



J. J. THOMSON E O USO DE ANALOGIAS PARA EXPLICAR OS MODELOS ATÔMICOS: O ‘PUDIM DE PASSAS’ NOS LIVROS TEXTO

J. J. THOMSON AND ANALOGIES USE TO TEACH ATOMIC MODELS: THE ‘PLUM-PUDDING’ IN TEXTBOOKS

Cesar V. M. Lopes¹
Roberto de Andrade Martins²

¹Programa de Estudos Pós-Graduados em História da Ciência – PUCSP; Grupo de História e Teoria da Ciência – UNICAMP; Faculdade de Educação – UFRGS; cesar.lopez@ufrgs.br
²Grupo de História e Teoria da Ciência, Departamento de Raios Cósmicos e Cronologia, Instituto de Física “Gleb Wataghin”, UNICAMP, rmartins@ifi.unicamp.br

Resumo

A utilização da História da Ciência e de Analogias nos processos de ensino e de aprendizagem de ciências é uma discussão constante no campo da Educação. Apresentamos uma investigação que integra a análise do uso da história dos modelos atômicos e da utilização da analogia do ‘pudim de passas’ em livros texto de química geral da educação superior. Detalhamento de textos originais de J. J. Thomson e comparação com os textos apresentados em livros texto sobre o tema, enfatizando a não pertinência do uso da analogia estática para representar o modelo dinâmico de Thomson.

Palavras-chave: teoria atômica; história da ciência; livros texto; J. J. Thomson; ensino de ciências.

Abstract

The use of History of Science and Analogies in the processes of teaching and learning of science has been a constant debate in the field of Education. We present a research that integrates the analysis of the use of the history of atomic models and the use of the 'plum-pudding' analogy in General Chemistry Textbooks for the University Education. Detailing of the original texts of J. J. Thomson and comparison with the texts presented in textbooks on the subject, emphasizing the relevance of using non-static analogy to represent the dynamic model of Thomson.

Keywords: atomic theory; history of science; textbooks; J. J. Thomson; science education.

A utilização de analogias nos processos de ensino e aprendizagem tem sido bastante discutida no campo do ensino das ciências (Duit, 1991; Thiele & Treagust, 1995; Raviolo e Garritz, 2008) assim como várias pesquisas tem apontado a importância da História e Filosofia da Ciência para o ensino de ciências (Hodson, 1994; Matthews, 1994, Gil Perez, 1993), nesse artigo procuramos aliar essas duas questões para analisar uma analogia recorrente nos materiais didáticos para o ensino de química e física: o ‘pudim de passas’¹ (*plum-pudding*) como análogo do modelo de átomo proposto por Joseph John Thomson em 1904.

O ‘pudim de passas’ é uma analogia que transcendeu a relação entre o objeto e o análogo, transformando-os praticamente em sinônimos. Apesar de muitos de nós não termos uma imagem muito definida do que seja um ‘pudim de passas’, fazemos uma associação direta dessa expressão com o modelo proposto por J.J. Thomson para o átomo.

Nessa investigação confrontamos as descrições do modelo atômico de Thomson presentes em livros do ensino superior² com textos originais do cientista, especialmente com o artigo “*On the structure of 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*” publicado em 1904 no *Philosophical Magazine*. Destacamos, na análise dos materiais didáticos, a presença da analogia – pudim de passas – tradicionalmente apresentada como modelo de estrutura atômica.

Apresentamos, inicialmente, uma biografia do cientista, do modelo de átomo proposto em 1904, uma discussão sobre a importância de seu programa de pesquisa para a compreensão da estrutura da matéria e, para concluir, uma análise da inserção dessa temática em livros textos de química geral da educação superior.

JOSEPH JOHN THOMSON (1856 – 1940)

O cientista Inglês Joseph John Thomson foi uma das figuras mais importantes no desenvolvimento das teorias atômicas no final do século XIX e início do século XX. J. J. como era mais conhecido nasceu em Cheetham Hill em 18 de dezembro 1856 e morreu em 30 de agosto de 1940 em Cambridge – cidade onde viveu a maior parte de sua vida, desde 1876 (Heilbron, 1981. p. 362).

Thomson iniciou sua vida acadêmica em Manchester, com 14 anos ingressou no Owens College³ para cursar engenharia com 14 anos (Chayut, 1991, p. 531), desenvolvendo interesse pela física, pelas leis das combinações químicas e pelas teorias atômicas da matéria, principalmente pelas idéias de John Dalton (1766-1844)⁴.

Além dos conhecimentos de ciências, o tempo em Owens teve grande influência na formação do futuro pesquisador e professor “Tínhamos grande autonomia na escolha dos

¹ A analogia original, em inglês, é com o *plum-pudding*, uma tradicional sobremesa britânica feita com frutas secas, muito consumida no natal e pouco conhecida no Brasil. As traduções mais divulgadas da analogia em português ficaram sendo pudim de passas ou pudim de ameixas.

² Tendo em vista a reconhecida recorrência da analogia do “pudim de passas” como modelo de ensino, para a educação básica, seja através do trabalho do professor e/ou dos livros didáticos utilizados, optamos pela análise de 6 livros textos do ensino superior utilizados na formação dos professores de química e ciências que atuarão na educação básica.

³ Owens na época tinha uma ótima estrutura de laboratórios e excelentes professores como Osborne Reynolds (1842-1912) na engenharia, Henry Roscoe (1833-1915) na química, Balfour Stewart (1828-1887) na física e Thomas Barker (1838-1907) na matemática. Thomson publicou seu primeiro trabalho experimental com Balfour Stewart: “Experiments on contact electricity between non-conductors” em PRS, 25 (1877), 369-372; Stewart desenvolvia suas aulas diretamente no laboratório, o que era uma inovação no período, nessas aulas Thomson desenvolveu sua primeira experiência de investigação científica (Chayut, 1991, p.532)

⁴ Dalton morou e desenvolveu suas investigações em Manchester. “Embora ele [Dalton] fosse o mais tímido e reservado dos homens, as pessoas de Manchester sabiam que um grande homem vivia entre eles, e tinham orgulho disto[...] No dia do funeral dele muitos dos moinhos estavam fechados; e uma importante rua da cidade é chamada John Dalton” (Thomson, 1937. p. 8).

experimentos. Criávamos os aparelhos para nós mesmos e o prazer de investigar qualquer ponto de interesse era tão grande quanto o tempo que gastávamos. Este caminho tornou-se percurso do nosso trabalho. Isto foi muito mais interessante e mais educativo do que os sistemas altamente organizados que são necessários quando as turmas são grandes” (Thomson, 1937, p. 19), nesse período também, parece ter aprendido que a utilização de analogias mecânicas e teorias especulativas pode ser um valioso instrumental para compreender o “invisível”, aprendizagens que foram incorporados em sua produção teórica.

Por influência do Prof. Baker, Thomson fez seleção, em 1875, para uma bolsa no *Trinity College* em Cambridge, “Eu fui mal-sucedido em minha primeira tentativa para adquirir uma bolsa de estudos em Trinity, e nem mesmo fui qualificado para uma apresentação.” (Thomson, 1937, p. 31), no ano seguinte ele tentou novamente e ingressou para continuar seus estudos em matemática e física no *Trinity College* – Cambridge com 19 anos, permanecendo lá até o final de sua vida⁵.

Em seu Primeiro Livro - *A Treatise on the Motion of Vortex Rings* (1883) Thomson aplicou a teoria do átomo vortex ao problema das combinações químicas. Nesse trabalho usou a regra da máxima simplicidade de Dalton, assim como sua terminologia, mencionou também os “ímãs flutuantes” de Alfred Marshal Mayer (1836-1897). Thomson sugeriu que a valência de um átomo é igual ao número de anéis vórtices do qual ele é composto e também que a máxima capacidade de combinação dos átomos químicos seria seis(6) (Chayut, 1991. p.533). Nesse livro Thomson “tentou explicar a natureza da matéria e suas propriedades elétricas e químicas sob o ponto de vista da hidrodinâmica e foi a primeira vez que Thomson dedicou atenção aos tubos de descarga (Thomson, 1985. p. 291). Em 1883 Thomson iniciou sua investigação experimental sobre a condução de eletricidade por gases, aplicando a teoria do átomo vortex à combinação química.

A teoria do átomo vortex enfrentou críticas, principalmente de Friedrich Wilhelm Ostwald (1853-1932) e Arthur Schuster (1851-1934) e também não produzia mais as respostas que Thomson procurava. O início da década de 1890 foi um momento de mudanças metodológicas, Thomson passou a enfatizar teorias não-matemáticas com representação mecânica, no caminho contrário da geração de jovens físicos que buscavam uma disciplina mais formal e matemática.

Thomson publicou, em 1893, um suplemento do Tratado de eletricidade e magnetismo de James Clerk Maxwell (1831-1879) – *Recent Researches in Electricity and Magnetism* – o qual parece ter levado sua fama além das fronteiras da Inglaterra promovendo a afluência de jovens pesquisadores estrangeiros para trabalhar sob sua orientação no laboratório Cavendish, entre eles podemos destacar Ernest Rutherford (Nova Zelândia), John S. Townsend (Irlanda), John A. McClelland (Irlanda), John C. McLennan (Canadá), Paul Langevin (França) entre outros. Cabe destacar também a grande influência de Thomson sobre o trabalho dos físicos e químicos estadunidenses.

Dentre os alunos por Thomson podemos destacar Ernest Rutherford (1871-1937), que foi o primeiro pesquisador formado fora de Cambridge a atuar no Laboratório Cavendish “Cambridge: 3 Out. 1895 [...] no dia seguinte eu tive um compromisso com Thomson em Cambridge [...] Fui ao laboratório, encontrei Thomson e tive uma boa e longa conversa com ele. Ele é muito agradável conversando e também não está fossilizado. No que diz respeito à aparência ele é um homem de estatura média, moreno e muito jovem ainda: barba mal feita, e usa o cabelo bastante longo [...] Eu gostei muito do Sr. [Thomson]”⁶ (Carta de Rutherford para Mary Newton – Thomson, 1985, p. 290). Rutherford tornou-se um dos cientistas mais

⁵ Na maior parte desse período Thomson diretor do Laboratório Cavendish. O laboratório foi inaugurado em 1874, tendo primeiramente na direção Clerk Maxwell e depois Lorde Rayleigh. Thomson assumiu esse posto em 1884, com 28 anos (Holmyard, 1951 p.74)

⁶ Carta de Rutherford para Mary Newton, sua noiva na Nova Zelândia.

importantes nas pesquisas em radioatividade e estrutura atômica e acabou sucedendo Thomson na condução do Laboratório Cavendish em 1919 “para minha sucessão meu mais distinguido pupilo”⁷(Marsden, 1956).

Em 1895 Thomson enfatizou que a chave para entender valência e propriedades periódicas era valorizar as estruturas subatômicas em detrimento das leis derivadas do campo de observações macroscópicas, nesta linha de investigações publicou em 1897 do artigo que o levou a ganhar o prêmio Nobel – “Cathode Rays”. No período o debate sobre os raios catódicos era intenso e tinha adquirido uma conotação internacional: os alemães acreditavam que os raios catódicos eram um tipo de onda, os franceses e ingleses em sua maior parte acreditavam que esses raios eram constituídos de partículas (Thomson, 1985, p. 291).

Thomson recebeu o Prêmio Nobel de física em 1906 “em reconhecimento aos grandes méritos de suas investigações teóricas e experimentais sobre a condução de eletricidade em gases”⁸.

No trabalho de Thomson sobre os raios catódicos podemos destacar a diferença com trabalhos anteriores sobre o tema, primeiramente ele testou tubos contendo 4 diferentes gases e utilizou 3 metais diferentes na constituição dos eletrodos chegando sempre aos mesmos valores para a relação e/m (Thomson, 1985 p. 292), postulando assim que todos os elementos químicos são formados por um constituinte universal com uma massa mil vezes menor que a conhecida para o átomo de hidrogênio⁹.

J. J. Thomson após seus experimentos com raios catódicos, apresentou discussões sobre a constituição da matéria a partir de unidades corpusculares primordiais¹⁰, que fariam parte de toda a matéria conhecida, inclusive estrelas e planetas, e teriam se formado pela gradual agregação dessas unidades fundamentais (Thomson, 1904b).

O caminho de pesquisa percorrido por Thomson é um dos mais ricos na história da ciência, pesquisando em diversas áreas da física e da química (física das partículas, eletricidade, magnetismo, luz, radioatividade, propriedades periódicas, ligação química), formando gerações de pesquisadores ao redor do mundo e atuando na construção e execução de políticas de educação e ciência na Universidade de Cambridge e no Reino Unido¹¹. No campo das teorias atômicas Thomson teve a habilidade de conciliar teorias tão diferentes como teorias do “éter” e teorias corpusculares. Em seus primeiros trabalhos utilizou as idéias de Lorde Kelvin, que tinham base na existência do éter, incorporou as discussões de eletricidade e magnetismo de Maxwell, bem como analogias com as idéias do átomo de hidrogênio primordial de William Prout (1785-1850) e dos ímãs flutuantes de Mayer. Nos seus trabalhos em 1913-1914 discutiu a influência de Max Planck (1858-1947), aceitando o átomo nuclear e propondo um modelo de ligação química que diferenciava compostos polares e apolares.

OS ÁTOMOS PARA J. J. THOMSON

As idéias de J. J. Thomson sobre a estrutura do átomo se transformaram com a passagem do tempo e a consideração de novas teorias. Desde as idéias iniciais, que parecem estar vinculadas ao trabalho de Dalton até as hipóteses quânticas e o átomo nuclear. Essa miríade de teorias e resultados experimentais é possível de perceber ao longo do trabalho de Thomson,

⁷ Carta de Thomson para Rutherford datada de 15 março 1919.

⁸ http://nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1906. consultado em 10/02/2009.

⁹ Esses valores foram confirmados em 1899 pela determinação simultânea de e e m no efeito fotoelétrico. (Thomson, 1985, p. 292).

¹⁰ Thomson os chamou de corpúsculos, mas hoje os conhecemos por elétrons.

¹¹ Thomson foi presidente da *Royal Society* de Londres por 5 anos desde 1915 e presidiu uma comissão nacional de reforma curricular do ensino de ciências no Reino Unido, entre 1916 e 1918.

mostrando sua capacidade de adotar novos referenciais e produzir novas hipóteses explicativas a partir suas concepções iniciais.

Thomson teve preocupação em explicar as propriedades periódicas dos elementos com base na distribuição eletrônica “Para Thomson o problema fundamental em teoria atômica era a explicação da variação nas propriedades periódicas dos elementos químicos representados na Tabela de Mendeleev. Já em 1897, ao anunciar a descoberta do elétron, ele declarou que as novas partículas poderiam bem produzir esta periodicidade quando elas estão ligadas em um átomo.” (Heilbron, 1977. p. 23). Outra preocupação de Thomson foi a ligação entre os átomos para formar moléculas.

As concepções atômicas de Thomson mudaram com o andamento de suas investigações, todavia, desde suas primeiras explicações podemos encontrar a concepção de um átomo dinâmico (anéis vórtices, girostatos e corpúsculos em movimento), sempre um átomo que tem movimento em seus elementos constituintes.

Vortex

As primeiras explicações de Thomson para os átomos estão vinculadas ao modelo vortex¹². A questão dos anéis vórtices foi discutida desde 1867, por matemáticos e físicos, quando William Thomson - Lorde Kelvin (1824-1907) adotou o modelo de vórtices de Hermann von Helmholtz¹³ (1821-1894) para o modelo atômico no qual átomos eram formados por um conjunto tubos vórtices fechados no éter infinito, incompressível, homogêneo e sem atrito. Na elaboração de seu modelo de átomo vortex, Lorde Kelvin foi inspirado nos experimentos de Mayer com imãs flutuantes¹⁴, que forneceu a ele uma ilustração mecânica do equilíbrio cinético de grupos de colunas vórtices girando em torno de um centro de gravidade comum (Chayut, 1991, p. 533).

J.J. Thomson publicou, sobre o tema, seu primeiro livro em 1883 – *A Treatise on the Motion of Vortex Rings* - “Era de uma simplicidade espartana [sobre o modelo]. Naquele modelo, a matéria do universo era um fluido perfeito incompressível, e todas as propriedades da matéria eram devidas a movimentação deste fluido. Esse movimento era determinado pelas leis da hidrodinâmica e também toda física poderia ser reduzida à solução de um número de equações diferenciais” (Navarro, 2005, p. 259).

Girostatos

As relações entre modelos de átomo, ligação química, eletricidade e magnetismo parecem ter levado Thomson a buscar um novo modelo que pudesse explicar melhor os diversos experimentos que estavam se realizando naquele período. Em 1895 ele publicou um artigo¹⁵ onde descreveu um novo modelo de estrutura atômica e combinação química. Os átomos eram compostos por pequenos girostatos, e de acordo com o sentido do giro destes conferiam carga positiva ou negativa ao átomo. Quando os girostatos giravam no mesmo sentido que um tubo Faraday “saindo”, o átomo tinha um sistema que favorecia a aquisição de uma carga positiva,

¹² Os fundamentos matemáticos da Teoria Vortex foram estabelecidos por Helmholtz, em 1858; e Lorde Kelvin deu um tratamento físico à teoria a partir do final dos anos 1860. Físicos Britânicos foram atraídos por esse modelo simples da matéria atômica – uma concentração de éter girando como um anel de fumaça no ar. Apreciador de modelos mecânicos, Thomson adotou o modelo, publicando artigos sobre o tema, em 1879 e 1882, bem como o livro em 1883. (Topper, 1980, pp.41-42)

¹³ Peter Guthrie Tait, co-autor com Balfour Stewart, do livro “The Unseen Universe” foi o primeiro a introduzir na Inglaterra as análises de movimentos vórtices em fluidos perfeitos desenvolvidas por Helmholtz (Chayut, 1991, p. 532).

¹⁴ Mayer encontrou experimentalmente que sob um campo magnético de polaridade oposta, imãs flutuando em um líquido se arranjam em anéis concêntricos ao redor de um centro comum. (Chayut, 1991, p. 533).

¹⁵ J.J. Thomson. The Relation between the Atom and the Charge of Electricity carried by it. *Philosophical Magazine*, série 5, 40, 1895. pp. 511-544.

como o hidrogênio, enquanto átomos em que os girostats giravam na mesma direção de tubos Faraday “incidindo” tendiam a adquirir uma carga negativa (Chayut, 1991, p. 536).

Mais uma vez nos deparamos com imagens mecânicas sendo utilizadas por Thomson para explicar fenômenos físicos invisíveis, “pode-se ver essa imagem como ‘uma fantástica criação do filósofo especulativo’. Mas para Thomson, permitir-se ‘a visualização de processos físicos através de imagens”, foi tão importante quanto o ar que respirou” (Topper, 1980, p. 56-57).

O Átomo de 1904 - Corpúsculos - elétrons

A relação entre matéria e eletricidade, tornou-se uma constante nas investigações de Thomson desde os estudos com tubos de raios catódicos. No prefácio do livro *Electricity and Matter*¹⁶ Thomson apontou que “A principal característica das recentes Pesquisas em Eletricidade, tais como o estudo e descoberta dos Raios Catódicos e Röntgen e substâncias radioativas, tem tido especial atenção as pesquisas que têm envolvido a relação entre Matéria e Eletricidade” (Thomson, 1904b). Estão postas nesse livro, as idéias de Thomson sobre a constituição atômica da matéria a partir das relações com a carga elétrica “qualquer carga é constituída por um número finito de cargas individuais, todas iguais entre si; assim como na teoria atômica da matéria uma quantidade de hidrogênio é constituída por uma série de pequenas partículas chamadas átomos, sendo todos os átomos iguais entre si” (Thomson, 1904b. p. 71).

A utilização do átomo de hidrogênio como referência não era uma novidade e qualquer semelhança com as idéias de Prout não pode ser considerada uma coincidência, uma vez que Prout sugeriu que todos os elementos poderiam ser formados por condensação do Hidrogênio (Holmyard, 1951. p. 73) e para Thomson “As cargas que encontramos são sempre um múltiplo inteiro da carga carregada pelo átomo de hidrogênio; nunca encontramos partes fracionárias desta carga” (Thomson, 1904b. p. 73).

Também em dezembro de 1903 Thomson publicou um artigo - *The Magnetic Properties of Systems of Corpuscles describing Circular Orbits* – no *Philosophical Magazine*, onde descrevia uma série de propriedades dos corpúsculos (elétrons). Finalmente em 1904 ele publicou no mesmo periódico o artigo que sintetizava suas idéias sobre o átomo constituído pelos corpúsculos “A idéia que os átomos dos elementos consistem em um número de corpúsculos eletricamente negativos englobados numa esfera uniformemente positiva” (Thomson, 1904a, p. 237). Este modelo de átomo foi, provavelmente, o mais influente modelo atômico do início do século XX, principalmente para os químicos, até a proposta de Niels Bohr (1885-1962).

O modelo de Thomson não descrevia os constituintes positivos do átomo e supunha que os elétrons ligados circulavam em anéis coplanares dentro de uma esfera uniformemente positiva. Este modelo tinha uma grande vantagem sobre modelos nucleares – a estabilidade mecânica. “Quando em equilíbrio os n corpúsculos estão distribuídos a intervalos angulares iguais numa circunferência de raio a , cada corpúsculo carregado negativamente com uma carga e ” (Thomson, 1904a. p. 237).

Considerando as cargas presentes no átomo, a massa dos corpúsculos¹⁷, as dimensões do átomo e o número de corpúsculos presentes num átomo, Thomson pôde calcular a frequência de oscilação do sistema, estabelecendo as condições de estabilidade do anel com n corpúsculos. 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. A adição de um sexto corpúsculo central dava estabilidade a um anel externo de até 8 corpúsculos.

¹⁶ O livro foi escrito em 1903 e publicado em março de 1904 pela Universidade de Yale – EUA.

¹⁷ Primeiramente Thomson supôs que os elétrons eram responsáveis por toda/ou maior parte da massa do átomo. $n = 1 A$ ou $n = 2 A$, ou $n = 3 A$. Rutherford, posteriormente, pelas experiências de espalhamento de partículas α chegou ao valor de $n = A/2$. (A é a massa do átomo e n o número de elétrons)

“Nós temos primeiramente uma esfera positiva uniformemente eletrificada, e dentro dessa esfera um número de corpúsculos distribuídos numa série de anéis paralelos, o número de corpúsculos varia de anel para anel: cada corpúsculo está girando em alta velocidade na circunferência do anel que está situado, e os anéis estão distribuídos de forma que os com maior número de corpúsculos estão mais próximos da superfície da esfera, enquanto aqueles com menor número de corpúsculos estão mais internos” (Thomson, 1904a, pp. 254-255)

Todas as considerações de Thomson foram estabelecidas para a distribuição dos corpúsculos em anéis concêntricos e coplanares. Quando estes não ficavam restritos a um plano, podendo movimentar-se em todas as direções organizavam-se em “cascas” (*shells*) concêntricas. Os corpúsculos assim distribuídos não apresentavam equilíbrio estável. Se n for grande, o equilíbrio pode ser atingido introduzindo um número de corpúsculos necessários no interior. Analítica e geometricamente os problemas eram grandes considerando arranjos em “cascas” (Thomson, 1904a. p. 255).

Para determinar o arranjo dos corpúsculos nos anéis Thomson, assim como Lorde Kelvin, utilizou a analogia com os ímãs flutuantes investigados por Alfred Mayer “O problema da disposição dos corpúsculos é encontrar a forma como um número de corpos que se repelem mutuamente com forças inversamente proporcionais ao quadrado da distância entre elas, irão organizar-se quando sob a ação de uma força atrativa que tende a arrastá-los para um Ponto fixo. Pelo método experimental os corpúsculos são substituídos por agulhas magnetizadas fixadas em discos de cortiça e flutuando em água. Devem ser tomados cuidados que as agulhas sejam igualmente magnetizadas. Estas agulhas, tendo os seus pólos todos apontando no mesmo sentido, repelem-se mutuamente como os corpúsculos. A força atrativa é produzida por um grande ímã colocado acima da superfície da água, sendo o pólo inferior deste ímã de sinal oposto ao sinal superior dos pólos dos ímãs flutuantes.” (Thomson, 1907. p. 110)

Além do detalhamento da estrutura do átomo, a preocupação em explicar as combinações químicas estava claramente apresentada no artigo de 1904:

“Quando átomos eletronegativos, onde os corpúsculos estão muito estáveis, são misturados com átomos eletropositivos, onde os corpúsculos não estão firmemente presos, as forças as quais os corpúsculos ficam submetidos pela ação de um átomo sobre o outro resulta em perda de corpúsculos pelos átomos eletropositivos e sua transferência para os eletronegativos. Os átomos eletronegativos adquirem uma carga elétrica negativa, e os átomos eletropositivos uma carga positiva, os átomos com cargas opostas atrairão um ao outro, e um composto químico com os átomos eletropositivo e eletronegativo será formado” (Thomson, 1904a. pp. 262-263)

Após a publicação dos textos de 1904, Thomson continuou detalhando seu modelo através de exemplos, analogias e representação gráfica inclusive apresentando a distribuição eletrônica para átomos de 1 a 100 corpúsculos. Aprofundou suas idéias sobre combinação química, detalhando como podem acontecer ligações químicas, troca de corpúsculos, valência, eletronegatividade e eletropositividade. “Um objeto muito importante e interessante para investigação é a natureza das forças que seriam exercidas entre grupos de corpúsculos e sua aplicação à teoria da combinação química” (Thomson, 1907. p. 120) destacando claramente a idéia de busca do equilíbrio de um átomo na ligação com outro átomo. “Os termos

eletronegatividade e eletropositividade são apenas relativos, e um elemento pode ser eletropositivo para uma substância e eletronegativo para outra.” (Thomson, 1907, p. 126)

Pensando em analogias mecânicas e estabilidade mecânica: Será que Thomson nunca pensou no átomo nuclear? Essa deve ter sido uma de suas opções, seja pensando no modelo saturniano proposto por Hantaro Nagaoka¹⁸ (1865-1950) ou outras variantes, todavia esses modelos nucleares sempre apresentavam instabilidade do ponto de vista de eletrodinâmica clássica. Assim o modelo proposto por Thomson (a carga positiva ocupando o volume total do átomo) tornou-se um marco para o desenvolvimento da química, que precisava de um modelo estável de átomo para aprofundar as explicações de ligação e reação química.

Enquanto a física das partículas se aprofundava o detalhamento da estrutura atômica com a introdução da teoria quântica, na química essas idéias ainda eram infrutíferas, o modelo mecânico de Thomson, composto por elétrons que regiam as ligações químicas, era o necessário para a construção de modelos explicativos, principalmente em áreas como a físico-química e química orgânica. Um dos principais alicerces da química orgânica no início do século XX foi a teoria de ligação química proposta por Gilbert N. Lewis (1875-1946).

A preocupação de Thomson com o “átomo químico” levou ao aprofundamento das relações entre estrutura da matéria e transformações químicas, fornecendo uma base sólida para o desenvolvimento de outras teorias no campo da química, que tem importância teórica, experimental e pedagógica até os dias de hoje, mesmo após o desenvolvimento da química quântica.

LIVROS TEXTO

Os livros texto, ainda são um dos principais recursos didáticos usados por professores e alunos no processo educacional, seja na educação básica através dos livros didáticos seja na educação superior através da bibliografia básica das disciplinas curriculares iniciais.

Pensando na formação dos futuros professores de química, analisamos aqui 6 livros¹⁹ de química geral superior, buscando identificar a existência de abordagens históricas nos tópicos sobre estrutura atômica e a utilização de analogias vinculadas a essa abordagem histórica.

Considerando análises anteriores realizadas por Monteiro e Justi com livros didáticos para educação básica: a estrutura atômica além de ser a temática onde há maior incidência de analogias “Considerando o número de analogias presentes em cada coleção em função do tópico químico ao qual se referem [...] os tópicos ‘estrutura atômica’ [...] são aqueles nos quais aparece o maior percentual de analogias (41%)” (Monteiro & Justi, 2000, p. 6) isso pode ser devido à natureza abstrata dos conceitos tratados bem como à “tradição” no uso das analogias nesse tópico. Aqui abordamos a analogia do “pudim de passas” que conforme Monteiro & Justi (2000, p. 8) é uma das analogias repetidas em diferentes livros texto.

Além do uso de analogias o tópico de estrutura atômica é um dos mais ilustrados com fatos históricos nos livros texto. Essa abordagem histórica é comum em livros da educação superior e da educação básica. A perspectiva adotada, em geral, é da cronologia dos fatos históricos e da “evolução” dos modelos atômicos, enfatizando o trabalho dos “grandes cientistas”, no caso específico Dalton, Thomson, Rutherford, Bohr, Sommerfeld, De Broglie, Planck, Einstein, Heisenberg e Schrödinger (os seis últimos principalmente em livros do ensino superior), sem esquecer as idéias dos filósofos gregos Leucipo e Demócrito, “Essa cronologia é pouco informativa e pouco útil. Serve, apenas, para que o estudante fique conhecendo os nomes

¹⁸ O físico japonês Hantaro Nagaoka publicou um modelo de átomo nuclear, chamado de saturniano, no *Philosophical Magazine* no mesmo ano de 1904. (Nagaoka, H. Kinetics of a system of particles illustrating the line and the band spectrum and the phenomena of radioactivity.” *Philosophical Magazine* [6] 7 (41, May 1904): 445-455.)

¹⁹ Os livros analisados estão listados ao final do artigo.

de alguns cientistas famosos e tenha uma idéia sobre as épocas (e sobre as seqüências) de determinadas descobertas; mas não facilita o ensino da própria ciência” (Martins, 1990, p. 4)

A ANALOGIA

De acordo com Monteiro & Justi (2000) as analogias são modelos de ensino largamente utilizados por professores e autores de livros texto de Química “Na literatura, uma analogia é definida como uma comparação baseada em similaridades entre estruturas de dois domínios diferentes (Duit, 1991). Entretanto, para que uma analogia seja um modelo de ensino útil, ela deve possuir um conteúdo que é familiar aos alunos e um outro que é desconhecido por eles (Reigeluth, 1983). Enquanto o aspecto familiar é chamado ‘domínio da analogia’, o aspecto desconhecido é chamado de ‘domínio do alvo’ (Curtis e Reigeluth, 1984). Além do domínio ser familiar, é necessário que o alvo seja suficientemente ‘difícil’ para que os alunos utilizem a analogia como estratégia cognitiva” (Monteiro & Justi, 2000, p.2)

“No início do século XX, Thomson argumentou que já que os elétrons compreendiam apenas uma pequena fração da massa de um átomo, eles provavelmente seriam responsáveis por uma fração igualmente pequena do tamanho do átomo. Ele propôs que o átomo consistia em uma esfera positiva uniforme de matéria, na qual os elétrons estavam incrustados. . . Esse modelo, chamado de modelo ‘pudim de ameixa’, nome dado em homenagem a uma tradicional sobremesa inglesa, teve uma vida muito curta.” (Brown, 2007. p. 35)

A analogia necessita ser familiar ao aluno para que seja considerada um modelo de ensino útil. Quem conhece um Pudim de ameixas ou um Pudim de Passas no Brasil? Esta sobremesa típica da Inglaterra – *plum-pudding* – não tem muita penetração na cultura gastronômica brasileira, logo a maioria dos alunos não tem familiaridade com o análogo utilizado por seus professores e nos livros texto, o que torna mais difícil a relação que se deseja construir para facilitar a aprendizagem. Muitos professores necessitam construir análogos²⁰ para compreender como seria um pudim de passas, para daí então compreender a relação inicial com o modelo atômico.

“Thomson sugeriu um modelo de átomo como uma bolha de material gelatinoso com carga positiva e elétrons suspensos nela, como passas em um pudim. Esse modelo, entretanto, foi derrubado em 1908 por outra observação experimental.” (Atkins, 2007. p. 40)

Muito tem se discutido sobre a (in)validade do uso das analogias, um dos problemas apontados é a possibilidade de produzir erros conceituais, sendo imprescindível para reduzir essa possibilidade que os alunos possam identificar as diferenças entre a analogia e o conceito, indo além das similaridades, possibilitando assim a construção das fronteiras necessárias entre o objeto e o análogo.

“Um dos passos mais significativos no desenvolvimento do nosso conhecimento sobre estrutura do átomo foi dado por Ernest Rutherford, em 1911. Anteriormente, pensava-se que o átomo tivesse, aproximadamente, uma densidade uniforme em todo ele, com os elétrons embebidos em uma esfera de carga positiva, formando um conjunto muito

²⁰

Manjar branco com ameixas e panetone são algumas dessas analogias.

parecido com as passas em um pudim. Com esta visão mal definida do átomo em mente Rutherford” (Brady, 1986. p. 71.)

A relação entre o modelo e a analogia do “pudim de passas” parece se inverter na maioria dos livros texto consultados. As propriedades que são próprias da analogia são transferidas para o modelo. O modelo apresentado nesses materiais, estático como um pudim, está muito distante do proposto por J. J. Thomson.

É importante destacar, também, a referência ao modelo de Rutherford como substituto imediato do modelo de Thomson, quando sabe-se que o modelo de Rutherford era eletrodinamicamente instável e apresentou baixíssimo impacto junto à comunidade científica no período.

Além da analogia em questão, no trecho ilustrativo a seguir podemos identificar a apresentação de “suposições” equivocados do ponto de vista da história dos modelos atômicos: Thomson acreditava, nesse momento, que os elétrons, que poderiam estar numa quantidade muito grande num mesmo átomo, eram os responsáveis pela massa do átomo.

“... dado que a massa do elétron é muito pequena, parecia lógico associar a maior parte da massa do átomo com esta unidade positivamente carregada. Se a esta estivesse associada a maior parte da massa, tornava-se bastante razoável supor que ela ocupasse a maior parte do volume do átomo. Baseando-se nesse tipo de raciocínio, Thomson propôs que um átomo era uma esfera uniforme, carregada positivamente, com um raio de cerca de 10^{-8} cm, na qual os elétrons estariam inseridos de modo a se obter o arranjo eletrostaticamente mais estável.” (Mahan, 1998. p. 269)

Apenas um dos livros analisados apresentou uma descrição satisfatória do modelo proposto por Thomson, sem fazer analogias:

“J.J. Thomson supôs que o átomo era uma esfera uniforme de matéria carregada positivamente, dentro da qual circulavam milhares de elétrons em órbitas coplanares.” (Kotz, 2002. p. 47)

Concluindo apontamos que os livros texto, na maioria das vezes, repetem uma analogia que leva a construção errônea do conceito/modelo de Thomson, assim como podemos perceber que o desenvolvimento das pesquisas em História da Ciência tem pouca influência sobre os autores de livros texto de química geral superior. Esses livros continuam a apresentar erros graves do ponto de vista da história das práticas e teorias que se propõe a discutir. Mesmo assim, como Vidal e col. (2007, p. 32), acreditamos que estudos de casos em História da Ciência, como o modelo atômico de Thomson, podem ajudar na construção de conceitos e de uma visão da Ciência como atividade complexa.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à CAPES e à UFRGS pela concessão de Bolsa de Doutorado PICDT e à CAPES pela concessão de Bolsa PDEE na Universidade de Oxford – Reino Unido.

LIVROS DO ENSINO SUPERIOR

Atkins, Peter & Jones, Loretta. *Princípios de Química: Questionando a Vida Moderna e o Meio Ambiente*. 3 ed. Porto Alegre: Bookman, 2006. Reimpressão 2007. (tradução da 3ª edição em inglês de 2005)

Brady, James E. & Humiston, Gerard E. *Química Geral*. V.1. 2ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 1986. (tradução da edição em inglês de 1982)

Brown, Theodore L.; Lemay Jr., H. Eugene; Bursten, Bruce E. & Burdge, Julia R. *Química: A Ciência Central*. 9 ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005. Reimpressão 2007. (tradução da 9ª edição em inglês de 2003)

Kotz, John & Treichel Jr, Paul M. *Química Geral e Reações Químicas*. 4ª ed. Rio de Janeiro, LTC, 2002. (tradução da 4ª edição em inglês de 1999)

Mahan, Bruce M. & Myers, Rollie J. *Química: Um Curso Universitário*. São Paulo: Edgard Blucher, 1995. Reimpressão 1998. (tradução da 4ª edição em inglês de 1987)

Russel, John. *Química Geral*. V.1. 2ª ed. São Paulo: Makron Books, 1994. (tradução da edição em inglês de 1992)

REFERÊNCIAS

Chayut, M. J.J. Thomson: The Discovery of the Electron and the Chemists. *Annals of Science*, n. 48, pp. 527-544, 1991.

Duit, R. On the role of analogies and metaphors in learning science. *Science Education*, v. 75, n. 6, pp. 649-672, 1991

Gil Perez, D. Contribución de la Historia y de la Filosofía de las Ciencias al Desarrollo de un Modelo de Enseñanza-Aprendizaje como Investigación. *Enseñanza de las Ciencias*, v.11, n.2, pp. 197-212, 1993.

Heilbron, J. L. J. Thomson and the Bohr atom. *Physics Today*, v. 30, n. 4, pp. 23-30, 1977.

Heilbron, J.L. Thomson, Joseph John, in Gillispie, C.C. (org.) *Dictionary of Scientific Biography*, Vols. 13-14, Nova Iorque: Charles Scribner's Sons, 1981, p. 362.

Hodson, D. Hacia un enfoque más crítico del trabajo de laboratorio. *Enseñanza de las Ciencias*. v. 12., n. 3, pp. 299-313, 1994.

Holmyard, E. J. *British Scientists*, London: J.M Dent and sons, 1951.

Marsden, E. (ed.) *Correspondence of Lord Rutherford of Nelson*. V.1-9. London, Royal Society, 1956.

Martins, Roberto A. Sobre o Papel da História da Ciência no Ensino. *Boletim da Sociedade Brasileira de História da Ciência*, n. 9, pp. 3-5, 1990.

Mathews, M. R. Historia, Filosofia e Enseñanza de las Ciencias: La Aproximación actual. *Enseñanza de las Ciencias*, v.12, n.2, pp. 255-277, 1994.

Monteiro, I. G. & Justi, R. S. Analogias em livros didáticos de Química brasileiros destinados ao ensino médio. *Investigações em Ensino de Ciências*, v. 5, n. 2, pp. 67-91, 2000.

Navarro, J. J. Thomson on the Nature of Matter: Corpuscles and Continuum. *Centaurus*, n. 47, pp. 259-282, 2005.

Raviolo, A. & Garriz, A. Analogias no ensino de equilíbrio químico. *Química Nova na Escola*, n. 27, pp. 13-25, 2008.

Thiele, R.B. & Treagust, D.F. analogies in chemistry textbooks. *International Journal of Science Education*, v. 17, n. 6, pp. 783-785, 1995.

Thomson, George. "J.J. Thomson and the discovery of the Electron" In: WEART, Spencer & P. Melba (ed.) *History of Physics. Readings from Physics Today*. Nova Iorque: American Institute of Physics, 1985. pp.289-293.

Thomson, J. J. Cathode rays. *Philosophical Magazine*, série 5, 44, 1897.

Thomson, J. J. On the structure of 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. *Philosophical Magazine*, série 6, v.7, n. 39, pp.237-265, março 1904a.

Thomson, J. J. *Electricity and Matter*. Nova Iorque: Charles Scribner's Sons, 1904b.

Thomson, J. J. *The Corpuscular Theory of Matter*. London: Archibald Constable, 1907. 2a. impressão.

Thomson, J. J. *Recollections and Reflections*. Nova Iorque: MacMillan, 1937. 451p.

Topper, David R. 'To Reason by Means of Images': J.J. Thomson and the Mechanical Picture of Nature. *Annals of Science*, n. 37, pp. 31-57, 1980.

Vidal, P.H.O.; Cheloni, F.O. & Porto, P.A. O Lavoisier que não está presente nos livros didáticos. *Química Nova na Escola*, n. 26, pp. 29-32, 2007.