

# O LIVRO-TEXTO DE QUÍMICA NO ENSINO MÉDIO E A VISÃO HISTÓRICA DO CONCEITO DE NÚMEROS QUÂNTICOS

## THE CHEMISTRY TEXTBOOK IN HIGH SCHOOL AND A HISTORICAL VIEW OVER THE CONCEPT OF QUANTUM NUMBERS

Marcelo Maia Cirino<sup>1</sup>

Aguinaldo Robinson de Souza<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Químico, licenciado em Química, mestrando do Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência da Faculdade de Ciências, UNESP/Bauru, [[mmcirino@fc.unesp.br](mailto:mmcirino@fc.unesp.br)]

<sup>2</sup> Professor Livre Docente do Departamento de Química e do Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência da Faculdade de Ciências da UNESP/Bauru, [[arobinso@fc.unesp.br](mailto:arobinso@fc.unesp.br)]

**Resumo:** Este artigo relata uma investigação a respeito da evolução histórica do conceito de *números quânticos*, dentro da abordagem didática de um livro texto de Química<sup>1</sup>, utilizado no Ensino Médio. O tratamento desse conteúdo em livros didáticos, normalmente, é bastante dissociado do contexto histórico em que foi proposto, levando o estudante a conclusões equivocadas a respeito da elaboração e evolução da Teoria Quântica. Objetivamente pretende-se mostrar a maneira como esse livro apresenta a história e o desenvolvimento do conceito e situá-los num contexto relacionado ao uso da História e Filosofia da Ciência ao ensino de Química.

**Unitermos:** Números quânticos, História e Filosofia da Ciência.

**Abstract:** This article reports an investigation about historical evolution of the quantum numbers concept, inside a didactical approach into Chemistry textbook, used in High School. The treatment of this matter in Chemistry textbooks is usually separated from its historical context, getting the students to acquire misconceptions about the evolution of Quantum Mechanical theories. It claims to present how this Chemistry textbook shows the history and development of that concept and to place it in a context relating to the History and Philosophy of Science in Chemistry teaching.

**Keywords:** Quantum numbers, History and Philosophy of Science.

### Introdução

O livro didático vem sendo, ao longo das últimas décadas, considerado o recurso instrucional mais utilizado no processo de ensino-aprendizagem. Para o professor, ele tem sido a ferramenta através da qual se pode selecionar, organizar e desenvolver o conteúdo de um curso, tópico, unidade ou aula (Schnetzler, 1980). Para o aluno, a utilização do livro didático tem

---

<sup>1</sup> O livro foi escolhido com base em sua tiragem e utilização na rede pública e particular do Ensino Médio.

propiciado a apresentação e revisão da matéria, além de ser a fonte, por excelência, de contato com conteúdos, exercícios, problemas e atividades comumente consideradas nas salas de aulas. Outra razão para a ampla utilização do livro texto diz respeito à busca e formação de novos leitores. Segundo Schnetzler (1980) a cada ano, novos livros são publicados, maiores investimentos são direcionados pelo poder público para a compra e distribuição destes junto às escolas, e mesmo na rede particular de ensino, nos níveis fundamental e médio, sua ascensão é determinante a ponto de produzir uma dependência passiva e, até certo ponto acrítica do professor. Segundo Megid Neto & Fracalanza (2003), programas de melhoria da qualidade do livro didático brasileiro e de distribuição ampla para os estudantes de escolas públicas têm sido uma das principais ações do governo federal e de seu Ministério da Educação desde a década de 30 do século passado. De acordo com esses autores, muitos pesquisadores acadêmicos vêm se dedicando há pelo menos duas décadas a investigar a qualidade das coleções didáticas, denunciando suas deficiências e apontando soluções para a melhoria de sua qualidade. Podemos citar, por exemplo, na área da Química, os trabalhos de Schnetzler (1980, 1981), Mortimer (1988) e Lopes (1990). De acordo com Tiedemann (1998) e particularmente no ensino da Química, fala-se muito na “abordagem do cotidiano”, onde se tenta mostrar ao estudante fenômenos químicos que lhe são familiares procurando despertar a sua curiosidade científica. Na prática, ainda segundo este mesmo autor, os conteúdos dos livros de Química apresentam um volume enorme de informações, nem sempre adequadas à idade do aluno e nem sempre respeitando uma seqüência que favoreça a aprendizagem. Essa aprendizagem, contudo, pode ser dificultada pelo uso de metáforas e analogias, com o intuito de efetuar a transposição didática do conhecimento científico, muitas vezes deturpando este último (Lopes, citado por Tiedemann, 1998). Na visão de outros pesquisadores, como Schnetzler & Santos (2003), o estado atual do ensino de Química no Brasil não serve nem para o cidadão, nem para quem vai fazer vestibular, ou seja, tem sido de pouca utilidade, além de não alcançar seus objetivos. Os mesmos autores afirmam que:

*“Enquanto nos limitarmos a uma educação científica pura e neutra, desvinculada dos aspectos sociais, a nossa contribuição será muito pouca para reverter o atual quadro da sociedade moderna. Essa educação alienante e defeituosa tem até mesmo reforçado o sistema de dominação humana”.* (Schnetzler & Santos, 2003, p. 130)

Uma abordagem didática que incorporasse temas de História e Filosofia da Ciência nos diversos conteúdos ensinados em Química poderia reforçar a dimensão histórico-social do processo de produção do conhecimento científico e aproximar a imagem do cientista do ser humano comum, desmistificando seu papel na evolução histórica da Ciência (Bastos, 1998). No presente trabalho investigou-se de que maneira um livro-texto de Química, voltado ao Ensino Médio, aborda um determinado conteúdo relacionado com o que chamamos de “Tópicos da Química Atual”, ou seja: os *números quânticos*. O livro escolhido para essa análise foi “*Química, Realidade e Contexto*”, volume um, de Antônio Lembo<sup>2</sup>. Este livro é bastante utilizado pelos estudantes de Ensino Médio no estado de São Paulo, tanto na rede oficial de ensino como na escola particular (Secretaria de Estado da Educação, 2005).

## **A História e Filosofia da Ciência no Ensino de Ciências**

É bastante comum, nos dias de hoje, a idéia de que o ensino escolar de Ciências, Física, Química e Biologia integre temas de História e Filosofia da Ciência. Enfoques desse tipo têm como objetivo contribuir para que o aluno construa concepções mais elaboradas e realistas

<sup>2</sup> Antônio Lembo é bacharel e licenciado em Química pelo Instituto de Química da Universidade de São Paulo (USP) e professor de Química do Ensino Médio na grande São Paulo.

acerca da Ciência e dos cientistas, concepções essas que possam subsidiar o exercício de uma cidadania consciente e atuante (Bastos, 1998, p. 56). Conforme Gagliardi & Giordan (1986, p. 254) citados por Bastos (1998):

*“A História da Ciência pode mostrar em detalhes alguns momentos de transformação profunda da Ciência e indicar quais foram as relações sociais, econômicas e políticas que entraram em jogo, quais foram as resistências à transformação e que setores trataram de impedir a mudança. Essa análise pode dar as ferramentas conceituais para que os alunos compreendam a situação atual da ciência, sua ideologia dominante e os setores que a controlam e que se beneficiam da atividade científica.”*

No entanto, segundo a visão de Martins (1990), em geral, a História da Ciência já é efetivamente utilizada no ensino científico, mas na forma de cronologias e apresentação de nomes. Essa cronologia ainda é, segundo o autor, pouco informativa e pouco útil. Serve apenas para que o estudante fique conhecendo os nomes 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. Uma outra abordagem da História da Ciência no ensino é como ferramenta de persuasão e intimidação. Neste caso invoca-se a autoridade de um grande nome para reprimir dúvidas e impor doutrinas, invertendo assim a própria natureza do pensamento científico, que se apóia em fatos e argumentos e não em nomes famosos:

*“a lei da gravitação universal é verdadeira porque Newton a provou”* (Martins, 1990, p. 02).

De acordo com Bizzo (1992), existem três restrições à utilização da História no auxílio ao ensino de ciências:

- 1) A primeira, é que as idéias do passado devam auxiliar o entendimento das idéias de agora, o que demandaria um contexto no qual as teorias de hoje sejam “aparentadas” com as do passado,
- 2) A segunda questão é a relação de hierarquia progressiva entre as idéias antigas, simples e de pouca abrangência, e as novas teorias, complexas e eficientes, o que na verdade, na maioria das vezes, não ocorre,
- 3) E, a terceira restrição, refere-se às concepções prévias dos estudantes, muito parecidas com as explicações utilizadas pelos cientistas do passado para interpretar certos fenômenos.

Ao tomar feições pedagógicas, uma elaboração teórica baseada na História da Ciência, pode conduzir rumo a propostas “historicistas” ou “recapitulacionistas” (Bizzo, 1991, citando a si próprio, 1992, p. 29). Existem ainda, segundo Bastos (1998, p.56) outras dificuldade práticas ao uso desse tipo de abordagem na sala de aula:

- 1) Os textos disponíveis para subsidiar o trabalho dos alunos em sala de aula não atendem, normalmente às necessidades específicas do ensino fundamental e médio,
- 2) Existem poucas “propostas” concretas a respeito de como explorar conteúdos de História e Filosofia da Ciência de forma a atingir objetivos educacionais do tipo “compreender melhor” o que é Ciência,
- 3) Os currículos escolares não dispõem de espaço, e tempo, suficiente para inserção de História da Ciência,
- 4) Os contextos específicos, nos quais os cientistas do passado trabalhavam são de difícil compreensão para os estudantes de hoje,
- 5) O uso de relatos ou textos históricos é fator de confusão e não de esclarecimento, pois expõem o aluno a idéias, conceitos, teorias e métodos que já foram descartados ou substituídos por outros,

- 6) A utilização de relatos históricos é fator de desmotivação e não de estímulo, pois o aluno está interessado em conhecimentos atualizados e não em conhecimentos que já caíram em desuso.

Embora vários pesquisadores já tenham expressado suas opiniões, favoráveis em sua grande maioria, a respeito da utilização da História e Filosofia da Ciência como ferramenta eficiente no ensino de Ciências, nossa opinião é de que existem casos em que é possível e bastante interessante seu uso como, por exemplo, no ensino da evolução dos modelos atômicos. No entanto, para determinados conteúdos esta abordagem é de difícil adaptação tanto nos currículos, como nos programas ou em tópicos de ensino.

### Uma breve história dos Números Quânticos

Até o final do século XIX não havia uma concepção definitiva acerca da estrutura do átomo. A produção de elétrons, nos tubos de raios catódicos por William Crookes em 1850, mostrou serem aquelas partículas constituintes essenciais da matéria. Joseph John Thomson propôs, em abril de 1897, um modelo no qual os elétrons se encontravam na massa global do átomo e acomodados dentro de uma esfera uniforme de eletricidade positiva, resultando em um conjunto eletricamente neutro (Aquino, 2001).

O físico neozelandês Ernest Rutherford, em março de 1912, trabalhando na Universidade de Manchester, Inglaterra, foi o primeiro a elaborar um modelo atômico coerente, partindo de observações experimentais sobre a deflexão de partículas “ $\alpha$ ” em anteparos metálicos. A pequena quantidade de partículas “ $\alpha$ ” refletidas em grandes ângulos fez Rutherford concluir que a carga positiva, e a maior parte da massa do átomo, estariam concentradas em um volume muito pequeno que ele chamou de núcleo.

O átomo seria constituído deste núcleo central positivo circundado por elétrons, em número necessário e suficiente para neutralizar sua carga. Os elétrons girariam com velocidade suficiente para que a força centrífuga compensasse a atração eletrostática exercida pelo núcleo de cargas positivas (Aquino, 2001). Esse modelo, no entanto era inconsistente pois segundo a teoria eletromagnética de James Clerk Maxwell, qualquer alteração de velocidade ou direção de movimento de uma partícula eletricamente carregada é acompanhada da emissão de energia radiante.

Em 1860, Maxwell desenvolveu uma teoria propondo que todas as formas de radiação se propagam no espaço vazio, vácuo, vibrando num campo elétrico e em outro magnético, perpendiculares entre si. Com a irradiação contínua de energia os elétrons teriam suas órbitas diminuídas progressivamente, tendo que girar mais rápido para compensar a atração eletrostática do núcleo continuamente aumentada com a diminuição da distância entre as cargas. Através das equações de Maxwell, demonstrava-se que o modelo de átomo Rutherford teria uma duração de apenas  $10^{-11}$  segundos (Aquino, 2001) e entraria em colapso. O modelo capaz de explicar muitas das propriedades da matéria estava em desacordo com as leis da eletrodinâmica.

Niels Bohr, em fevereiro de 1913, propôs um modelo que interpretaria melhor esses resultados experimentais. Aplicando a teoria de Planck da quantização da energia e acrescentando três postulados ao modelo atômico de Rutherford, Bohr foi o primeiro cientista a estabelecer que um elétron, enquanto permanece em movimento em uma órbita fechada e circular, não absorve nem emite radiação (primeiro postulado). Bohr admitiu que para cada elétron existe mais de uma órbita estável correspondente a um nível energético diferente. O segundo postulado estabelece que somente são permissíveis as órbitas eletrônicas para as quais o momento angular do elétron é quantizado:

$$\text{momento angular} = h / 2 \pi \quad (1)$$

onde, **h** é a constante de Planck, e **p** o momento do elétron. O momento angular de uma partícula movendo-se em órbita circular é dado por **mvr**, onde **m** é a massa da partícula, **v** a velocidade e **r**

o raio do círculo por ela descrito. O segundo postulado requer que as órbitas estacionárias satisfaçam a condição  $mvr = nh / 2\pi$ . O último postulado estabelece que o elétron pode mudar de uma órbita para outra, desde que a transição seja acompanhada da emissão ou absorção de um quantum de energia radiante, cuja frequência é determinada pela relação:

$$\Delta E = h\nu \quad (2)$$

onde  $\Delta E = E_i - E_f$  representam os valores da energia do átomo no estado inicial e final, respectivamente (Russel, 1994) e  $\nu$  a frequência da radiação. A possibilidade do elétron de ocupar diferentes órbitas, ou camadas, resultou no estabelecimento do primeiro dos quatro números quânticos necessários para descrever um elétron em um átomo.

O número quântico principal,  $n$ , pode apresentar valores inteiros de 1 até infinito. Uma das vantagens do modelo atômico de Bohr foi a possibilidade de explicar porque somente certas frequências de luz eram irradiadas por átomos e, em alguns casos, prever estes valores. A emissão de luz, ou espectro do átomo, era obtida com uma descarga elétrica através de uma amostra gasosa. O gás excitado emitia radiação sob a forma de luz visível, ultravioleta e infravermelha. A luz atravessava uma fenda ou prisma, que a separava em suas diferentes frequências. Estes dispositivos chamados espectrógrafos eram conhecidos desde 1859 e foram usados para investigar as raias do espectro do átomo de hidrogênio.

Para definir a localização do elétron no átomo foram introduzidos mais dois números quânticos. O número quântico de momento angular  $l$ , também chamado de azimutal, é decorrente do trabalho de Arnold Sommerfeld, em 1916, que considerou as órbitas circulares como um caso particular de órbitas elípticas, em que os semi-eixos maior e menor são iguais (Russel, 1994, p. 286-88).

Os elétrons de uma dada camada são agrupados em subcamadas, caracterizadas por diferentes valores do número quântico  $l$  e por uma forma geométrica característica. Cada valor de  $l$  corresponde a uma diferente forma geométrica do orbital, ou tipo de orbital. Os valores de  $l$  são codificados por letras de acordo com esquema, que abaixo:

Valor do número quântico  $l$ , correspondente às subcamadas:

Subcamada **s**..... $l = 0$

Subcamada **p**..... $l = 1$

Subcamada **d**..... $l = 2$

Subcamada **f**..... $l = 3$

Os primeiros estudos dos espectros de emissão de outros elementos químicos além do hidrogênio apresentavam mais linhas do que a teoria de Bohr podia explicar. Cientistas analisando o espectro dos átomos de sódio encontraram quatro diferentes tipos de linha que chamaram de “*sharp, principal, diffuse e fundamental*”. A letra inicial de cada uma destas palavras foi usada para designar as subcamadas apresentadas acima (s, p, d, f).

O número quântico magnético,  $m$ , especifica em qual orbital, definido como uma região tridimensional a partir do núcleo, calculada probabilisticamente, dentro da subcamada o elétron se encontra (Russel, 1994). Os orbitais em uma dada subcamada diferem unicamente na sua orientação espacial e não na sua forma.

O quarto número quântico, chamado de spin, diz respeito à rotação do elétron em torno do seu próprio eixo. Um elétron em um átomo possui propriedades magnéticas decorrentes de sua rotação (movimento da partícula carregada). Experimentos mostraram que quando um átomo, que possui um elétron desemparelhado, é colocado em um campo magnético, somente duas orientações são possíveis para a sua rotação. A rotação do elétron é quantizada e uma orientação é associada com o valor  $+ \frac{1}{2}$  e outra com o valor  $- \frac{1}{2}$  (sentidos de rotação horário e anti-horário). Cada elétron fica então definido pela combinação dos seus quatro números

quânticos, que são diferentes para todos os outros elétrons no átomo. Esta é a regra geral criada em 1925 por Wolfgang Pauli, que ficou conhecida como “Princípio da Exclusão de Pauli”, cuja importante consequência é a de que nenhum orbital atômico pode abrigar mais do que dois elétrons (Aquino, 2001).

### **Evolução do Conceito de Números Quânticos em livros didáticos no Brasil**

Segundo Mortimer (1988), os livros didáticos de Química brasileiros no período de 1961 a 1970, que corresponde à vigência da LDB<sup>3</sup> de 1961, apresentam grande heterogeneidade entre si, já que esta LDB não mais incorpora programas detalhados para cada disciplina, abrindo espaço para propostas alternativas. Na maioria dos livros didáticos, pós-anos 1970, observamos uma retomada da homogeneidade em relação a vários aspectos como, por exemplo, o conteúdo abordado, sua ordenação, abordagens, etc. Durante a década de 60, a totalidade dos livros passa a apresentar exercícios e questionários ao fim de cada capítulo (Mortimer, 1988, p. 10). No início da década de 60 ocorre, segundo o autor, um movimento no sentido de atualizar os conteúdos das unidades de “estrutura atômica”, “ligação química” e “classificação periódica”, e suas inclusões no início da primeira série do então primeiro colegial (atual primeira série do Ensino Médio) como tema unificador dos programas dos livros didáticos. Ainda, segundo Mortimer (1988), essa atualização é caracterizada pela entrada em cena, pela primeira vez, do modelo atômico da Mecânica Ondulatória, que traz como principal novidade a mudança na descrição do elétron, que passa a ser feita em termos probabilísticos. A idéia de órbita planetária é substituída pelo conceito de orbital – uma região de contorno indefinido, na qual existe uma alta probabilidade matemática de se encontrar o elétron (Mortimer, 1988, p. 10).

O assunto números quânticos não é relevante na maioria dos livros dessa fase, e parece ter sido incorporado com maior ênfase no período pós-anos 70. Esse tema, segundo o mesmo autor, já aparecia em livros anteriores a 1960, mas na maioria deles os responsáveis se referiam a apenas dois números quânticos: o principal  $n$ , e o secundário ou azimutal  $l$ , suficientes para descrever as órbitas planetárias dos elétrons. Segundo Mortimer (1988), apenas Décourt (1946), apresentou um tratamento relevante a respeito dos quatro números quânticos. No entanto, ele ainda citava em seu livro órbitas elípticas ou circulares para descrever o movimento e a posição dos elétrons. Segundo a visão do autor, mesmo os livros modernos de Química, escritos a partir dos anos 90, não ressaltam todas as implicações das teorias modernas sobre estrutura atômica. Essa última, em sua maior parte, continua a ser abordada nos moldes clássicos, de acordo com teorias isoladas, sem maiores aplicações além da previsão das valências dos elementos químicos e da fórmula dos compostos.

### **Investigando o livro-texto de química escolhido em seu capítulo sobre Números Quânticos**

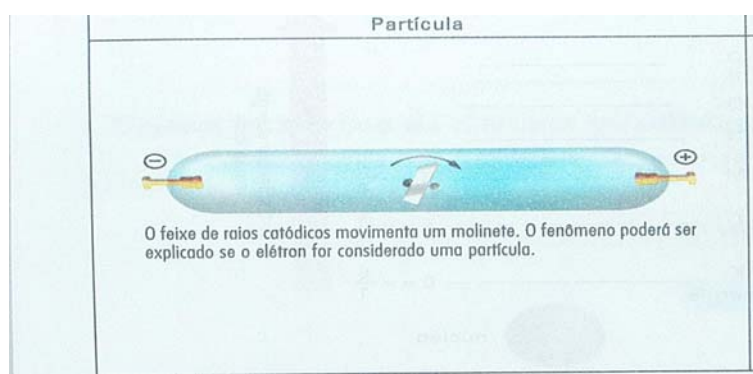
O livro-texto objeto desta investigação é “*Química, Realidade e Contexto*”, volume 1, de Antônio Lembo, editado pela Editora Ática (São Paulo, edição de 1999, com 472 páginas). Na apresentação do livro, no sítio eletrônico dessa editora<sup>4</sup> na internet, está escrito que:

*“...os conceitos são introduzidos de maneira indutiva, ou seja, do exemplo para a definição, do particular para o geral, do concreto para o abstrato. Fatos da História da Química, os últimos avanços dessa ciência, suas inúmeras aplicações em nossa vida e a maneira como interfere no meio ambiente - tudo isso confere à obra grande atualidade...”*

<sup>3</sup> Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional, de 1961.

<sup>4</sup> Sítio eletrônico em <<http://www.atica.com.br>>

O capítulo que trata dos números quânticos é o terceiro, no seu módulo número 3 (“A visão atual da estrutura atômica”), onde são listados também os tópicos relacionados à distribuição eletrônica nos sub-níveis, nos níveis de energia, em átomos neutros e em íons, e os exercícios de vestibulares correspondentes à teoria tratada. O módulo 3 inicia com uma retrospectiva histórica, sobre a proposição de de Broglie em 1923, afirmando que a proposta do cientista francês é um interessante exemplo de “uma teoria antes dos fatos”, já que o comportamento dual do elétron, onda-partícula, só ficou evidenciado em 1927, quando foi descoberta a técnica da difração eletrônica que permitiu a comprovação de que um feixe de elétrons sofre difração, tal como acontece com a radiação eletromagnética, a luz. Segundo Masterton et al. (1990, p.142), Russel (1994, p.261), e Lee (1996, p. 04), a sustentação para a hipótese de de Broglie, foi, de fato, obtida por dois grupos de físicos: C. Davisson e L. H. Germer nos Estados Unidos e G. P. Thomson e A. Reid na Escócia, ambos em 1927. Outro ponto interessante se refere à afirmação de que o caráter dual do elétron foi sugerido por de Broglie a partir de uma dúvida que intrigava a comunidade científica: o elétron seria uma onda ou uma partícula? Algumas questões, em relação a essa abordagem podem ser levantadas: a) a partir de que conhecimentos, de Broglie apresentou a sua hipótese? b) O que o levou a elaborar sua teoria? No livro, nenhuma informação a respeito do contexto histórico é fornecida, nem pistas que possam sugerir como surgiu a idéia. Parece que simplesmente o cientista francês assim resolveu em um belo dia e a propôs a seus pares. Não é citado o fato de Louis de Broglie ter se inspirado no efeito fotoelétrico de Einstein<sup>5</sup> e Planck<sup>6</sup>, que atribuem à luz propriedades de partículas e de ondas, nem sua análise da matéria como apresentando comportamento de onda eletromagnética, fazendo a associação da natureza dualística da luz ao comportamento do elétron. O livro texto apresenta, na sequência, ilustrações que tentam associar ao elétron suas características de partícula: uma figura representando um tubo de raios catódicos (Ver Figura 1) e de onda: uma fotografia de um aparelho de microscopia eletrônica (Ver Figura 2). Existe uma perspectiva de que o aluno consiga compreendê-las sem relacionar os contextos históricos da investigação dos raios catódicos por Thomson em 1897 (que resultou na proposição do elétron como partícula) e da experiência de seu filho, G. P. Thomson, em 1927, que culminou com a comprovação da hipótese de de Broglie sobre o comportamento ondulatório do elétron.



**Figura 01. Tubo de raios catódicos. Extraído de Lembo, 1999, p. 113.**

<sup>5</sup> Albert Einstein, físico alemão, ganhador do Prêmio Nobel de Física em 1921 (pelo seu trabalho sobre o efeito fotoelétrico).

<sup>6</sup> Max Karl E. L. Planck, físico alemão, ganhador do Prêmio Nobel de Física em 1918 (pela formulação da revolucionária teoria dos quanta elementares de energia).

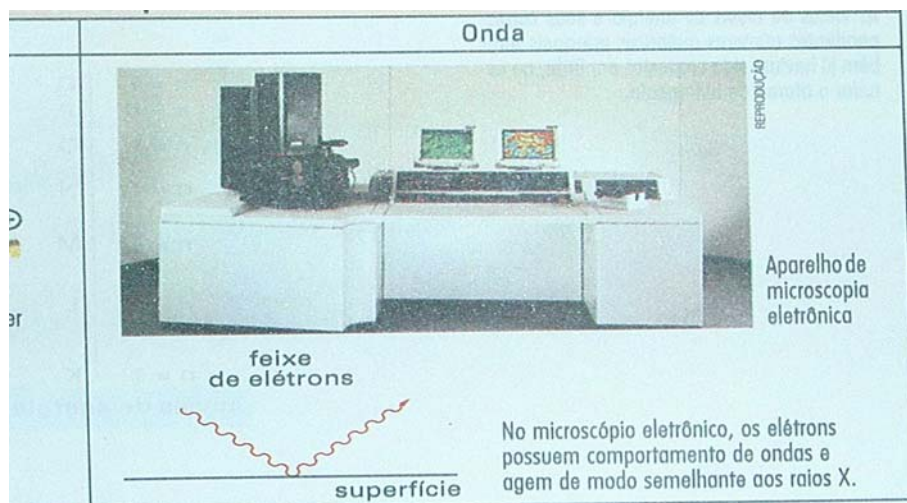


Figura 2. Foto de microscópio eletrônico. Extraído de Lembo, 1999, p. 113.

Em seqüência é apresentado o conceito de números quânticos. No texto, o autor afirma que os números quânticos surgiram da necessidade de se identificar cada elétron no átomo. O número quântico principal ( $n$ ) é apresentado, no texto, através de uma equação:

$$\text{Energia} = -h / n^2 \cdot k \quad (3)$$

onde  $h$  é a constante de Planck,  $n$  é o número da camada (nível) onde está o elétron (número inteiro,  $n = 1,2,3,4$ , etc.) e  $k$  é uma constante específica para cada elemento químico. Ainda, segundo o autor, quanto maior o valor de  $n$ , maior a energia do elétron. Alguns pontos são passíveis de discussão como, por exemplo: a) a energia a qual o autor se refere é a energia potencial do elétron? b) existe algum outro tipo de energia, que possa ser calculada? c) na equação fornecida não fica claro o significado físico do sinal negativo d) por que a constante  $k$  varia para cada elemento químico? e) como a equação foi obtida? As explicações, que são omitidas, poderiam ter sido trabalhadas no contexto histórico da evolução das teorias e utilizadas para relacionar e interpretar os espectros de emissão dos elementos químicos. Estes espectros foram muito estudados no final do século XIX e início do século XX. A equação tem sua origem quando do cálculo da energia  $E$ , permitida para um elétron, na  $n$ -ésima órbita (nível) do átomo de hidrogênio descrito por Bohr em 1913. A equação de Bohr é dada por:

$$E = - Rhc / n^2 \quad (4)$$

onde  $R$  é a constante de Rydberg ( $1,0974 \times 10^7 \text{ m}^{-1}$ ),  $h$  é a constante de Planck ( $6,6260 \times 10^{-34} \text{ J.s}$ ) e  $c$  a velocidade da luz no vácuo ( $2,997925 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$ ). No modelo de Bohr, o raio das órbitas circulares aumenta à medida que  $n$  aumenta. Outra consequência desse modelo, implícito na equação, é que a energia fica cada vez menos negativa à medida que  $n$  aumenta, ou seja, a energia do elétron aumenta. É importante ressaltar que a equação de Bohr reflete o fato de a energia de atração entre corpos com cargas elétricas de sinais contrários (neste caso entre o elétron e o núcleo) depender das respectivas cargas e da distância entre ambos.

Pela Lei de Coulomb<sup>7</sup>, sabe-se que, quanto mais perto o elétron estiver do núcleo, maior será a energia de atração, isto é, o valor da energia **E** será mais negativa quando a distância se tornar menor e assim químicos e físicos dizem que a energia é mais baixa (significando mais negativa) (Kotz & Treichel, 1998, p.209). Mais adiante, no mesmo módulo, surge um diagrama de energia onde não são mostradas legendas explicativas em relação às linhas horizontais representadas. Pode-se questionar os seguintes aspectos: a) por que essas linhas de energia ficam mais próximas entre si a partir do nível 4? as diferenças de energia entre os níveis vão diminuindo? b) por que valores negativos para as energias **E**? c) nota-se que no nível  $n = 3$ , o valor do denominador, na expressão da energia, apresenta valor 8. Mas o denominador da expressão não deveria considerar o valor de **n** elevado ao quadrado?

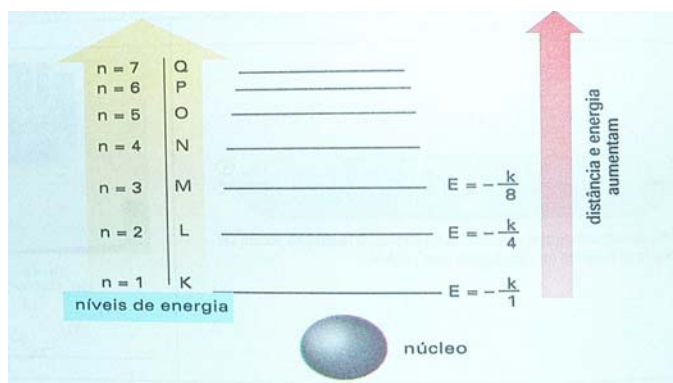


Figura 3. Níveis de energia num átomo. Extraído de Lembo, 1999, p. 114.

A seguir, é introduzido o número quântico secundário, também chamado de azimutal, **ℓ**: este número determina o subnível de energia do elétron e pode assumir valores de zero até  $n-1$ . Não aparece uma explicação para a denominação “*azimutal*”; na verdade o número quântico azimutal, também chamado de momento angular, determina a forma do orbital. Pela evolução histórica, para cada orbital atômico pode-se separar o seu tamanho (como definido por **n**) de sua forma (variação angular), definida por **ℓ**. Esse valor de **ℓ** determina o momentum angular do elétron, que é intimamente ligado à sua energia cinética, que por sua vez é relacionada com o movimento angular do elétron (Russel, 1994). Também não há uma explicação e nenhuma referência à correlação histórica entre o número quântico azimutal e o trabalho de Sommerfeld<sup>8</sup>, de 1916, sobre as órbitas elípticas e o momento angular dos elétrons.

Continuando a leitura do módulo, mostra-se uma caixa de texto separada e em destaque, indicando uma analogia confusa<sup>9</sup> entre os subníveis conhecidos e os riscos dos espectros atômicos. Novamente, o autor não sugere uma explicação plausível para o limitante  $n-1$ , da expressão proposta para o número quântico azimutal. Em relação aos outros dois números quânticos, o magnético (**m**), e o de spin (**ms**) eles não são sequer citados no capítulo. No nosso entendimento, a seqüência de apresentação do conteúdo não fica historicamente situada, nem é

<sup>7</sup> As forças entre cargas elétricas são forças de campo, isto é, forças de ação à distância, como as forças gravitacionais (com a diferença que as gravitacionais são sempre forças atrativas). O cientista francês Charles Coulomb conseguiu estabelecer experimentalmente uma expressão matemática que permite calcular o valor da força entre dois pequenos corpos eletrizados.

<sup>8</sup> Arnold Sommerfeld, físico alemão cujo modelo atômico permitiu a explicação das finas estruturas das linhas espectrais. Seu trabalho mais significativo foi a contribuição no desenvolvimento da teoria geral do quantum, e em sua aplicação para linhas espectrais e o modelo atômico de Bohr.

<sup>9</sup> A confusão está no fato do autor estabelecer uma analogia entre os conceitos de “energia” e de “luz”, como se fossem a mesma coisa, para explicar o que são subníveis.

tentada uma relação contextual com o que foi estudado no módulo anterior, o módulo 2 do mesmo capítulo, onde são apresentadas a evolução e a pesquisa sobre a interpretação do espectro eletromagnético, e os conceitos de *fóton*, *quantum* (pacotes de energia), *efeito fotoelétrico*, *fluorescência* e *fosforescência*, enfim conceitos derivados da utilização do modelo atômico de Bohr e da teoria quântica de Schrödinger<sup>10</sup>. A exceção fica por conta do conceito de subníveis, utilizado para explicar a origem do número quântico azimutal  $l$ . Outro ponto relevante de discussão é a ausência dos dois números quânticos: magnético, e de spin, no texto do módulo, evidenciando que o autor preferiu não trabalhar com o conjunto completo dos números. Na teoria atômica moderna esses dois números quânticos (magnético e de spin) têm o papel de completar a descrição do elétron e sua energia. É importante ressaltar que a grande maioria dos livros didáticos de Química do período pós anos- 70, destinados ao Ensino Médio, já apresentavam, em seus conteúdos, a descrição dos quatro números quânticos (Mortimer, 1988), trazendo normalmente o mesmo tipo de abordagem descritiva acerca do conceito, sem entretanto, se preocuparem com a evolução histórica, contextualizada e integrada com as demais teorias que compõe a explicação do modelo atômico. Aliás, é bastante oportuno citar os Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio (Brasil, 2002), no âmbito do ensino de Química:

*“...no entanto, é importante revelar de que forma a teoria quântica, desenvolvida nas primeiras décadas do século 20, incluída a compreensão da constituição e das interações nucleares, permitiu uma interpretação mais completa das ligações e propriedades químicas e das constituições isotópicas. As interpretações quânticas da estrutura dos átomos e moléculas, assim como das ligações químicas, são necessárias e constituem uma fundamentação que até mesmo permite a compreensão das propriedades da tabela periódica. Porém, por conta de sua complexidade, é preciso especial cuidado para evitar que sua apresentação meramente formal, sem uma preocupação mais conceitual, possa levar à simples memorização de idéias mal compreendidas. Uma forma de se evitar isso seria articular seu aprendizado com os estudos sobre matéria e radiação propostos pela Física...”*

## Conclusão

Segundo Santos & Schnetzler (1996), muitos pesquisadores na área de educação em Ciências têm apresentado trabalhos, onde os currículos, como o de Química no Ensino Médio, têm sido objeto de detalhada investigação. No conteúdo programático de Química é comum encontrar, na maioria desses currículos, o conceito de números quânticos no decorrer do estudo da “estrutura da matéria” e dos diversos “modelos atômicos” propostos ao longo do período que vai do final do século XIX até a metade do século XX. De acordo com Arriassecq & Greca (2002, p. 57), a utilização da História da Ciência no ensino deveria mostrar que o estágio atual da Ciência é o resultado de um longo processo onde as relações entre teoria e prática são constantes e que utilizam as ferramentas lógicas, metodológicas, epistemológicas e as tradições predominantes em seu meio e sua época. Sem dúvida, é importante esclarecer que essa utilização como recurso didático para a apresentação de um tema qualquer, tanto em livros texto como em sala de aula, não deve terminar em simplificações extremas que distorçam o sentido da História da Ciência e do próprio conceito de Ciência (Arriassecq & Greca, 2002). De acordo com pesquisas realizadas

<sup>10</sup> Erwin Schrödinger, físico austríaco, recebeu o Prêmio Nobel de física em 1933 (por seu trabalho a respeito da mecânica ondulatória).

por Loguercio et al (2001) são enormes as dificuldades dos docentes frente ao conhecimento químico e pedagógico. Os professores têm sérias lacunas na sua formação em ambos os aspectos e grandes dificuldades em superar obstáculos epistemológicos. Parecem não se dar conta, em muitos casos, de que o ensino de Química trabalha com modelos e teorias muito diferentes do mundo macroscópico. A inclusão de conteúdos como números quânticos requer cuidadosa escolha em relação ao material didático de apoio, seja na mídia impressa ou eletrônica. As questões, afinal, que levantamos ao término deste artigo e que julgamos relevantes, na continuação das investigações sobre o ensino de conceitos da Mecânica Quântica são: 1) A quem devemos ensinar os conceitos envolvidos na Teoria Quântica? 2) Como devem ser apresentados estes conteúdos?

## Referências

- AQUINO, A. R. A descoberta da estrutura atômica. *Com Ciência, Revista Eletrônica de Jornalismo Científico*, n. 20, 2001. Disponível em : <http://www.comciencia.br/reportagens/framereport.htm> . Acesso em 20/06/2005.
- ARRIASSECQ, I. , GRECA, I. M. Algunas consideraciones históricas, epistemológicas y didácticas para el abordage de la teoria de la relatividad especial em el nivel medio y polimodal. *Ciência & Educação*, v. 8, n. 1, p. 55-69, 2002.
- BASTOS, F. O ensino de conteúdos de história e filosofia da Ciência. *Ciência & Educação*, v. 5, n. 1, p. 55-72, 1998.
- BIZZO, N. M. V. História da Ciência e ensino: onde terminam os paralelos? In: *Em Aberto*, n. 55, ano 11, p. 29-35, 1992.
- BRASIL, Ministério da Educação, *PCN+ do Ensino Médio, Orientações Educacionais Complementares aos PCN*, Ciências da natureza, matemática e suas tecnologias, p. 87-111, 2002. Disponível em: <http://www.mec.gov.br> Acesso em 21/06/2005.
- COUTINHO, M. Os Desafios Historiográficos e Educacionais da Ecologia Contemporânea. In: *Em Aberto*, n. 55, ano 11, p. 42-48, 1992.
- KOTZ, J. C., TREICHEL, P. J. *Química e Reações Químicas*, v. 1, Rio de Janeiro: LCT, 1998, 458p.
- LEE, J. D. *Química Inorgânica (não tão) Concisa*, São Paulo: Edgard Blücher Ltda., 1996, 452p.
- LEMBO, A. *Química, Realidade e Contexto*, v. 1, São Paulo: Ática, 1999, 472p.
- LOGUERCIO, R. Q., SAMRSLA, V. E. E. ,DEL PINO, J. C. A dinâmica de analisar livros didáticos com os professores de Química. *Química Nova*, v. 25, n. 04, p. 557-562, 2001.
- LOPES, A. R. C. *Livros Didáticos: Obstáculos ao Aprendizado da Química*, Dissertação de Mestrado, IESAE, Rio de Janeiro,1990.

MARTINS, R. A. Sobre o papel da História da Ciência no ensino. *Boletim da Sociedade Brasileira de História da Ciência* (9): 3-5, 1990. Disponível em: <<http://www.ifi.unicamp.br/~ghc>> Acesso em 20/06/2005.

MASTERTON, W. L. , SLOWINSKI, E. J. , STANITSKI, C. L. *Princípios de Química*. Rio de Janeiro: LCT, 1990, 681p.

MEGID NETO, J. , FRACALANZA, H. O livro didático de Ciências: problemas e soluções. *Ciência & Educação*, v. 9, n. 2, p. 147-157, 2003.

MORTIMER, E. F. A evolução dos livros didáticos de Química destinados ao ensino secundário. In: *Em aberto*, n. 40, ano 7, 1988.

RUSSEL, J. B. *Química Geral*, v. 1, São Paulo: Makron Books, 1994, 621p.

SANTOS, W. L. P. , SCHNETZLER, R. P. Função Social: o que significa ensino de Química para formar o cidadão? *Química Nova na Escola*, v. 4, p. 28-34, 1996.

SANTOS, W. L. P. , SCHNETZLER, R. P. Ensino de Química para a cidadania: Um novo paradigma educacional. In: *Educação em Química*. Ijuí: Unijuí, p. 119-144, 2003.

SCHNETZLER, R. P. *O tratamento do conhecimento químico em livros didáticos brasileiros para o ensino secundário de Química de 1870 a 1976; análise do capítulo de Reações Químicas*. Campinas, UNICAMP, dissertação de mestrado, 1980.

SCHNETZLER, R. P. Um estudo sobre o tratamento do conhecimento químico em livros didáticos brasileiros dirigidos ao ensino secundário de Química de 1875 a 1978. *Química Nova*, v. 4, n. 1, p. 6-15, 1981.

SÃO PAULO, Secretaria de Estado da Educação. Disponível em: <<http://www.educacao.sp.gov.br/>> 2005. Acesso em 19/06/2005.

SILVA, C. C. , MARTINS, R. A. A teoria das cores de Newton: um exemplo do uso da História da Ciência em sala de Aula. *Ciência & Educação*, v. 9, n. 1, p. 53-65, 2003.

TIEDEMANN, P. W. Conteúdos de Química em livros didáticos de Ciências. *Ciência & Educação*, v. 5, n. 2, p. 15-22, 1998.