

O MODELO ATÔMICO DE BOHR E AS ABORDAGENS PARA SEU ENSINO NA ESCOLA MÉDIA

The atomic model of Bohr and approaches for its teaching in high school.

Leandro Londero*

Resumo

O ensino de conteúdos de física moderna e contemporânea na escola de nível médio é imprescindível e já foi justificado por diversos pesquisadores. Entre os conteúdos que deveriam ser ensinados encontra-se, por exemplo, o modelo atômico de Bohr. No entanto, como verificado mediante revisão de literatura, várias obras didáticas não abordam esse modelo adequadamente, uma vez que desconsideram as idéias de Bohr, as quais envolviam os estudos de Planck sobre a radiação do corpo negro, a teoria de Einstein para o efeito fotoelétrico, as experiências e o modelo atômico de Rutherford e os resultados empíricos sobre os espectros de emissão de elementos químicos. Perante isso, é de fundamental importância o ensino por meio de abordagens que potencializem a aprendizagem do modelo proposto por Niels Bohr. Por outro lado, professores do ensino médio podem não ter claro quais abordagens podem ser utilizadas quando do ensino do referido modelo. Assim, apresentam-se algumas possibilidades para o ensino do modelo atômico de Bohr, com exemplos e justificativas para o uso de cada uma delas. Atenção especial foi dada ao ensino por meio da História e Filosofia da Ciência, da leitura de textos de divulgação científica ou originais de cientistas, de analogias, de tiras em quadrinhos e simulações computacionais.

Palavras-chave: *Modelo Atômico de Bohr, Ensino de Física, Ensino Médio.*

* Doutor em Educação, Docente no Departamento de Educação, Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP). São José do Rio Preto, Brasil. leandro-londero@gmail.com.br

Abstract

The teaching of modern and contemporary Physics subjects in high school is indispensable and it was already justified by several researchers. Among the subjects which must be taught, there is, for instance, Bohr atomic model. However, as it was noticed in literature review, many didactic materials do not deal with this model adequately, since that they do not take into account Bohr ideas, which involved Planck studies on black-body radiation, Einstein theory for photoelectric effect, Rutherford experiences and atomic model and the empiric results upon the spectrums of chemical elements emission. From that, it is extremely important teaching through approaches which potentialize the learning of the model proposed by Niels Bohr. On the other hand, teachers from high schools cannot have clearness about which approaches can be applied for teaching the mentioned model. Thus, it is presented some possibilities for teaching Bohr atomic model, with examples and justifications for the use of each one. Special treatment was attributed to the teaching from Science History and Philosophy, from the reading of scientific diffusion and original scientific texts, from analogies, from comic strips and from computer simulations.

Key words: *bohr atomic model, physics teaching, high school.*

Introdução

Há algumas décadas iniciou-se em muitos países a inclusão, nos currículos da Educação Básica, de conteúdos que comumente chamamos de Física Moderna e Contemporânea (FMC). Mas, por que, nós professores de Física do Ensino Médio, devemos inserir tópicos e ideias de Física Moderna e Contemporânea na sala de aula?

Esta questão faz parte da carta escrita por Pena (2006) e enviada ao editor da Revista Brasileira de Ensino de Física. Pena procurou sistematizar justificativas presentes na literatura da área para a inserção de tópicos de FMC nos currículos escolares. Entre as justificativas encontram-se: a) influência

crescente dos conteúdos de FMC para o entendimento do mundo criado pelo homem (Terrazzan, 1992); b) impossibilidade de se vivenciar e participar plenamente do mundo tecnológico atual sem um mínimo de conhecimentos básicos dos desenvolvimentos mais recentes da Física (Terrazzan, 1992); c) despertar a curiosidade dos estudantes e ajudá-los a reconhecer a Física como um empreendimento humano e, portanto, mais próxima dos estudantes (Ostermann et al., 1998); d) estabelecer o contato dos alunos com as ideias revolucionárias que mudaram totalmente a Ciência do século XX, pois para os alunos a Física é um conjunto de conhecimentos que se acabou antes do início do século XX (Ostermann et al., 1998); e) atrair jovens para a carreira científica, futuros pes-

quisadores e/ou professores (Ostermann et al., 1998) e; f) transformar o ensino de Física tradicionalmente oferecido por nossas escolas, pois conceitos de FMC explicam fenômenos que a física clássica não explica, uma nova visão de mundo, física que hoje é responsável pelo atendimento de novas necessidades que surgem a cada dia, tornando-se cada vez mais básicas para o homem contemporâneo, um conjunto de conhecimentos que extrapola os limites da ciência e da tecnologia, influenciando outras formas do saber humano (Pinto e Zanetic, 1999).

Documentos ministeriais como os Parâmetros Curriculares Nacionais também sinalizam na direção da inclusão de conteúdos de FMC ao mencionarem que

...disciplinas científicas, como a Física, têm omitido os desenvolvimentos realizados durante o século XX e tratam de maneira enciclopédica e excessivamente dedutiva os conteúdos tradicionais”. Mais ainda, “...não se trata de incorporar elementos da ciência contemporânea simplesmente por conta de sua importância instrumental utilitária, [...] e sim de prover os alunos de condições para desenvolver uma visão de mundo atualizada. (Brasil, 1999)

No âmbito do Ensino de Física no Brasil, a produção de trabalhos sobre a inserção da FMC começou a ter expressão há cerca de duas décadas. Na década de 90 assiste-se a uma intensificação do número de estudos que envolvem esta temática. Esta tendência manifesta-se inclusive no fato de uma revista especializada como a *Investigações em Ensino de Ciências*, editada no Brasil, publicar no

número 1, do volume 5, de janeiro de 2000, um artigo de revisão sobre esse tema (Ostermann e Moreira, 2000).

Nesse artigo, os autores se propõem a revisar os estudos sobre a linha de pesquisa “Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio” mediante consulta a artigos de revistas, livros didáticos, dissertações, teses, projetos e navegações pela internet, que abordam essa questão. Concluem que há muitas justificativas em favor da atualização curricular e até uma bibliografia que apresenta temas modernos. Além disso, afirmam que um desafio é a escolha de que temas de FMC deveriam ser objeto de especial atenção na formação de professores de Física com vistas a um trabalho adequado no Ensino Médio.

Ostermann e Moreira (1998) com o intuito de obterem uma lista consensual, entre físicos, pesquisadores em Ensino de Física e professores de Física do Ensino Médio, sobre quais tópicos de FMC deveriam ser abordados na escola média, com vistas a atualizar o currículo de Física neste nível, chegam aos seguintes itens: leis de conservação, radioatividade, forças fundamentais, fissão e fusão nuclear, origem do universo, raios X, partículas elementares, Big Bang, relatividade restrita, estrutura molecular, metais e isolantes, semicondutores, laser, supercondutores, fibras ópticas, efeito fotoelétrico, dualidade onda-partícula e *átomo de Bohr*.

○ modelo atômico de Bohr

Niels Bohr dedicou-se, entre outros assuntos, ao estudo da estabilidade do átomo, uma vez que o modelo atômico de Rutherford

apresentava um problema de instabilidade radioativa, pois, de acordo com a teoria de Maxwell, elétrons em movimento ao redor do núcleo deveriam emitir radiação, perdendo energia e colapsando o sistema. Ele acreditou no modelo dos elétrons orbitando em torno do núcleo e resolveu o problema da instabilidade. Estava convicto que a Mecânica Clássica não seria mesmo capaz de descrever o átomo de hidrogênio.

Por meio do estudo e análise das teorias e experiências da época, como a do efeito Zeeman, o efeito fotoelétrico de Einstein, as séries espectrais dos elementos químicos, as experiências e o modelo atômico de Rutherford e, principalmente, a teoria de Planck, Bôhr percebeu que deveria haver alguma relação entre as energias dos elétrons em suas órbitas atômicas e as correspondentes frequências, conforme sugeria a teoria da radiação proposta por Max Planck em 1900, conhecida como teoria quântica. Em 1913 ele propôs um novo modelo atômico.

Bohr propôs que os elétrons giram ao redor do núcleo em um número limitado de órbitas circulares e bem definidas (fixas), que são denominadas de órbitas estacionárias, arranjadas em círculos concêntricos, com determinados níveis de energia. Mais tarde, seriam as chamadas “camadas eletrônicas” (K,L,M,N,O,P e Q).

Segundo a teoria da radiação de Planck, a energia não é emitida de maneira contínua, mas em pacotes chamados de quanta. Aplicando a teoria de Planck no modelo de Rutherford, Bohr conseguiu formular 5 postulados relacionados com o movimento dos elétrons. No livro “So-

bre a constituição de átomos e moléculas”, Bohr (1989) apresenta-os na seguinte forma:

1. A energia radiada não é emitida (ou absorvida) da maneira contínua admitida pela eletrodinâmica clássica, mas apenas durante a passagem dos sistemas de um estado “estacionário” para outro diferente.
2. O equilíbrio dinâmico dos sistemas nos estados estacionários é governado pelas leis da mecânica clássica, não se verificando essas leis nas transições dos sistemas entre diferentes estados estacionários.
3. É homogênea a radiação emitida durante a transição de um sistema de um estado estacionário para outro, e que a relação entre a frequência ν e a quantidade total de energia é dada por $E = h\nu$, sendo h a constante de Planck.
4. Os diferentes estados estacionários de um sistema simples constituído por um elétron que roda em volta de um núcleo positivo são determinados pela condição de ser igual a um múltiplo inteiro de $2/h$ a razão entre a energia total emitida durante a formação da configuração e a frequência de revolução do elétron. Admitindo que a órbita do elétron é circular, esta hipótese equivale a supor que o momento angular do elétron em torno do núcleo é igual a um múltiplo inteiro de $h/2\pi$.
5. O estado ‘permanente’ de um sistema atômico – isto é, o estado no qual a energia emitida é máxima – é determinado pela condição de ser igual a $h/2\pi$ o momento angular de cada elétron em torno do centro da sua órbita.

Na órbita mais próxima do núcleo o elétron estaria no “estado fundamental”, encontrando-se no seu nível de energia mais baixo, de modo que, se o elétron estivesse em uma órbita superior ao estado fundamental poderia “cair” em qualquer outra mais próxima do núcleo.

Se os elétrons de um átomo recebem energia ou colidem com outros elétrons, eles saltam para níveis mais extremos. Neste caso, dizemos que os elétrons entram em estado excitado. Se os elétrons cedem energia, eles saltam para níveis mais internos e a energia liberada sai em forma de quantum de luz ou fóton.

Peduzzi e Basso (2005), em artigo publicado intitulado “Para o ensino do átomo de Bohr no nível médio”, analisaram a apresentação dada por autores de livros didáticos, destinados ao ensino médio, ao modelo atômico de Bohr. Esses autores concluíram que

[...]a maioria das obras consultadas não contextualiza adequadamente o tema, considerando-se que o quadro teórico e experimental em que estavam inseridas as ideias de Bohr envolviam os estudos de Planck sobre a radiação do corpo negro, a teoria de Einstein do efeito fotoelétrico, as experiências e o modelo atômico de Rutherford e resultados empíricos sobre os espectros de emissão de vários elementos químicos. (Peduzzi e Basso, 2005)

Perante isso, é de fundamental importância o ensino por meio de abordagens que potencializem a aprendizagem dos modelos atômicos, em particular, o proposto por Niels Bohr. Abordagens que permitam a visualização da dinâmica de produção desse modelo e que

contemplem suas controvérsias e sua complexidade possibilitando a compreensão do papel fundamental que a teoria que o descreve teve na constituição da Física, não se configurando apenas como um modelo estrutural para o átomo.

Assim, o objetivo deste ensaio é apresentar um inventário sobre as possibilidades para o ensino do modelo atômico de Bohr, disponíveis aos professores, com exemplos e justificativas para o uso de cada uma delas. Se pensarmos no ensino desse modelo atômico, especificamente para o ensino médio, encontramos na literatura da área de Ensino de Física algumas possibilidades para o tratamento deste tópico curricular. Considero como possibilidades de ensino as propostas que englobam enfoques/abordagens e/ou recursos pensados por professores e/ou pesquisadores de ensino de física e recolhidas de publicações realizadas nas últimas três décadas.

O ensino do modelo atômico de Bohr por meio da história e filosofia da ciência

uma abordagem que vêm ganhando cada vez mais destaque é aquela que leva em conta aspectos históricos e filosóficos. Os Parâmetros Curriculares Nacionais (BRASIL, 1999) já indicavam a importância do ensino de física contemplar os aspectos históricos e filosóficos ao mencionar que:

É essencial que o conhecimento físico seja explicitado como um processo histórico, objeto de contínua transformação e associado às outras formas de expres-

são e produção humanas. [...] ao lado de um caráter mais prático, a Física revela também uma dimensão filosófica, com uma beleza e importância que não devem ser subestimadas no processo educativo” (Brasil, 1999).

Há alguns anos, vários autores já defendiam o uso da História e Filosofia da Ciência para o Ensino de Física. É o caso, por exemplo, do prêmio Nobel de física, de 1944, Isidor Isaac Rabi, que na introdução do Harvard Physics Project (1968) argumentava:

Proponho que a ciência seja ensinada a qualquer nível, do mais baixo ao mais alto, de um modo humanístico. Deve ser ensinada com uma compreensão histórica, com um entendimento filosófico, com um entendimento social e humano, no sentido da biografia, da natureza das pessoas que fizeram a sua construção, dos triunfos das tentativas e das atribuições.

Por sua vez, Carvalho (1992) destacou que a importância do professor conhecer a História e Filosofia da Ciência está em poder compreender os seus alunos, pois inúmeras vezes o raciocínio encontrado em sala de aula é muito semelhante aquele que um dia a ciência já considerou como correto. Esta posição também é defendida por Martins (1990), o qual argumentou que:

[...] o professor conhecendo as concepções antigas de um determinado conceito, terá maior facilidade em compreender as dificuldades de seus alunos e poderá mais facilmente respeitar as suas concepções e fazer uma transposição didática para o conhecimento atual.

Portanto, o entendimento de como os conceitos foram construídos ao longo da história facilita o aprendizado da concepção final deles. Isso se reflete, por exemplo, quando do ensino do modelo atômico de Bohr, que para facilitar o seu entendimento precisamos recorrer ao processo histórico da sua construção. Em se tratando de História e Filosofia da Ciência, a discussão sobre o modelo atômico de Bohr apresenta muitas possibilidades de reflexão. Entre os temas mais importantes nesse sentido é a discussão sobre quebra de paradigmas, os quais sofreram sérios questionamentos no momento em que novas teorias foram estruturadas no início do século XX e que provocaram uma crise que se traduziu no surgimento de um novo paradigma teórico (a física moderna e contemporânea).

Além disso, numa abordagem histórico-filosófica ganha destaque a evolução dos modelos atômicos com as contribuições, por exemplo, de Leucippus, Demócrito, Dalton, Fechner, Thomson, Nagaoka, Rutherford, Bohr e por que não Sommerfeld, Schrödinger, De Broglie e Heisenberg. Nessa abordagem, a apresentação e a discussão do modelo de Bohr são subsidiadas pela evolução histórica dos modelos, destacando as limitações das propostas anteriores a Bohr, as diferenças do seu modelo em comparação com os demais e os avanços surgidos na física atômica após as ideias de Bohr. Ainda, os estudantes devem compreender as mudanças epistemológicas e culturais ocorridas a partir de sua proposta. Na tabela 1 é apresentada uma síntese de alguns modelos atômicos juntamente com seus propositores. Sua finalidade é apresentar, de forma breve, ao leitor, uma explicação geral dos modelos nela descritos e, ainda, mostrar que o entendimento

de “modelo de átomo” está constantemente em construção. Assim, vale a pena destacar que, não é o nosso objetivo reduzir a construção do modelo de átomo a uma série de nomes de cientistas, com suas produções.

Tabela 1. Síntese de alguns Modelos Atômicos e seus propositores.

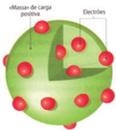
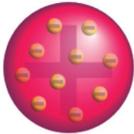
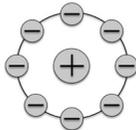
Propositor	Síntese do Modelo	Representação Pictórica
 Figura 1: Leucippus de Mileto (460 a.C - 370 a.C.) ¹	<p>Todas as coisas são inteiramente compostas de inúmeros elementos individuais e inextinguíveis chamados átomos. A matéria pode ser dividida em partículas cada vez menores, até chegar-se a um limite.</p>	
 Figura 2: Demócrito de Abdera (460 a.C. - 370 a.C.) ²	<p>O todo não se compõe somente de átomos ou partículas indivisíveis de mesma natureza. O vácuo é um “não ente”. A matéria é descontínua. Ao invés dos corpos macroscópicos, os corpos microscópicos, ou átomos não se interpenetram nem se dividem, sendo suas mudanças observadas em fenômenos físicos e químicos como associações de átomos e suas dissociações e que qualquer matéria é uma combinação de átomos dos quatro elementos: ar, fogo, água e terra.</p>	
 Figura 3: John Dalton (1766 - 1844) ³	<p>O átomo é a partícula elementar, a menor partícula que constitui a matéria, é rígido, indivisível, impenetrável, indestrutível e tem uma forma esférica (Modelo da esfera maciça).</p>	 Figura 4 ⁴

1 Disponível em: <<http://en.wikipedia.org/wiki/Leucippus>> (acesso em 30/05/2014)

2 Disponível em: <<http://www.ifi.unicamp.br/~ghtc/Universo/pag41.html>> (acesso em 30/05/2014)

3 Disponível em: <http://en.wikipedia.org/wiki/John_Dalton> (acesso em 30/05/2014)

4 Disponível em: <<http://www.explicatorium.com/CFQ9-Evolucao-atomo.php>> (acesso em 30/05/2014)

 <p>Figura 5: Gustav Theodor Fechner (1801 - 1887)⁵</p>	<p>O átomo consiste de uma parte central massiva que atraía gravitacionalmente uma nuvem de partículas quase imponderáveis.</p>	
 <p>Figura 6: Joseph John Thomson (1856 - 1940)⁶</p>	<p>O átomo é uma esfera maciça de carga positiva, estando os elétrons dispersos no seu interior (Modelo do pudim de passas).</p>	 <p>Figura 7⁷</p>
 <p>Figura 8: Jean Baptiste Perrin (1870 - 1942)⁸</p>	<p>Modificou o modelo atômico de Thomson, sugerindo pela primeira vez que as cargas negativas são externas ao “pudim”.</p>	 <p>Figura 9⁹</p>
 <p>Figura 10: Nagaoka Hantaro (1865 - 1950)¹⁰</p>	<p>O átomo é formado por um caroço central positivo rodeado de anéis de elétrons girando com a mesma velocidade angular, semelhante ao planeta saturno (Modelo saturniano)</p>	 <p>Figura 11¹¹</p>

5 Disponível em: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Gustav_Theodor_Fechner> (acesso em 30/05/2014)

6 Disponível em: <<http://famous-sci.blogspot.com.br/2012/09/j-j-thomson.html>> (acesso em 30/05/2014)

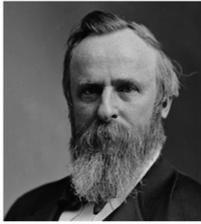
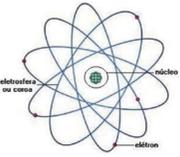
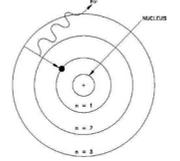
7 Disponível em: <<http://grupoquimicaatomos.blogspot.com.br/2011/04/evolucao-dos-modelos-atomicos.html>> (acesso em 30/05/2014)

8 Disponível em: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Jean_Baptiste_Perrin> (acesso em 30/05/2014)

9 Disponível em: <<http://atomosuper28.blogspot.com.br>> (acesso em 30/05/2014)

0 Disponível em: <http://en.wikipedia.org/wiki/Hantaro_Nagaoka> (acesso em 30/05/2014)

11 Disponível em: <<http://www.agracadaquimica.com.br/index.php?&ds=1&acao=quimica/ms2&i=22&id=643>> (acesso em 30/05/2014)

 <p>Figura 12: Gilbert Newton Lewis (1875 - 1946)¹²</p>	<p>O modelo de Lewis está baseado em um cubo, onde os elétrons de um átomo se colocam de forma cúbica, ou seja, os elétrons de um átomo estavam colocados nos vértices de um cubo.</p>	 <p>Figura 13¹³</p>
 <p>Figura 14: Ernest Rutherford (1871 - 1937)¹⁴</p>	<p>A maior parte do espaço do átomo é vazio. No seu interior, existe uma pequena região central positiva (núcleo), muito pequeno em relação ao tamanho total do átomo, porém com grande massa e ao seu redor, ao redor do núcleo localizam-se os elétrons com carga negativa (compondo a “enorme” eletrosfera) e com pequena massa, que neutraliza o átomo. Os elétrons giram em volta do núcleo em órbitas circulares. (Modelo planetário)</p>	 <p>Figura 15¹⁵</p>
 <p>Figura 16: Niels Henrik David Bohr (1885 - 1962)¹⁶</p>	<p>O átomo possui um núcleo central. Os elétrons descrevem órbitas circulares em torno do núcleo, sendo que só podem ocupar determinados níveis de energia. A cada órbita corresponde um valor de energia</p>	 <p>Figura 17¹⁷</p>

13 14 15 16 17 18

12 Disponível em: <http://sunsite.berkeley.edu/~ucalhist/archives_exhibits/in_memoriam/catalog/lewis_gilbert.html> (acesso em 30/05/2014)

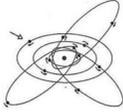
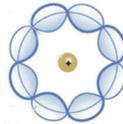
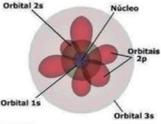
13 Disponível em: <http://es.wikipedia.org/wiki/Modelo_del_átomo_cúbico> (acesso em 30/05/2014)

14 Disponível em: <<http://www.escienciaonline.com/que-tanto-se-puede-hacer-con-un-barometro/>> (acesso em 30/05/2014)

15 Disponível em: <<http://quimicacoma2108.blogspot.com.br/2010/03/atamico-de-rutherford-primeira.html>> (acesso em 30/05/2014)

16 Disponível em: <<http://nautilus.fis.uc.pt/wwwqui/figuras/fisicos/txt/bohr.html>> (acesso em 30/05/2014)

17 Disponível em: <<http://neetescuela.com/modelo-atamico-de-bohr/>> (acesso em 30/05/2014)

 <p>Figura 18: Arnold Johannes Wilhelm Sommerfeld (1868 - 1951)¹⁸</p>	<p>Postulou a existência de órbitas não só circulares, mas também elípticas. Num nível de energia n, há uma órbita circular e $(n-1)$ órbitas elípticas de diferentes excentricidades. Exemplo, no nível de energia $n=4$ (camada N), há uma órbita circular e três órbitas elípticas. Cada uma das órbitas elípticas constitui um subnível, cada um com sua energia. Os orbitais não se estabelecem num mesmo plano.</p>	 <p>Figura 19¹⁹</p>
 <p>Figura 20: Erwin Schrödinger (1887 - 1961)²⁰</p>	<p>O Modelo de Schrödinger é um modelo quântico não relativista que se baseia na solução da equação de Schrödinger para um potencial eletrostático com simetria esférica, chamado também de átomo hidrogenoide.</p>	 <p>Figura 21²¹</p>
 <p>Figura 22: Paul Dirac (1902-1984)²²</p>	<p>Com base na Mecânica Quântica Ondulatória, ampliaram os conhecimentos anteriores e em 1928 Paul Dirac obteve uma descrição quântico-relativista do elétron, predizendo a existência da antimatéria. Nas equações de Dirac e Jordan aparece o quarto parâmetro com característica quântica. Introduzem a ideia da descontinuidade da matéria.</p>	 <p>Figura 24²³</p>
 <p>Figura 23: Ernst Pascual Jordan (1902-1980)²⁴</p>		

18 Disponível em: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Arnold_Sommerfeld> (acesso em 30/05/2014)

19 Disponível em: <<http://timerime.com/en/event/2137895/evolucion+del+modelo+atomico++sommerfeld/>> (acesso em 30/05/2014)

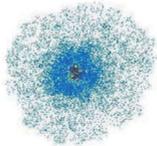
21 Disponível em: <<http://pauli.uni-muenster.de/~munsteg/physiker.html>> (acesso em 30/05/2014)

20 Disponível em: <<http://www.areciencias.com/quimica/modelos-atomicos.html>> (acesso em 30/05/2014)

21 Disponível em: <http://fr.wikipedia.org/wiki/Paul_Dirac> (acesso em 30/05/2014)

22 Disponível em: <<http://atomosuper28.blogspot.com.br>> (acesso em 30/05/2014)

23 Disponível em: <<http://www.nndb.com/people/144/000099844/>> (acesso em 30/05/2014)

 <p>Figura 25: Erwin Schrödinger (1887 - 1961)²⁵</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Desenvolveram uma nova teoria do modelo atômico, além de postular uma nova visão, chamada de mecânica ondulatória. • O átomo possui um núcleo central, de reduzidas dimensões, na qual se encontram os prótons e os nêutrons e em torno desse uma nuvem eletrônica, na qual se encontram os elétrons, os quais se movem com elevada rapidez. • É impossível determinar, simultaneamente, com exatidão a posição e a velocidade de um elétron (Princípio da Incerteza). • Fundamentada na hipótese proposta por Broglie, na qual todo corpúsculo atômico pode comportar-se como onda e como partícula, Heisenberg postulou o princípio da incerteza. • A ideia de órbita eletrônica acabou por ficar desconexa, sendo substituída pelo conceito de probabilidade de se encontrar num instante qualquer um dado elétron numa determinada região do espaço. É possível falar em zonas onde a probabilidade de encontrar o elétron é maior. 	 <p>Figura 28²⁶</p>
 <p>Figura 26: Louis-Victor Pierre Raymond de Broglie (1892 - 1987)²⁷</p>		
 <p>Figura 27: Werner Karl Heisenberg (1901 - 1976)²⁸</p>		

A leitura da tabela 1 permite evidenciar a contribuição de diferentes cientistas, e suas respectivas visões/ideias, na ampliação e entendimento de um modelo atômico.

Por outro lado, é necessário cautela quanto ao uso da História e Filosofia da Ciência no ensino de conceitos científicos, pois como argumentou Zanetic (1988)

Não se deve olhar a História da Ciência como uma panaceia para o Ensino [...] a história talvez forneça para a gente uma certa humildade frente ao desconhecido. Acho que ela passa um pouco pelos erros que as pessoas cometeram.

Nesse mesmo sentido, Moreira (2000), em artigo publicado na Revista Brasileira de Ensino

25 Disponível em: <<http://pauli.uni-muenster.de/~munsteg/physiker.html>> (acesso em 30/05/2014)

26 Disponível em: <<http://www.explicatorium.com/CFQ9-Evolucao-atomo.php>> (acesso em 30/05/2014)

27 Disponível em: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Louis_de_Broglie> (acesso em 30/05/2014)

28 Disponível em: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Werner_Heisenberg> (acesso em 30/05/2014)

Física, intitulado “Física no Brasil: Retrospectiva e Perspectivas”, argumentou:

“Ensinar física apenas sob a perspectiva histórica também não me parece uma boa metodologia porque para adquirir conhecimentos o ser humano, normalmente, não precisa descobri-los, nem passar pelo processo histórico de sua construção.

Lewis (1976) e Martins (2006) nos alertam para alguns problemas que estão associados à introdução da História e Filosofia da Ciência no Ensino de Ciências. O primeiro refere-se ao fato de existirem poucos professores com formação inicial adequada para ensinar dentro de uma abordagem histórico-filosófica. O segundo é a falta de material didático adequado à disposição do professor. O terceiro é a utilização da História e Filosofia da Ciência apenas como uma série de datas e nomes. Carvalho e Vannucchi (2000) também acentuaram que parece haver uma dificuldade de se colocar em prática de sala de aula a inclusão da História e Filosofia da Ciência e, conforme argumenta Matthews (1995) a principal razão para esta dificuldade parece estar na formação do professor.

Segundo Teixeira e Freire Junior (2007), infelizmente, tem sido usual nos currículos dos cursos de graduação em Física no Brasil, uma subestimação dos aspectos históricos e epistemológicos da ciência. Tais currículos, em suma, relevam apenas o aspecto operacional da Física, o que caracteriza como um ensino em Física, mas não, sobre Física. O ensino que tem sido praticado segue a forma tradicional, essencialmente formal e baseada na exclusiva “matematização” de um conteúdo linear e fragmentado, exigindo tão somente a

memorização de equações sem que se estabeleçam os seus significados e sua contextualização (Teixeira e Freire Junior, 2007).

Perante isso, é de fundamental importância que essas questões passem a fazer parte das discussões presentes nos cursos de formação de professores de física, inclusive como maneira de superar as dificuldades acima mencionadas. Tendo em vista estas dificuldades, é possível utilizar outras abordagens e recursos para o ensino do modelo atômico de Bohr e não ficar restrito apenas aos aspectos Históricos e Filosóficos, principalmente se o professor não se sentir seguro e preparado para o ensino por meio dessa abordagem. Com isso, passo a apresentar outra possibilidade de recurso para esse tópico curricular.

O ensino do modelo atômico de Bohr e a leitura de textos

Alguns autores vêm defendendo a leitura em aulas de ciências argumentando que a prática de leitura pode servir como ponto de partida para a ativação do desenvolvimento intelectual dos alunos (Silva e Almeida, 1993), que a responsabilidade do uso de leitura não se restringe a uma única disciplina (Almeida e Ricon, 1993) ou, ainda, que a leitura de textos de divulgação científica no ambiente escolar se constitui em uma atividade diferenciada em relação ao desenvolvimento das aulas de física que geralmente se observa nas escolas (Zanotello e Almeida, 2007).

Good (1994), no prelúdio do volume especial do *Journal of Research in Science Teaching*, intitulado *The Reading - Science Learning - Writing Connection*, expressou claramen-

te que a aprendizagem da ciência está quase sempre associada à leitura ao afirmar que:

A aprendizagem da ciência é estabelecida em grande parte pela leitura e interação com o texto em diferentes circunstâncias. Entender como os estudantes interagem com a ciência descrita em textos é sem dúvida uma importante área de investigação.

Assim, uma possibilidade de ensino do modelo de Bohr é por meio da leitura de textos, em especial, aqueles classificados como de divulgação científica. Sabemos que é relativamente fácil encontrar muitos assuntos ligados à física atômica em revistas e livros de divulgação científica. Esses materiais surgem, então, como uma possibilidade de recurso de ensino para a discussão desse tópico.

Esses textos, em geral, não foram pensados e/ou elaborados para a escola, mas certamente podem ser utilizados por professores quando do ensino dos modelos atômicos, mediante diferentes estratégias de leitura. Para Terrazzan (2000), os textos de divulgação científica não têm preocupação didática explícita, não ficam presos à ideia de pré-requisitos e nem sequências de conteúdos.

Entre os textos que podem ser utilizados encontram-se produções como “*O incrível salto do elétron*” (Leuchs, 1990), “*A estranha família do átomo*” ou “*Niels Bohr: o Sherlock da física atômica*” (Dieguez e Arantes, 1992), publicados na revista *Superinteressante*. A título de ilustração, reproduziu-se abaixo um trecho de cada um destes textos, respectivamente, os quais estão disponíveis na internet.

No texto “*O incrível salto do elétron*” é possível discutir com os alunos, por exemplo, a noção de salto quântico. Ainda, é possível debater sobre o tempo que o elétron leva para realizar o salto quântico, como podemos perceber mediante a leitura do trecho reproduzido do texto original.

A Mecânica Quântica tornou-se famosa por suas ideias heterodoxas, mas poucas causaram tanta confusão, historicamente, como o conceito de salto quântico. Criado pelo dinamarquês Niels Bohr, em 1913, sustenta que dentro de um átomo existem regiões proibidas – onde os elétrons não podem permanecer e, segundo algumas interpretações, nem mesmo atravessar. Os territórios proibidos pareciam simplesmente não existir, criando grande desconforto intelectual para os físicos da época. Por meio das novas experiências, os físicos procuram eliminar as dúvidas que no passado atormentaram os próprios criadores da Mecânica Quântica. Uma delas pergunta quanto tempo o elétron leva para dar o salto quântico – se ele não atravessa espaço algum, não deveria gastar tempo algum. Parece lógico, mas uma coisa não assegura a outra. O fato é que há uma demora, como se pode verificar observando a emissão de luz pelo elétron toda vez que este dá um salto quântico. Isso ocorre sempre que o elétron recebe um raio de luz, absorve a energia luminosa e passa de uma órbita mais próxima do núcleo atômico para outra mais distante. Em seguida, emite a energia absorvida, novamente na forma de um átomo de luz, e dá um salto quântico. É possível medir o tempo gasto entre o recebimento e a devolução da energia luminosa.

Como esse tempo não é zero, parece claro que o salto quântico não é instantâneo.

Já em “*A estranha família do átomo*” a discussão pode girar em torno da explicação do modelo de Bohr a partir do mais simples dos átomos, o de hidrogênio, como no trecho abaixo, extraído do original.

Os físicos porém, não se desesperaram e acabaram realizando uma revolução científica, com a criação, na década de 20, da Teoria Quântica. O primeiro a ultrapassar as fronteiras do mundo atômico com as novas ferramentas quânticas foi Niels Bohr, em 1913. Ele montou um modelo para explicar o mais simples dos átomos, o do hidrogênio que tem apenas um próton no núcleo e um elétron girando ao redor dele. Nesse modelo há um número preciso de camadas, dispostas concêntricamente em torno do núcleo, nas quais o elétron pode se mover sem emitir radiação. Essas camadas correspondem aos diferentes níveis de energia que podem ser assumidos pelo elétron. Como a energia tem uma natureza descontínua, cada camada é separada da seguinte por uma zona que não pode ser transitada pelo elétron. A Teoria Quântica concentrou-se de início no estudo da distribuição e do comportamento dos elétrons no interior do átomo. O núcleo atômico continuava um território obscuro.

O último texto que tomamos como exemplo para ensinar o modelo atômico de Bohr por meio da leitura é “*Niels Bohr: o Sherlock da física atômica*”. Nele, parte-se de uma discussão histórica e das contribuições de Bohr para a ciência contemporânea, incluindo as discussões sócio-políticas que dominavam

naquela época, como pode ser observado mediante a leitura de alguns trechos do texto reproduzidos a seguir.

Em novembro deste ano se comemoram três décadas da morte do cientista dinamarquês Niels Bohr, Prêmio Nobel de 1922, e considerado, depois de Einstein, o maior físico do século. Em 1913, estabeleceu o marco inicial da Física do átomo, ensinando como calcular as órbitas dos elétrons no seu interior. Nos anos 20, inspirou e liderou a geração de físicos de várias nacionalidades cujo esforço levou à Mecânica Quântica — que revolucionou os conceitos da ciência clássica e, ao lado da relatividade einsteiniana, fundou a física deste século. Às vésperas da Segunda Guerra Mundial, Bohr foi além do átomo e mostrou como calcular a energia liberada pela quebra, ou fissão, do próprio núcleo atômico — o primeiro passo para a construção dos artefatos nucleares. Mais tarde, depois de participar dois anos do projeto de produção da bomba, Bohr se conscientizou da terrível perspectiva que ela abria para a humanidade. Já em 1944, tentou, inutilmente, persuadir o primeiro-ministro inglês Winston Churchill e o presidente americano Franklyn Delano Roosevelt da necessidade de negociações internacionais, incluindo a União Soviética, para tratar da questão.

Em plena década de 50, contaminada pela “guerra fria” entre Estados Unidos e União Soviética, empenhou-se na luta pelo uso pacífico da energia atômica (foi o primeiro a receber o prêmio Átomos para a Paz, em 1957). Em carta pública à ONU, clamou pela construção de um “mundo aberto”, convencido de que o livre trânsito de pessoas e ideias era indispensável ao controle da energia nuclear.

Bohr foi uma das mais festejadas celebridades da história da ciência.

Em 26 de maio de 1912, por exemplo, ele conta que assistira a uma apresentação da peça *Otelo*, do inglês William Shakespeare, e ficara em tal estado de excitação mental que não conseguia dormir. Assim, escreveu a Margrethe: “Em meus pensamentos errantes e sonhos sem nexos, sinto o tempo todo que há algo crescendo em minha mente”. No dia 28, Bohr afirma: “Creio que talvez tenha resolvido uma coisinha. O que posso fazer com isso e o que pode decorrer daí não sei em absoluto”. Junho, julho e agosto, num ritmo frenético, Bohr trabalha até concluir que não é o modelo de Rutherford que está errado. São as leis da física clássica que não se aplicam aos fenômenos atômicos.

Lendo com cuidado, percebe-se que os textos apresentam ou partem de diferentes perspectivas para abordar o modelo de Bohr. Esse fato faz com que eles apresentem características diferentes em relação aos assuntos abordados.

Por outro lado, nessas produções, muitas vezes, os autores utilizam determinadas linguagens para tornar as exposições mais claras e atraentes aos leitores. Na perspectiva de d’Espagnat (1990), ao tentar simplificar uma ideia complexa, este tipo de texto pode passar uma imagem incorreta. É comum que, nestes casos, acabe-se passando a ideia, por exemplo, de que elétrons, prótons, fótons são bolinhas que colidem entre si, reforçando, segundo Greca et al. (2001), imagens clássicas, concepções essas “falsas, não no detalhe, mas de uma maneira essencial”. Estes autores acabam por questionar: *Como fazer então para introduzir tais conteúdos sem cair em simplificações que levem a erros?*

Uma resposta a esses pesquisadores é a possibilidade, ainda por meio da leitura, do uso de textos de divulgação de autores cientistas como, por exemplo, os livros “*Bohr: o arquiteto do átomo*” (Abdalla, 2006), “*Bohr e a Teoria Quântica em 90 minutos*” (Strathern, 1999), “*Bohr e interpretação quântica da natureza*” (Guerra, Braga e Reis, 2005), cujas capas foram reproduzidas nas figuras 29, 30 e 31.



Figura 29. Abdalla (2006)

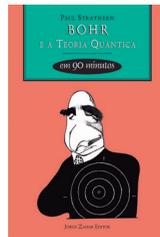


Figura 30. Strathern (1999)



Figura 31. Guerra, Braga e Reis, (2005)

Nessas obras o leitor percorre as primeiras décadas do século XX em companhia de cientistas, artistas e filósofos, tendo conhecimento do panorama cultural da época. Elas destacam que, a partir do estudo do átomo, a ciência passou a investigar um mundo extremamente

pequeno, imperceptível aos sentidos e que a ideia de descontinuidade que marcou o período alterou os conceitos científicos e o modo de pensar em geral. Em particular, os conceitos fundamentais são discutidos com uma linguagem fácil e acessível a um público leigo, com

o uso de imagens, analogias, entre outros recursos linguísticos. Para elucidar esse aspecto, é reproduzido, a seguir, um trecho da obra *Bohr: o arquiteto do átomo*.

Qual foi “o pulo do gato” de Bohr? Ele supôs que o elétron só podia se mover no átomo em certas órbitas fixas, como as camadas de uma cebola. Assim, o elétron não pode estar entre duas órbitas, mas pode “pular” de uma para outra. É mais ou menos o que acontece quando subimos ou descemos uma escada: podemos pular de degrau em degrau, às vezes até mais de um degrau para cima ou para baixo, mas não podemos parar entre dois degraus. Inspirado pelas ideias de Planck e Einstein, Bohr supôs que as órbitas dos átomos não são contínuas, mas discretas, como os degraus de uma escada. Daí que seria impossível para o elétron espiralar continuamente até o núcleo.

Consideramos importante a tentativa de minimizar os erros conceituais que podem estar presentes em um texto que aborda conceitos científicos, seja ele didático ou de divulgação científica. Por outro lado, um texto escrito por autores cientistas pode estar adequado sob o ponto de vista conceitual, mas pode estar deficiente do ponto de vista didático. Portanto, pensamos que, mais do que um material adequado, o importante é melhorar a formação dos professores para trabalhar em sala de aula com diferentes materiais e abordagens, sejam elas quais forem.

Para Salém e Kawamura (1996) algumas intenções ou objetivos gerais dos livros de divulgação científica seriam: atrair o leitor para o mundo da ciência (dar nova visão da física),

divulgar a ciência a um público amplo e fornecer ao leitor algo mais ligado ao prazer, que ao dever.

Para facilitar a compreensão dos assuntos presentes nos textos, os professores podem escolher a estratégias de leitura a ser adotada, entre as diversas táticas encontram-se, por exemplo, as seguintes: a) leitura em voz alta do todo ou de partes consideradas mais significativas pelo professor; b) verbalização e discussão do que os estudantes estão pensando a respeito do que estão lendo; c) identificação dos elementos mais importantes contidos no texto como, por exemplo, os conceitos, os fenômenos, os personagens, as aplicações, os benefícios e malefícios, as dúvidas, imagens, gráficos, etc; d) levantamento de conhecimento prévio que o aluno-leitor possui a respeito do que irá ler; e) elaboração de um questionário sobre a leitura pelo professor ou solicitar aos estudantes que elaborem perguntas ao lado de cada parágrafo lido, promovendo, após a leitura, uma discussão coletiva sobre as questões elaboradas e; f) construção de uma síntese do texto à medida que lê.

Cabe ao professor escolher a estratégia que irá adotar, entre estas ou aquelas que têm conhecimento, a qual se sente mais confortável/seguir de utilizar. Em todas as obras mencionadas acima são utilizados vários recursos linguísticos, entre eles: imagens, humor, ironia, apoio na história, vínculo com o cotidiano, analogias e metáforas. O uso destes recursos de linguagem nos textos pode contribuir para despertar o interesse de um número maior de estudantes para os assuntos ligados a este tópico, além de tornar o ensino e a aprendizagem da física mais atraente e motivadora.

Por falar em analogias, alguns pesquisadores defendem o uso do recurso analógico para no ensino de conceitos científicos. As analogias surgem então como outra possibilidade para o ensino do Modelo Atômico de Bohr.

O ensino do modelo atômico de Bohr por meio de analogias

Vários pesquisadores (Duit, 1991; Dagher, 1995) defendem o uso de analogias para o ensino de conteúdos conceituais, argumentando que elas favorecem o entendimento de conteúdos que na maioria dos casos são considerados difíceis pelos alunos.

Segundo Lawson (1993) existem pelo menos dois tipos de conceitos científicos. Os conceitos descritivos como, por exemplo, as noções de sólido, líquido e gás, para os quais encontramos exemplares perceptíveis no ambiente, e os conceitos teóricos como, por exemplo, átomo, gene, quark e gráviton, os quais não são encontráveis no ambiente cotidiano. Este

autor na introdução de um número temático do *Journal of Research in Science Teaching*, sobre o papel das analogias na ciência e no ensino de ciências, perguntava “Como um professor pode ajudar os alunos a adquirir entendimento de conceitos teóricos?”. Para essa pergunta ele ofereceu a seguinte resposta:

Pelo menos parte da resposta, eu penso, é pelo uso de analogias. Estudantes não podem experimentar a natureza de átomos diretamente. Mas eles podem e experimentam bolas de vários tamanhos.

Perante isso, encontramos, na literatura da área de ensino de ciências, algumas analogias que possibilitam, especificamente, o ensino do Modelo Atômico de Bohr. Entre os análogos utilizados encontram-se “uma cebola cortada ao meio”, “subir e descer os degraus de uma escada” e “livros alocados nas prateleiras de uma estante”. Na tabela 2 apresento as similaridades entre alvo e análogos nas analogias utilizadas para o ensino do modelo atômico de Bohr e na tabela 3 destaco os limites de validade ou diferenças entre alvo e análogos.

Tabela 2. Algumas similaridades entre alvo e análogo nas analogias para o ensino do Modelo Atômico de Bohr.

Alvo	Análogos		
Modelo Atômico de Bohr	Uma cebola cortada ao meio	Subir e descer os degraus de uma escada	Livros nas prateleiras de uma estante
Elétrons	---	Pessoas	Livros
Núcleo atômico	Gema	Base da escada	Solo/chão/piso
Orbitas estacionárias/ Níveis de energia	Folhas escamiformes em camadas	Degraus	Prateleiras
Um elétron mudar de órbita/ Salto quântico/ variar a energia	---	Subir ou descer os degraus de uma escada	Mudança de um livro de uma prateleira para outra
Força elétrica	---	Força gravitacional	Força gravitacional

O sinal “---” indica que não há correspondente que podem ser estabelecidas.

Tabela 3. Limites de validade entre alvos e análogos nas analogias para o ensino do Modelo Atômico de Bohr

Alvo	Análogos		
Modelo Atômico de Bohr	Uma cebola cortada ao meio	Subir e descer os degraus de uma escada	Livros nas prateleiras de uma estante
Modelo microscópico	Modelos macroscópicos		
Elétrons estão em movimento	---	Uma pessoa pode ocupar somente um degrau em um determinado instante de tempo e não pode ocupar o espaço entre os degraus	Livros permanecem em repouso. Um livro pode ocupar somente uma prateleira e não pode ocupar o espaço entre as prateleiras
Níveis energéticos distribuídos de forma não equidistante	Folhas escamiformes em camadas distribuídas de forma equidistante	Degraus colocados, em geral, de uma forma equidistante	Prateleiras colocadas, em geral, de uma forma equidistante
Os níveis de energia não possuem uma existência física real	As folhas escamiformes possuem uma existência física real	Os degraus e a escada possuem uma existência física real, por exemplo, são feitas de mármore	As prateleiras possuem uma existência física real, por exemplo, são feitas de madeira
Nem todos os níveis de energia têm a mesma capacidade para armazenar/ abrigar elétrons	---	Todos os degraus teriam, a princípio, a mesma capacidade para o fluxo de um conjunto de pessoas	Todas as prateleiras teriam, a princípio, a mesma capacidade para armazenar/ abrigar livros
Elétron “sobe” para camada superior provoca a instabilidade do átomo. O elétron, depois de um tempo, decai espontaneamente	---	Subir degraus não provoca instabilidade na escada	Colocar livro na prateleira superior não provoca instabilidade na estante

O sinal “---” indica que não há diferenças que podem ser estabelecidas.

Em estudo sobre a implementação, em sala de aula, de analogias para o modelo atômico de Bohr, Silva e Terrazzan (2008) concluíram que as semelhanças e as diferenças que dependem de um menor esforço cognitivo, em virtude de uma simples visualização de atributos, são identificadas mais facilmente pelos alunos, como, por exemplo, as do tipo estrutural e aquelas que envolvem proporções. Além disso, destacaram que a eficácia

de uma analogia depende da habilidade dos alunos para estabelecer relações analógicas.

Segundo Silva e Terrazzan (2008) nenhuma analogia é melhor nem pior, pois todas apresentam aspectos distintos, sendo necessário levar em consideração, principalmente, suas características, a familiaridade com o análogo, as habilidades procedimentais dos alunos e o encaminhamento do professor

na implementação. Para o uso adequado de analogias em aulas de física os autores propõem a versão modificada do modelo TWA, sugerida por Harrison e Treagust (1993). Esta versão é composta por seis passos, são eles: 1º) Apresentação da “situação alvo” a ser tratada, 2º) Apresentação da “situação análoga” auxiliar, 3º) Identificação das características relevantes do análogo, 4º) Estabelecimento das correspondências entre o análogo e o alvo, 5º) Identificação dos limites de validade da analogia utilizada e, 6º) Esboço de síntese conclusiva sobre a “situação alvo”.

Fazendo parte, ainda, de uma abordagem linguística, o professor poderá, ainda, utilizar tiras em quadrinho como aquelas apresentadas na próxima seção.

○ ensino do modelo atômico de Bohr por meio da leitura de tiras em quadrinho

Nos últimos anos surgiram algumas pesquisas que apresentaram a possibilidade do uso de tiras em quadrinho/tirinhas de humor/charges para o ensino de conceitos físicos. O ensino por meio desse recurso ocorre mediante a leitura que visa à aprendizagem, em geral, via efeito humorístico.

A tendência de uso de tiras ganhou destaque inclusive em muitos livros didáticos que passaram a incluir em suas páginas à análise de pressupostos e implícitos presentes na fala de personagens. Mendonça (2002) caracteriza as tiras como:

[...] um subtipo de HQ; mais curtas (até 4 quadrinhos) e, portanto, de caráter sintético, podem ser sequenciais (capítulos de narrativas maiores) ou fechadas (um episódio por dia). Quanto às temáticas, algumas tiras também satirizam aspectos econômicos e políticos do país, embora não sejam tão “datadas” como a charge. Dividimos as tiras fechadas em dois subtipos: a) tiras-piadas, em que o humor é obtido por meio das estratégias discursivas utilizadas nas piadas de um modo geral, como a possibilidade de dupla interpretação, sendo selecionada pelo autor a menos provável; b) tiras-episódio, nas quais o humor é baseado especificamente no desenvolvimento da temática numa determinada situação, de modo a realçar as características das personagens (...) Podemos, então, caracterizar provisoriamente a HQ como um gênero icônico ou icônico verbal narrativo cuja a progressão temporal se organiza quadro a quadro. Como elementos típicos, a HQ apresenta desenhos, os quadros e os balões e/ou legendas, onde é inserido o texto verbal.

Diferente dos textos narrativos que descrevem o espaço de forma descritiva, as tiras descrevem o contexto da ação e da realização da fala por meio de ilustrações. As imagens atuam como marcas que ajudam a significar o texto verbal (Silva, 2008). Na tabela 4 são reproduzidas duas tirinhas, as quais envolvem o modelo atômico de Bohr, encontradas em dois sites, sendo estes os únicos que abordam tiras para esse tópico, entre aqueles poucos sítios que difundem o uso de tiras para o ensino de física.

Tabela 4. Tirinhas utilizadas para o ensino do Modelo Atômico de Bohr

 <p>Figura 32²⁹</p>	<p>Conteúdo implícito: Quebras de paradigmas, os quais sofreram questionamentos no momento em que novas teorias foram estruturadas no início do século XX e que provocaram uma crise que se traduziu no surgimento de um novo paradigma teórico.</p>
<p>Conteúdo implícito: Salto quântico. Elétrons ao cederem energia saltam para níveis mais internos e a energia liberada sai em forma de quantum de luz ou fóton</p>	 <p>Figura 33³⁰</p>

- Pena (2003) lista algumas possibilidades do uso de tiras pelos professores, entre elas:
- f). usá-las como motivação antes dos livros didáticos (para iniciar a discussão de um tema, induzir o diálogo, atrair, despertar, instigar a curiosidade para o conteúdo da disciplina e levantar os conhecimentos prévios dos alunos);
 - g). usá-las como exemplo do que foi ensinado (para ratificar a informação dada);
 - h). apresentá-las nas aulas aos futuros professores da disciplina, para que sejam montados projetos com o material (para o futuro professor aprender a desenvolver, por meio dos “quadrinhos”, a crítica e a criatividade dos alunos, corrigindo as distorções conceituais);
 - i). pedir aos alunos que criem seus próprios “quadrinhos”;
 - j). utilizá-las após a discussão do conteúdo, distribuir os alunos em pequenos grupos e pedir que relatem o conceito exposto nas “tirinhas”, interagindo para discuti-lo e montando perguntas que eles mesmos vão responder, dando aula uns aos outros. Depois o professor os corrige e acrescenta o que é necessário;
 - k). ler a “historinha” (ou solicitar que os alunos leiam), comentá-la e discuti-la com a turma. Depois dividir os alunos em grupos e propor a realização de alguns experimentos e/ou ilustrações sobre o tema tratado nos “quadrinhos”;
 - l). criar exercícios e problemas a partir de histórias em quadrinhos;
 - m). dar aos alunos “quadrinhos” com distorções conceituais, e solicitar a eles (divididos em grupos) que encontrem e corrijam as distorções e;

29 Disponível em: <www.cbpf.br/~caruso/tirinhas/index.htm> (acesso em 23/12/2013).

30 Disponível em: <www.cbpf.br/~eduhq/html/tirinhas/tirinhas_assunto/fisica/fisica.php> (acesso em 23/12/2013).

n). utilizar “tirinhas” (sem balões de fala) que tratem de um determinado conceito científico, e pedir para que os alunos criem balões de fala que retratem as imagens e falem sobre o conceito científico explícito na “historinha”.

A avaliação do potencial desse recurso para a aprendizagem ainda é incipiente. No entanto, os resultados encontrados até o momento mostram que atrás da brincadeira e das risadas que são transmitidas pelas mensagens, contidas nas tiras, há uma informação e que esta permanece na estrutura cognitiva dos alunos. Entre as vantagens do uso de tiras encontram-se: a) motivam o aluno a estudar Física e aumentam o interesse deles pela Ciência; b) auxiliam o professor a incentivar os alunos para discutir Ciência em sala de aula.

Por outro lado, Greca et al. (2001) questionam, ainda, se é possível “aprofundar-se” um pouco mais nos aspectos conceituais, possivelmente fazendo uso de simulações computacionais para superar as deficiências matemáticas?

○ ensino do modelo atômico de Bohr por meio de simulações computacionais

Um projeto interessante é a construção de aplicativos/software educacionais que simulam experiências, fenômenos e efeitos que abordam conceitos físicos. Em se tratando de simulações computacionais, os professores poderão fazer uso de diferentes aplicativos disponíveis na internet. Esses aplicativos per-

mitem simular os diversos modelos atômicos propostos até o presente momento.

Em particular, para o estudo dos modelos atômicos, alguns dos aplicativos permitem especificamente: a) selecionar o modelo atômico em estudo, b) visualizar o nível de energia do elétron; c) selecionar o comprimento de onda da luz, d) verificar como a predição do modelo corresponde aos resultados experimentais, e) explicar a relação entre a imagem física das órbitas e o diagrama de nível de energia de um elétron. Na figura 26 apresenta-se um exemplo de aplicativo extraído do site PHET Interactive Simulations, da Universidade do Colorado (<http://phet.colorado.edu>).

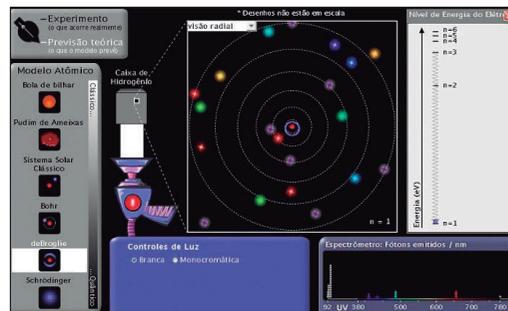


Figura 34. Exemplo de simulação computacional utilizada para o ensino do modelo atômico de Bohr³¹

O uso de aplicativos justifica-se pelo fato deles dispensarem o uso de qualquer linguagem computacional, sendo de fácil utilização por alunos sem destreza no uso de computadores e domínio da língua inglesa. Dessa maneira, atividades computacionais podem ser “...uma ferramenta excelente para enriquecer e atualizar o ensino de Física, propiciando o desenvolvimento de competências e habilidades preconizadas pelos Parâmetros Curriculares Nacionais para

31 Disponível em: <<http://phet.colorado.edu/en/simulation/hydrogen-atom>> (acesso em 23/12/2013).

o Ensino Médio” (Veit et al. 2002). Por outro lado, “...tampouco, o microcomputador será um bom recurso metodológico, se for usado com exclusividade, dispensando a interação pessoal, a troca, ou negociação, de significados que é fundamental para um bom Ensino de Física” (Moreira, 2000).

Considerações finais

percebe-se que o ensino de conteúdos de Física Moderna e Contemporânea no nível médio como, por exemplo, o modelo atômico de Bohr, é de fundamental importância. No entanto, parece ainda não haver consenso entre professores de física e pesquisadores da área de ensino de física sobre a abordagem e maneira mais adequada dessa inserção ocorrer. Nota-se, contudo, indícios que essa inserção é possível, podendo ser realizada com diferentes abordagens e com uso de diversos recursos, seja por meio do uso da História e Filosofia da Ciência, mediante a leitura de textos de divulgação científica ou originais de cientistas, analogias, tiras em quadrinhos e simulações computacionais ou, ainda, por meio de outros recursos que aqui não foram contemplados como, por exemplo, experimentos, filmes e documentários e resolução de problemas, mapas conceituais, entre outros.

Vale a pena destacar que, em tese de livre docência, intitulada “*Meio século de educação em ciências: uma leitura de recomendações ao professor de física*”, Almeida (2003) argumentava:

É, sem dúvida, uma prescrição dizer ao professor o quê, quando e como trabalhar com seus alunos. E isso está ficando cada vez mais frequente em algumas escolas que fornecem apostilas com o conteúdo a ser trabalhado num tempo determinado.” Há até casos em que a escola estabelece o tipo de roupa que o professor deve usar! E não se trata de um simples avental ou de roupas de uma dada cor, como ocorre em algumas outras profissões, mas da “qualidade” das camisetas. O que resta ao professor nesses casos? Ser animador de um auditório que não deve dormir enquanto só ele fala. Outros, considerados especialistas, estabelecem a matéria que ele deve passar aos alunos.

Perante isso, cabe ressaltar que nesse artigo o foco não se centrou nas recomendações e prescrições aos professores, sobre como eles devem ensinar o modelo atômico proposto por Niels Bohr aos seus alunos, no sentido de regras fechadas e pré-estabelecidas de ensino, sem levar em consideração as suas condições de trabalho, mas mostrar as diversas possibilidades que estão à disposição deles quando do ensino deste tópico em sala de aula.

Certamente, não existe uma condição única, necessária e suficiente, para que os alunos aprendam o átomo de Bohr, assim como tampouco há uma resposta pronta e fechada para a pergunta de como ensinar conteúdos de física moderna e contemporânea de maneira eficiente e eficaz. Cabe ressaltar a importância da elaboração de planejamentos escolares pelos professores, pois, independentemente

do recurso, é necessário a organização das atividades didáticas. Além disso, destacamos a importância do uso de estratégias e recursos diversificados no ensino de física, de modo geral, e no ensino de FMC, em especial.

Referências

- Abdalla, M. C. (2006). *Bohr: o arquiteto do átomo*. São Paulo: Brasil, Odysseus.
- Almeida, M. J. P. M. (2003). *Meio século de educação em ciências: uma leitura de recomendações ao professor de física*. Tese (Livre Docência) – Faculdade de Educação, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, Brasil.
- Almeida, M. J. P. M.; Ricon, A. E. (1993). Divulgação científica e texto literário: uma perspectiva cultural em aulas de física. *Caderno Catarinense Ensino de Física*, 10(1), 7-13.
- Bohr, N. (1989). *Sobre a constituição de átomos e moléculas*. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian.
- Brasil. Ministério da Educação, Secretaria de Educação Média e Tecnológica (1999). *Parâmetros curriculares nacionais: ensino médio*. Brasília.
- Carvalho, A. M. P. (1992). A influência da história da quantidade de movimento e sua conservação no ensino de mecânica na escola de segundo grau. *Perspicillum*, 6(1), 25035.
- Carvalho, A. M. P., Vannucchi, A. I. (2000). History, Philosophy and Science Teaching: Some Answers to “How?” *Science & Education*, 9, 427-448.
- Dagher, Z. R. (1995). Review of studies on the effectiveness of instructional analogies. *Science Education*, 79(3), 295-312.
- D’espagnat, B. (1990). *Penser la science ou les enjeux du savoir*. Paris: Gauthier-Villars.
- Dieguez, F.; Arantes, J. T. (1992). Niels Bohr: o Sherlock da física atômica. *Superinteressante*, 59.
- Duit, R. (1991). On the role of analogies and metaphors in learning science. *Science Education*, 79(6), 649-672.
- Good, R. (1994). The Reading - Science Learning - Writing Connection. *Journal of Research in Science Teaching*, 31(9), 877-893.
- Greca, I. M. R.; Moreira, M. A.; Herscovitz, V. E. (2001). Uma proposta para o ensino de Mecânica Quântica. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 23(4), 444-457.
- Guerra, A.; Braga, M.; Reis, J. C. (2005). *Bohr e a interpretação quântica da natureza*. São Paulo: Atual, 2005.
- Harrison, A. G., Treagust, D. F. (1993). Teaching with analogies: a case study in grade-10 optics. *Journal of Research in Science Teaching*, 30(10), 1291-1307.
- Harvard Project Physics* (1968). New York: Holt, Rinehart, and Winston. 6 v.
- Lawson, A. E. (1993). The importance of analogy: a prelude to the special issue. *Journal of Research in Science Teaching*, 30(10), 1213-1214.
- Leuchs, G. (1990). O incrível salto do elétron. *Superinteressante*, 35.

- Lewis, J. L. (1976). *História da Ciência e seu lugar num curso de Física: o ensino da física escolar I* (Eduardo Saló, Trad.). São Paulo: Livraria Martins Fontes.
- Martins, R. A. (2006). Introdução: A história das ciências e seus usos na educação. In: C. C. Silva (Org.). *Estudos de história e filosofia das ciências: subsídios para aplicação no ensino* (xxi-xxxiv). São Paulo: Livraria da Física.
- Martins, R. A. (1990). Sobre o papel da história da ciência no ensino. *Boletim da Sociedade Brasileira de História da Ciência*, 9, 3-5.
- Matthews, M. R. (1995). História, Filosofia e Ensino de Ciências: a tendência atual de reaproximação. *Caderno Catarinense Ensino de Física*, 12(3), 164-214.
- Mendonça, M. R. de S. (2002). Um gênero quadro a quadro: a história em quadrinhos. In Dionísio, Â. P.; Machado, A. R.; Bezerra, M. A. (Orgs.). *Gêneros textuais & Ensino*. Rio de Janeiro: Lucerna.
- Meneses, L. C. (2000). Uma Física para o Novo Ensino Médio. *Física na Escola*, 1(1), 7.
- Moreira, M. A. (2000). Física no Brasil: Retrospectiva e Perspectivas. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 22(1), 94-99.
- Ostermann, F.; Ferreira, L. M.; Cavalcanti, C. J. De H. (1998). Tópicos de física contemporânea no ensino médio: um texto para professores sobre supercondutividade. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 20(3), 270-288, 209-214.
- Ostermann, F.; Moreira, M. A. (2000). Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa “Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio”. *Investigações em Ensino de Ciências*, 5(1), 23-48.
- Ostermann, F.; Moreira, M. A. (1998). Tópicos de física contemporânea na escola média brasileira: um estudo com a técnica Delphi. In: Encontro De Pesquisa Em Ensino De Física, 6., Florianópolis. **Atas do VI Encontro de Pesquisa em Ensino de Física**. Sociedade Brasileira de Física. Digital.
- Peduzzi, L. O. Q.; Basso, A. C. (2005). Para o ensino do átomo de Bohr no nível médio. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 27(4), 545-557.
- Pena, F. L. A. (2006). Por que, nós professores de Física do Ensino Médio, devemos inserir tópicos e ideias de física moderna e contemporânea na sala de aula? *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 28(1), 1-2.
- Pena, F. L. A. (2003). Como trabalhar com “TIRINHAS” em aulas de física. *Física na escola*, 4(2), 20-21.
- Pinto, A. C.; Zanetic, J. É possível levar a Física Quântica para o ensino médio? *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 16(1), 7-34.
- Salém, S.; Kawamura, M. R. (1996). O texto de divulgação científica e o texto didático: conhecimentos diferentes? In: V Encontro de pesquisa em ensino de física, 5, Águas de Lindóia. *Anais do V Encontro de Pesquisa em Ensino de Física*. Associação Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências. Digital.

- Silva, J. R. C. (2008). O Gênero Tira de Humor e os recursos enunciativos que geram o efeito risível. In XII Congresso nacional de linguística e filosofia, 12, Rio de Janeiro. *Anais do XII Congresso Nacional de Linguística e Filosofia*. Rio de Janeiro.
- Silva, H. C., Almeida, M. J. P. M. (1993). Análise de verbalizações e do uso de textos em aulas de física, 2º grau: uma tentativa de compreensão do próprio trabalho pedagógico. In: X Simpósio nacional de ensino de física, 10. Londrina. *Anais do X Simpósio Nacional de Ensino de Física*. Sociedade Brasileira de Física. Digital.
- Silva, L. L.; Terrazzan, E. A. (2008). Correspondências Estabelecidas e Diferenças Identificadas em Atividades Didáticas baseadas em Analogias para o Ensino de Modelos Atômicos. *Experiências em Ensino de Ciências*, 3 (2), 212-237.
- Strathern, P. (1999). *Bohr e a Teoria Quântica*. Rio de Janeiro: Jorge Zahar.
- Teixeira, E. S., Freire Junior, O. (2007). Um Estudo sobre a Influência da História e Filosofia da Ciência na Formação de Estudantes de Física. In: XVII Simpósio nacional de ensino de física, 17, São Luiz. *Anais do XVII Simpósio Nacional de Ensino de Física*. Sociedade Brasileira de Física. Digital.
- Terrazzan, E. A. (2000). O potencial didático dos textos de divulgação científica: um exemplo em física. In: III Encontro linguagens, leituras e ensino de ciências, 3. Campinas. *Anais do III Encontro Linguagens, Leituras e Ensino de Ciências*. Associação de Leitura do Brasil. Digital.
- Terrazzan, E. A. (1992). A inserção da física moderna e contemporânea no ensino de física na escola de 2º grau. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 9(3).
- Veit, E. A., Mors, P. M., Teodoro, V. D. (2002). Ilustrando a Segunda Lei de Newton no Século XXI. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 24(2), 176-184.
- Zanetic, J. (1998). Mesa-redonda: influência da história da ciência no ensino de física. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 5, 76-92.
- Zanotello, M.; Almeida, M. J. P. M. (2007). Produção de sentidos e possibilidades de mediação na física do ensino médio: leitura de um livro sobre Isaac Newton. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 29(3), 437-446.