétrons para gerar imagens em uma tela revestida de fósforo. No modelo de Bohr é mencionada uma tímida aplicação do modelo na determinação das cores das chamas dos elementos. Historicamente essa associação é incorreta, pois o modelo atômico de Bohr conseguiu explicar somente as emissões do gás hidrogênio.

Embora haja alguma menção a alguns cientistas mais famosos, a história da ciência é na maior parte das vezes isolada do seu contexto social. Portanto, a história da Ciência é tratada em um plano secundário. Estes achados estão em consonância com Chaves, Santos & Carneiro⁴⁵ (2014) afirmam que “Não obstante, essa abordagem histórica é limitada, uma vez que se concretiza na descrição isolada e episódica de informações sumárias, sem o devido aprofundamento quanto à problematização e contextualização sócio-histórica”. Uma coisa muito interessante para o modelo de Thomson foi o seu

⁴⁵ Lígia M. Martinho Pereira Chaves, Wildson Luiz Pereira dos Santos e Maria Helena da Silva Carneiro, "History of Science on atomic models in Chemistry textbooks and Science conceptions", *Química Nova na Escola* 36, n.º 4 (2014): 278, doi:10.5935/0104-8899.20140032.

trabalho com o cientista Lord Rayleigh que trabalhara com a difusão de partículas e que foi laureado com o prêmio Nobel.

[...] partindo da premissa de que a HC é praticamente restrita aos conteúdos de modelos atômicos, fica evidente que os LD de química tendem a produzir uma concepção de ciência desenvolvida por cientistas ilustres que trabalham de forma isolada, cujas teorias científicas são elaboradas linear e cumulativamente ao longo da história.⁴⁶

Editora Moderna

No livro “Diálogo: ciências da natureza e suas tecnologias: manual do professor”, é possível observar a progressão do conhecimento científico com exemplos de experimentos que falsificaram ideais anteriores. No mesmo capítulo é demonstrado como conhecimentos anteriores ajudaram a pavimentar as novas teorias atômicas. Aqui mais uma vez a descrição dos impactos da teoria na sociedade ainda é mínimo.

Assim como modelos atômicos propostos anteriormente, o elaborado por Rutherford e seus colaboradores apresentava incoerências. Sabe-se, por exemplo, que corpos com carga elétrica e em movimento emitem radiação. Sendo assim, os elétrons, que se movem rapidamente ao redor do núcleo, de acordo com Rutherford, tenderiam a perder energia, sendo atraídos pelo núcleo. Isso causaria o colapso do átomo, o que na prática impediria a existência de átomos e, conseqüentemente, de qualquer elemento químico.⁴⁷

Para o modelo atômico de Thomson, por exemplo, poderiam ser discutidos os avanços da criação da televisão de tubos. No modelo de Rutherford é mencionado brevemente o contexto do estudo da radioatividade como precursora do experimento de irradiação de partículas alfa na placa de ouro.

Para o modelo do átomo moderno não há menção do impacto do modelo na sociedade. Uma breve leitura de artigos desse tópico produziria uma efusão de aplicações do modelo de átomo moderno que vão do planejamento de novos fármacos à produção de novos materiais^{48,49}. A falta de discussão sobre as aplicações da teoria quântica no ensino médio representa uma problemática significativa que afeta tanto o entendimento científico quanto o interesse dos alunos. A teoria quântica não é apenas um conjunto de conceitos abstratos; ela fundamenta inovações tecnológicas e fenômenos do cotidiano, como semicondutores, lasers e dispositivos eletrônicos. Quando essas aplicações não são abordadas, perde-se a oportunidade de mostrar a relevância prática e o impacto da ciência na vida moderna.

⁴⁶ Ibid.

⁴⁷ Kelly Cristina dos Santos, ed., Diálogo: ciências da natureza e suas tecnologias. (São Paulo: Moderna, 2020), 54.

⁴⁸ Nick S. Blunt et al., "Perspective on the Current State-of-the-Art of Quantum Computing for Drug Discovery Applications", *Journal of Chemical Theory and Computation*, 10 de novembro de 2022, doi:10.1021/acs.jctc.2c00574.

⁴⁹ Robert Cava, Nathalie de Leon e Weiwei Xie, "Introduction: Quantum Materials", *Chemical Reviews* 121, n.º 5 (10 de março de 2021): 2777–79, doi:10.1021/acs.chemrev.0c01322.

Sem explorar as aplicações da teoria quântica, os estudantes podem perceber o tema como algo distante e desnecessariamente complicado, dificultando sua compreensão e desmotivando o aprendiz. A ausência de exemplos concretos reduz a capacidade dos alunos de relacionar conceitos científicos com tecnologias que eles usam diariamente, como celulares e computadores. Ademais, o ensino que ignora aplicações práticas da teoria quântica tende a ser excessivamente centrado em conceitos históricos ou teóricos, desconectando-se das realidades do mundo moderno. Isso dificulta a criação de uma visão integrada e interdisciplinar da ciência.

Editora SM Educação

No livro “Ser protagonista: ciências da natureza e suas tecnologias: composição e estrutura dos corpos: ensino médio”, evoca-se a analogia para o modelo de Thomson, popularmente conhecida como “pudim de passas” que tem sido objeto de críticas⁵⁰. O modelo de Rutherford é descrito corretamente, todavia não mostra analogia com o modelo de Thomson. A evolução das teorias é mostrada através do modelo Rutherford-Bohr. Esse dado mostra como teorias podem ser modificadas ou substituídas por teorias mais precisas. Nesse caso, ocorre a introdução da quantização das órbitas planetárias a partir do modelo planetário de Rutherford. Por fim Bohr assume a premissa das órbitas planetárias onde o elétron transita quanticamente entre essas órbitas.

Diferentemente dos demais livros, é apresentado um capítulo de física posterior ao capítulo de modelo atômico tratando dos princípios da teoria quântica. São mostrados os experimentos do corpo negro, o efeito fotoelétrico, a dualidade partícula onda, o princípio da incerteza e o spin. A aplicação do efeito fotoelétrico em calculadoras é brevemente discutida no texto. A natureza dual partícula-onda é também discutida no texto. Embora haja um desenvolvimento progressivo do conhecimento dos fenômenos que antecederam a teoria quântica, não há a construção dos modelos atômicos modernos. Em um capítulo posterior são iniciados os conceitos da física nuclear. A interdisciplinaridade na abordagem dos modelos atômicos quânticos é uma estratégia didática que conecta conceitos da Química, Física e outras áreas, como Biologia e Tecnologia, para promover um aprendizado mais integrado e contextualizado. A mecânica quântica, que fundamenta os modelos atômicos modernos, oferece inúmeras oportunidades para explorar aplicações práticas e conceitos científicos relevantes em diferentes disciplinas.

A posteriori, o livro já lança os conceitos de ligação química. Os educadores de química devem ter um profundo entendimento da química quântica, incluindo suas raízes históricas⁵¹; por outro lado, é muito

⁵⁰ Tatiana Costa Ramos, Paula Cristina Cardoso Mendonça e Nilmara Braga Mozzer, "Argumentação de estudantes na criação e crítica de analogias sobre o Modelo Atômico de Thomson", *Ciência & Educação (Bauru)* 25, n.º 3 (setembro de 2019):607–24, doi:10.1590/1516-731320190030003.

⁵¹ Georgios TSAPARLIS, "TOWARDS A MEANINGFUL INTRODUCTION TO THE SCHRÖDINGER EQUATION THROUGH HISTORICAL AND HEURISTIC APPROACHES", *Chem. Educ. Res. Pract.* 2, n.º 3 (2001): 203–13, doi:10.1039/b1rp90023d.

importante que eles estejam cientes da filosofia da química a fim de compreender "quais teorias, modelos e leis são, em geral, e como variam na natureza entre as Ciências básicas da física, química e biologia"⁵².

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerando a pergunta de pesquisa "Quais as principais lacunas históricas evidenciadas na construção dos modelos atômicos dos livros didáticos? Este artigo buscou comparar os escritos originais dos pioneiros da teoria atômica com aqueles descritos pelos autores de livros didáticos do ensino médio prescritos para o PNLD de 2021. Dentro dessa perspectiva, percebeu-se que, dos três livros analisados, dois não abordavam o modelo de átomo moderno baseado na teoria quântica.

Essas análises indicam que esses livros didáticos ao não apresentarem uma fundamentação teórica suficiente para a compreensão dos conceitos envolvidos na explicação das propriedades dos átomos e das moléculas, podem comprometer o entendimento da natureza da matéria. Portanto, evidenciam a necessidade de um olhar mais criterioso do professor ao se fazer uso desses livros. Considerando as lacunas existentes nesses materiais, a abordagem complementar aos livros para explicar e prever o comportamento macroscópico da matéria por meio da mecânica quântica se faz necessária.

Ademais verificou-se que alguns não apresentavam o impacto do modelo na sociedade, principalmente os impactos provenientes do átomo moderno. A ausência do modelo de átomo moderno baseado na teoria quântica em dois dos três livros analisados aponta para um problema relevante no ensino médio: a lacuna na abordagem de conceitos fundamentais da ciência contemporânea. Isso pode ser prejudicial em vários aspectos do aprendizado de Química, dificultando o desenvolvimento de uma compreensão atualizada e integrada do mundo natural pelos estudantes. O modelo de átomo moderno, fundamentado na mecânica quântica, é essencial para compreender fenômenos como a organização da tabela periódica, a ligação química e o comportamento eletrônico em diferentes contextos. Ignorar ou simplificar em excesso essa abordagem reduz a qualidade do ensino e cria lacunas no conhecimento dos estudantes. Portanto, as análises aqui apresentadas são fundamentais para fomentar o debate na área de Ensino de Ciências acerca do pensamento histórico-crítico dos modelos atômicos, de modo que novas possibilidades para o ensino da mecânica quântica possam ser pensadas e alinhadas à história da ciência completa, contextualizada e crítica da natureza do conhecimento científico.

SOBRE OS AUTORES:

Marcos Wilson Vicente de Assis

marcos.assis@ufnt.edu.br

Universidade Federal do Norte do Tocantins

⁵² Eric R. SCERRI, "THE NEW PHILOSOPHY OF CHEMISTRY AND ITS RELEVANCE TO CHEMICAL EDUCATION", *Chem. Educ. Res. Pract.* 2, n.º 2 (2001): 169, doi:10.1039/b1rp90016a.

Daniel Augusto Barra de Oliveira

daniel.oliveira@ufnt.edu.br

Universidade Federal do Norte do Tocantins

Verenna Barbosa Gomes

verenna.gomes@ufnt.edu.br

Universidade Federal do Norte do Tocantins

Artigo recebido em 02 de julho de 2024
Aceito para publicação em 18 de novembro de 2024



Todo conteúdo desta revista está licenciado em Creative Commons CC By 4.0.