

# Para o ensino do átomo de Bohr no nível médio

(Teaching Bohr's atom at high school level)

Luiz O.Q. Peduzzi<sup>1</sup> e Andreza C. Basso

Departamento de Ensino, Faculdade de Educação, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS, Brasil

Recebido em 21/3/2005; Revisado em 17/7/2005; Aceito em 1/0/2005

Este artigo apresenta o perfil geral de um texto sobre o átomo de Bohr voltado para o professor do Ensino Médio, bem como os resultados de sua avaliação por uma amostra de professores que atuam nesse nível de ensino. Conferindo uma abordagem didática à teoria de Bohr com base no estudo de Lakatos: “Bohr: um programa de pesquisa que progride sobre fundamentos inconsistentes”, o texto apresenta-se como uma alternativa não empirista a este tema, contrastando com a orientação epistemológica tradicional, presente em livros didáticos. **Palavras-chave:** átomo de Bohr, programa de pesquisa, ensino de física moderna, material instrucional.

This paper presents the general profile of a text about Bohr's atom addressed to the High School teacher, as well as the results of its evaluation by a sample of professionals working at this level of teaching. Confering upon a didactic approach of Bohr's theory based on Lakatos's paper “Bohr: a research program that progresses under inconsistent fundamentals”, the text presents a non-empirist alternative of this subject matter, opposing to the traditional epistemological orientation presented by textbooks.

**Keywords:** Bohr's atom, research program, modern physics's teaching, instrucional material.

## 1. Introdução

A inserção da física moderna e contemporânea no Ensino Médio brasileiro é necessária e indiscutível [1, 2, 3, 4, 5, 6].

Nessa perspectiva, o livro didático é uma referência básica, pois representa a principal, se não a única, fonte de consulta do professor na preparação de suas aulas. Alterando uma praxe que limitava a apresentação dos conteúdos de Física à metade do século XIX, alguns autores [7, 8, 9] começam a apresentar tópicos de física moderna e contemporânea em seus textos. Além de atender as expectativas de uma ampla comunidade, essa renovação adequa-se a exigência da legislação vigente, que recomenda à educação que incorpore assuntos relacionados à ciência e a tecnologia em seus currículos.

A natureza e a complexidade dos conteúdos dessa nova Física, aliada ao delineamento e a implementação de estratégias para a sua abordagem didática, seja pelo autor de livro-texto, ou pelo professor em serviço, abre à pesquisa um campo de estudos bastante promissor.

Assim, elegendo-se o átomo de Bohr como um assunto específico de física moderna para uma análise detalhada, investigou-se inicialmente como ele é abordado em cinco livros didáticos de Física do nível médio [7, 8, 9, 10, 11] e em um projeto de Ensino, o GREF [12]. Vários aspectos foram contemplados, como o contexto

histórico em que o tema está inserido, a sua orientação epistemológica e características gerais do texto (a presença de deduções matemáticas, exercícios, ilustrações, quadros-resumo) [13, 14].

Além de não haver uma preocupação maior com o formalismo matemático (por exemplo, a dedução da expressão para a quantização da energia), constatou-se que a maioria das obras consultadas não contextualiza adequadamente o tema, considerando-se que o quadro teórico e experimental em que estavam inseridas as idéias 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 [15].

Dentre as obras examinadas, apenas duas, Gaspar [8] e Cabral e Lago [7], apresentam os conteúdos históricos necessários (e desejáveis, em princípio) ao estudo do átomo de Bohr. Torres *et al.* [10] detêm-se no assunto, mas não mencionam os valores já conhecidos das séries de Balmer e Paschen; Gualter *et al.* [9] destacam os estudos de Rutherford e a teoria do efeito fotoelétrico; Bonjorno *et al.* [11] fazem somente uma rápida menção ao modelo atômico de Rutherford, não tratando nenhum outro tópico. A abordagem do GREF [12] confere ao tema um enfoque peculiar, pois faz re-

<sup>1</sup>E-mail: peduzzi@fsc.ufsc.br.

ferências a Bohr visando uma introdução ao estudo dos processos luminosos e dos materiais semicondutores.

Tanto em Gaspar [8] como em Cabral e Lago [7] constatou-se uma abordagem empirista ao átomo de Bohr. De acordo com Lakatos [16], sendo as séries de Balmer e de Paschen conhecidas antes de 1913, o programa de pesquisa de Bohr pode facilmente ser apresentado como um exemplo de ascensão indutiva baconiana, expressando a idéia de que Bohr propôs seu modelo com o intuito de explicar essa evidência experimental, e não o de ‘harmonizar’ a instabilidade do átomo de Rutherford com a estabilidade da matéria.

Para entender melhor a presença desta concepção de ciência e a forma de apresentação do átomo de Bohr nestes dois textos, em particular, encaminhou-se algumas perguntas aos seus autores. As respostas (gentilmente dadas) ensinaram o esclarecimento de vários pontos, alguns de ordem mais geral e outros de cunho bastante específico, como: a função dos quadros e boxes (utilizados em uma das obras para colocar os postulados e ‘hipóteses contraditórias de Bohr’ fora do corpo principal do texto, e também para veicular informações históricas, de interesse); a presença de objetivos relativos à aprendizagem; a concepção de história e a orientação epistemológica dos autores ao assunto. Efetivamente, há a disseminação de uma concepção empirista sobre a gênese deste conteúdo. Ela fica bem caracterizada tanto pelas situações experimentais enfocadas, que teriam levado Bohr a formular o seu modelo, como por uma idéia de fundo mais geral, que vincula o ‘insight’ à experimentação [14, 17].

Apesar das significativas divergências entre os pesquisadores e os autores quanto ao tratamento do átomo de Bohr, algumas críticas foram explicitamente aceitas por estes últimos, que se propuseram a fazer alterações em novas edições de suas obras. Nesse sentido, talvez o resultado mais expressivo deste último estudo tenha sido o de mostrar que é possível, produtivo e indispensável o diálogo com autores; ao menos, com aqueles preocupados com a melhoria do ensino de Física e atentos aos resultados da pesquisa educacional.

Por outro lado, o modelo atômico de Bohr é uma matéria que ainda não se faz presente em muitos livros didáticos de Física do Ensino Médio, entre eles:

*Física para o Ensino Médio* - Gonçalves e Toscano [18];

*Física* - Gualter e André [19];

*Física: Série Novo Ensino Médio* - Paraná [20];

*Universo da Física 3* - Sampaio e Calçada [21];

*Física Completa* - Bonjorno [22];

*Física: Coleção Novos Tempos* - Chiquetto [23];

*Curso de Física* - Máximo e Alvarenga [24];

*Os Fundamentos da Física* - Ramalho, Nicolau e Toledo [25];

*Física para o Ensino Médio* - Paraná [26];

*Física Fundamental* - Bonjorno [27];

*Física Básica* - Nicolau e Toledo [28];

*Física Clássica* - Calçada e Sampaio [29];

*Física e Realidade* - Gonçalves e Toscano [30].

Face a isso, e visando oferecer ao professor do Ensino Médio uma nova alternativa para fundamentar as suas discussões sobre o átomo de Bohr em sala de aula, desenvolveu-se e avaliou-se um texto sobre este assunto. A abordagem didática da teoria de Bohr foi inspirada no estudo *Bohr: um programa de pesquisa que progride sobre fundamentos inconsistentes*, de Imre Lakatos [16].

Na próxima seção explicitam-se alguns conceitos da filosofia da ciência de Lakatos que orientaram a estruturação geral do texto. Nas seções seguintes apresentam-se o perfil deste material instrucional e os resultados de sua avaliação, por um grupo de professores do Ensino Médio.

## 2. A perspectiva lakatosiana: Uma breve caracterização

Para Imre Lakatos, a ciência mantém-se crítica, racional, dinâmica e em evolução pela competição de teorias ou, mais precisamente, pela competição de programas de pesquisa: *A história da ciência tem sido, e deve ser, uma história de programas de pesquisa competitivos (ou, se quiserem, de ‘paradigmas’), mas não tem sido, nem deve vir a ser, uma sucessão de períodos de ciência normal: quanto antes se iniciar a competição, tanto melhor para o progresso* [31], p. 191. A ciência normal de Kuhn é vista por Lakatos como um programa de investigação científica que logrou monopólio, provisório.

Lakatos caracteriza um programa de pesquisa como uma série de teorias em desenvolvimento. Todo o programa possui um núcleo duro, um cinturão protetor e uma política de pesquisa, especificada por uma heurística positiva e uma heurística negativa.

O núcleo duro de um programa de pesquisa contém os seus pressupostos básicos. Uma vez estabelecido ele passa a ser convencionalmente aceito, sendo considerado *irrefutável por decisão metodológica de seus protagonistas* [31], p. 165.

A política de pesquisa que proíbe que as refutações transmitam falsidade ao núcleo de um programa, desviando-as para o seu cinturão protetor, constitui a heurística negativa do programa. Ela assegura a canalização de esforços para o desenvolvimento do programa, propriamente dito, ao tornar inquestionável os seus pressupostos básicos. Como é o núcleo que identifica um programa de pesquisa, qualquer alteração no mesmo implica, necessariamente, no abandono do programa (com sua eventual substituição por um outro).

O cinturão protetor de um programa de pesquisa tem como função evitar a sua refutação prematura. É constituído por um conjunto de hipóteses auxiliares, modelos e teorias que são estruturados e desenvolvidos de acordo com a heurística positiva do programa.

A heurística positiva do programa orienta os seus protagonistas no desenvolvimento do programa. *Consiste em um conjunto parcialmente articulado de sugestões ou palpites sobre como mudar e desenvolver as 'variantes refutáveis' do programa e sobre como modificar e sofisticar o cinto de proteção 'refutável'* [31], p. 165.

Assim, as anomalias (ou contra-exemplos) encontradas em um programa são vistas como refutações dirigidas ao cinturão e não ao núcleo desse programa. A superação das mesmas exige modificações em seu cinturão, de modo a manter o núcleo irrefutável.

Para Lakatos, os cientistas não são irracionais quando continuam a desenvolver um programa de investigação mesmo frente a um oceano de anomalias. A heurística positiva do programa está lá, para os orientar.

A construção de modelos de complexidade crescente, em articulação com a heurística positiva, é etapa natural e previsível no aprimoramento de um programa. Por isso Lakatos considera irrelevante, e mesmo sem sentido, a refutação prematura dos primeiros modelos de uma cadeia. Conforme Lakatos, a dialética dos programas de investigação não implica uma seqüência alternada de conjeturas especulativas e refutações empíricas. Na verdade, ele considera uma 'crueldade metodológica' a refutação prematura dos primeiros modelos de uma cadeia, que se sabe, de antemão, necessitam de tempo para a sua reelaboração a fim de estarem em condições de serem submetidos ao teste da experiência.

Para ilustrar como podem ser diversificadas as formas de interação de um programa em desenvolvimento com a sua contrastação empírica, Lakatos considera três variantes típicas [16], p. 76-77:

1. Cada uma das três primeiras versões consecutivas do programa,  $H_1$ ,  $H_2$  e  $H_3$ , prediz com êxito alguns fatos novos, mas falha na previsão de outros (admite-se, aqui, que não haja contestação aos procedimentos e resultados experimentais). Surge então  $H_4$ , que prediz fatos novos e resiste aos testes mais rigorosos. A alteração de problemas é progressiva, e nela divisa-se 'uma bela alternância popperiana de conjeturas e refutações. As pessoas admirarão isto como um exemplo clássico da estreita colaboração entre trabalho teórico e experimental'.
2. As três primeiras versões  $H_1$ ,  $H_2$  e  $H_3$  são desenvolvidas mas não apresentadas pelo autor, à luz de uma autocrítica. Aparece então em cena  $H_4$ , a primeira e única hipótese divulgada. Esta situação mostra um período de relativa autonomia do progresso teórico, com o teórico muito à frente do experimentador.
3.  $H_1$ ,  $H_2$ ,  $H_3$  e  $H_4$  não representam uma alteração de problemas empiricamente progressiva se toda

a evidência empírica já existe à época de invenção de cada uma delas. Neste caso, o cientista tem de trabalhar mais de modo a provar o valor científico de seu programa.

Como racionalista crítico, Lakatos deixa claro que a preferência de uma teoria sobre outra deve se dar em termos racionais. Assim, em uma situação de concorrência deve ficar evidente o caráter progressivo do 'novo' programa (através de sua capacidade explicativa e poder preditivo) e a fase regressiva ou degenerativa de seu rival (onde se acentuam as inconsistências e abundam as explicações *ad-hoc*).

Com os conceitos de programa progressivo e regressivo de Lakatos tem-se um critério para julgar o mérito relativo de programas concorrentes:

*Um programa é progressivo quando seu crescimento teórico se antecipa ao seu crescimento empírico, isto é, enquanto continua predizendo fatos novos com algum êxito; é regressivo quando seu crescimento teórico se atrasa com relação ao seu crescimento empírico, ou seja, se só oferece explicações pós-hoc de descobrimentos casuais ou de fatos antecipados e descobertos no seio de um programa rival.* [32], p. 103

Por conseguinte, *se um programa de investigação explica de forma progressiva mais fatos que um programa rival 'supera' este último, que pode ser eliminado (ou se se prefere, arquivado)* [32], p. 103.

### 3. O átomo de Bohr sob o referencial lakatosiano: O perfil de um texto para professores do Ensino do Médio

Para Lakatos, é notável o progresso extraordinariamente rápido, sobre fundamentos inconsistentes, do programa de Bohr. O seu estudo, em termos metodológicos, 'é uma verdadeira mina de ouro' [16], p. 77.

Segundo Lakatos [16], p. 65, a história do programa de investigação de Bohr pode ser caracterizada por: (1) o seu problema inicial; (2) a sua heurística negativa e positiva; (3) os problemas que procurou solucionar no curso do seu desenvolvimento; (4) o seu ponto de degeneração e (5) o programa que o suplantou.

*O átomo de Bohr sob o referencial lakatosiano: um texto para professores do Ensino Médio* (27 p.), explora uma parte dessa história, mais especificamente, a sua fase de programa progressivo, relativa aos primeiros modelos que levaram Bohr à formulação da quantização da energia para átomos de um elétron com massa nuclear finita.

O texto objetiva contextualizar historicamente o átomo de Bohr, desenvolver o seu conteúdo matemático e contrapor-se à abordagem empirista que normalmente é conferida a esse assunto pelos livros didáticos.

Mesmo sob o alerta de Lakatos de que suas considerações talvez surjam ao historiador 'não como um

esboço, mas como uma caricatura', o certo é que o problema de Bohr e a forma como lidou com ele evidencia a dinâmica de uma ciência que não pode ser explicada pelas teses empiristas.

Nesta perspectiva, o texto inicia expondo as limitações da concepção empírico-indutivista da ciência, contrastando-a com alguns conceitos da moderna filosofia da ciência. Justificando a sua proposição ao professor, sustenta, amparado em bibliografia pertinente, que a análise de vários livros didáticos de Física do nível médio mostra que a abordagem conferida ao átomo de Bohr é, de um modo geral, insatisfatória: o contexto em que o tema se encontra nem sempre é o mais adequado; o problema de Bohr ao formular o seu modelo não é apresentado com clareza; os postulados são veiculados de forma simplificada tanto no que tange à quantidade quanto ao conteúdo; há autores que transmitem uma visão empirista do assunto. Além disso, há vários livros que não contemplam o modelo atômico de Bohr.

A caracterização do problema inicial de Bohr, que é o do entender a estabilidade do átomo de Rutherford, enseja o tratamento do tema dentro de uma perspectiva histórica compatível com uma metodologia que explora as insuficiências dos modelos clássicos no estudo do átomo e da interação da radiação com a matéria.

Assim, o texto procede a uma discussão introdutória sobre os espectros, a radiação do corpo negro e o efeito fotoelétrico, indicando leituras suplementares para aprofundamento, se necessário. Abordando o modelo de Rutherford, destaca as suas insuficiências, pois, de acordo com a teoria de Maxwell, elétrons em movimento ao redor do núcleo deveriam emitir radiação, perdendo energia e colapsando o sistema.

É exatamente a aguda contradição entre a instabilidade radiativa do átomo de Rutherford, decorrente da eletrodinâmica clássica, e a evidência química e física da estabilidade das estruturas atômicas e moleculares que sugerem a Bohr a impossibilidade do entendimento desse sistema no âmbito exclusivo da física clássica. Considerando que a constituição do átomo é governada pelo quantum de ação, Bohr impõe condições específicas ao átomo de Rutherford, desenvolvendo a sua teoria ([33], p. 18 e [34] p. 38).

Cinco postulados constituem o núcleo duro de seu programa de pesquisa. No último dos três artigos publicados no *Philosophical Magazine*, em 1913, e reunidos no livro *Sobre a Constituição de Átomos e Moléculas* [35], Bohr destaca, em síntese conclusiva:

*Nesta memória fez-se uma tentativa de desenvolvimento de uma teoria da constituição dos átomos e moléculas baseada nas idéias introduzidas por Planck para explicar a radiação do corpo negro e na teoria da estrutura dos átomos proposta por Rutherford para explicar a dispersão das partículas  $\alpha$  pela matéria. A teoria de Planck trata da emissão e absorção da radiação de um oscilador harmônico... sendo incoerente com a*

*teoria de Rutherford... Para se aplicarem os principais resultados obtidos por Planck é, portanto, necessário introduzir novas hipóteses sobre a emissão e absorção de radiação por um sistema atômico. As principais hipóteses utilizadas são:*

1. *Que 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. *Que o equilíbrio dinâmico dos sistemas nos estados estacionários é governado pelas leis da mecânica clássica, não se verificando estas leis nas transições dos sistemas entre diferentes estados estacionários.*
3. *Que é homogênea a radiação emitida durante a transição de um sistema de um estado estacionário para outro, e que a relação entre a frequência  $\nu$  e a quantidade total de energia emitida é dada por  $E = h\nu$ , sendo  $h$  a constante de Planck.*
4. *Que os diferentes estados estacionários de um sistema constituído por um elétron que roda em volta de um núcleo positivo são determinados pela condição de ser igual a um múltiplo inteiro de  $h/2$  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. *Que 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 de sua órbita.*

*Mostrou-se que, aplicando estes postulados ao modelo atômico de Rutherford, é possível compreender as leis de Balmer e Rydberg...*

Depois de discutir os postulados, procurando esclarecer como eles misturam de forma melindrosa conceitos da velha e da nova Física, o texto desenvolve o modelo  $M_1$  de Bohr [16], chegando à quantização da energia para o átomo de hidrogênio, sob o pressuposto da órbita circular e de revoluções em torno de um núcleo de massa infinita.

Mostrando que quando o elétron sofre uma transição de um nível de energia  $E_{n_i}$  para outro de menor energia  $E_{n_f}$  há emissão de uma radiação homogênea de frequência:

$$\nu = \frac{E_{n_i} - E_{n_f}}{h}, \quad (1)$$

e que os comprimentos de onda dessa radiação correspondem as séries de Balmer ( $n_f = 2$ ) e de Paschen

( $n_f = 3$ ), o texto enfatiza a corroboração inicial da teoria.

Contudo, evidências de uma suposta série do hidrogênio não prevista pelo modelo - a série de Pickering-Fowler<sup>2</sup> - suscitaram críticas a Bohr. Discutindo de que forma ele lida com esta situação, o texto procura destacar como a atividade de produção do conhecimento é orientada por uma teoria. Neste caso, Bohr não questionou a 'precisão experimental' ou a 'fidedignidade' dos resultados experimentais, mas sim a teoria observacional em que se baseava, elaborando um novo modelo em seu programa de investigação: o modelo do hélio ionizado ( $M_2$ ). A heurística positiva do programa - o átomo como um sistema solar em miniatura<sup>3</sup> - dá a Bohr a orientação necessária para incrementar  $M_1$ .

Argumentando, a seguir, que o desenvolvimento matemático de  $M_2$  é análogo ao do sistema próton-elétron, e que esta dedução pode ser apresentada em termos mais gerais, válida para átomos de um elétron (hélio ionizado, lítio duplamente ionizado etc.), o texto escreve as expressões para a quantização das órbitas, da velocidade e das energias cinética, potencial e mecânica, em função do número atômico ( $Z$ ).

Para  $Z = 2$ , destaca que as linhas observadas por Pickering no espectro de  $\xi$  Puppis devem ser relacionadas ao hélio ionizado, e não ao hidrogênio. Mas o acordo entre teoria e experiência não era ainda plenamente satisfatório. Conforme Lakatos [31], quando Bohr foi questionado a esse respeito, reconheceu que obteve os valores através de um 'cálculo tosco', com o elétron descrevendo órbitas em torno de um núcleo fixo, e que precisava lapidar seu modelo. Por conseguinte, elabora  $M_3$ , no qual tanto o elétron como o núcleo se movimentam em torno do centro de massa do sistema. Segundo Lakatos, a aparente refutação de  $M_2$  converteu-se em uma retumbante vitória de  $M_3$ .

Após apresentar os cálculos da correção para a massa nuclear finita e chegar a relação mais geral para a quantização da energia em átomos de um elétron, o texto reafirma, à guisa de conclusão, que cabe ao professor a transposição didática do assunto, para a sala de aula. E que nesse processo, provavelmente, terá que superar algumas dificuldades (como a do produto vetorial, presente na correção para a massa reduzida, e a do momento angular e sua quantização). Saliencia também que, com um pouco de criatividade, o professor pode exercitar o interesse dos alunos propondo certas atividades, como, por exemplo, sugerir que eles realizem todos os passos para obter a expressão da energia quantizada para o átomo de hélio, como os desenvolvidos para o hidrogênio; ou, ainda, expor os valores encontrados para a energia sem a correção para a massa reduzida

e propor aos alunos que façam novamente os cálculos utilizando a correção. A partir da discrepância entre os valores encontrados, ele pode discutir o diálogo entre teoria e experiência no desenvolvimento do modelo de Bohr, à luz de Lakatos.

Ainda, o texto pretende alertar ao professor que a visão empirista pode facilmente ser desencadeada pelo assunto. O exemplo proporcionado pelo modelo atômico de Bohr chama a atenção para os cuidados que se deve ter para que este tipo de concepção não seja repassada acriticamente ao estudante, nem em relação a este tema e nem a outros. Assim, o texto pode também contribuir para instigar uma melhor avaliação epistemológica, pelo professor, da forma como assuntos de Física e de outras áreas são apresentados por materiais didáticos, paradidáticos e de divulgação científica.

#### 4. A avaliação do texto

Para a avaliação de *O átomo de Bohr sob o referencial lakatosiano: um texto para professores do Ensino Médio*, elaborou-se um questionário constituído por quatro perguntas dissertativas e um espaço livre, para comentários, críticas e sugestões do respondente. Além do texto e das questões, os professores receberam um artigo sobre a filosofia de Lakatos [36] e uma carta de apresentação do material.

Com o objetivo de validar o questionário e de fazer uma primeira sondagem das potencialidades do texto, submeteu-se o material instrucional à apreciação de quatro professores de Física do nível médio: dois licenciados, um mestre e um doutor. Destes, apenas o último não deu retorno.

As questões mostraram-se claras e, em princípio, sem problemas. As críticas ao texto (relativas a erros de redação, carência de figuras, falta de atividades experimentais, sugestões de apresentação e inclusão de novas referências bibliográficas) sinalizaram insuficiências, mas não resultaram em nenhuma alteração significativa do mesmo. O fato de um dos respondentes ter discordado quase que totalmente da abordagem dada ao átomo de Bohr não foi considerado preocupante, pois ele visivelmente não entendeu os objetivos e limites do material instrucional.

O texto foi então avaliado por uma amostra diferenciada<sup>4</sup> de nove professores de Física do nível médio (dos doze que foram contactados, três não responderam), com o seguinte perfil:

**P<sub>1</sub>** - Mestre em Física e doutorando na área de Física (UFSC)

**P<sub>2</sub>** - Mestre em Física (UFSC)

<sup>2</sup>Pickering descobriu essa série em 1896, no espectro da estrela  $\xi$  Puppis. Fowler, depois de haver encontrado sua primeira linha no Sol, produziu toda a série em um tubo de descarga contendo hidrogênio e hélio.

<sup>3</sup>A ela se adiciona o princípio da correspondência, em estudos posteriores.

<sup>4</sup>Entende-se por amostra diferenciada professores que, supostamente, teriam conhecimento para fazer uma avaliação adequada do texto elaborado.

**P<sub>3</sub>** - Mestrando em Educação Científica e Tecnológica (UFSC)

**P<sub>4</sub>** - Formando do curso de Licenciatura em Física (UFSC)

**P<sub>5</sub>** - Mestrando em Ensino de Física (UFRGS)

**P<sub>6</sub>** - Licenciado em Física (UFSC)

**P<sub>7</sub>** - Formando do curso de Licenciatura em Física (UFPEL)

**P<sub>8</sub>** - Licenciado em Física (UFRGS)

**P<sub>9</sub>** - Licenciado em Física (UFRGS)

A seguir, apresentam-se as questões e sua análise.

#### 4.1. Questão 1

O texto sobre o modelo atômico de Bohr considera que o contexto em que se inseriram as idéias de Bohr estava constituído pelas experiências e o modelo atômico de Rutherford; por valores, conhecidos empiricamente, de algumas séries espectrais; pelos estudos sobre a radiação do corpo negro e o efeito fotoelétrico. A contextualização dada ao assunto é adequada? Que tópicos você considera necessário para a contextualização do tema? Comente sua resposta.

De um modo geral, dos nove professores que responderam a esta questão, sete deles concordaram com a contextualização dada ao modelo atômico de Bohr; um dos participantes concorda, mas aponta restrições e o outro, discorda.

Inicialmente, o professor **P<sub>1</sub>** faz uma discussão sobre as principais teorias que estavam sendo desenvolvidas e que possivelmente influenciaram o modelo atômico de Bohr. Destaca que, para a época, a instabilidade do átomo de Rutherford foi o ponto ‘chave’ para Bohr ‘bolar’ uma solução para este problema. Além disso, menciona que os estudos sobre a radiação do corpo negro, cuja ‘semente’ foi plantada por Planck e o retorno à teoria da partícula em 1905, por Einstein, são o ‘supra-sumo’ na construção da teoria de Bohr. Acrescenta, ainda, que as outras evidências, como as séries de Balmer e Paschen, apenas vieram ‘coroar este magnífico trabalho’. Vinculando essa análise com o material instrucional, diz o seguinte: *Gostaria de salientar que o texto explica isso em muitos detalhes, relatando os fatos da época; fiquei até surpreso pelas belas passagens ali descritas.*

Para **P<sub>2</sub>**, a contextualização é adequada, pois *contempla de modo informativo e temporal os assuntos relacionados ao desenvolvimento dessa teoria. Acredito que não seja necessário a inclusão de outros tópicos adicionais para a contextualização do tema proposto.*

**P<sub>3</sub>** é bastante sucinto: *Diante do que se propõe acho que está muito bem contextualizado.*

Já para **P<sub>4</sub>**, a contextualização foi muito abrangente. Justifica que muitos tópicos foram tratados, mas de maneira superficial. Ressalta que, dependendo da formação do professor que utilizará o texto, esta contextualização poderá ser de difícil entendimento. Su-

gere que se repense a parte inicial do mesmo, isto é, a contextualização do assunto: *ou se ‘enxuga’ um pouco, retirando alguns dos tópicos e reorganizando-os, ou (o que julgo ser mais interessante) se mantém os tópicos, porém tratando-os de maneira mais detalhada.*

De acordo com **P<sub>5</sub>**, o texto comporta todos os temas importantes à contextualização do átomo de Bohr. Todavia, considera que a explanação é muito breve e sugere:  *Talvez o assunto introdutório pudesse ser um pouco mais rico e aprofundado no sentido de valorizar os acontecimentos anteriores ao trabalho de Rutherford e Bohr. Menciona, também, que acredita que a história e a filosofia da ciência são uma ‘frutífera porta’ por onde é possível a introdução de idéias e conceitos a estudantes de vários níveis.*

Segundo **P<sub>6</sub>**, é ‘extremamente’ válida a maneira como o modelo atômico de Bohr foi abordado pelo texto. *Assevera que através da evolução e contextualização histórica dos fatos que antecederam a estruturação do átomo de Bohr, é possível mostrar ao estudante que o conhecimento científico não é elaborado graças a um lampejo de idéias, que um cientista teve ao trabalhar isoladamente ou sem nenhuma discussão com a comunidade científica.*

**P<sub>7</sub>** opina que a contextualização dada ao assunto é ‘extremamente adequada’. Menciona que embora todos os tópicos citados sejam necessários para contextualizar o tema, não seria possível atualmente tratá-los no nível médio em virtude da falta de tempo. Assim, mesmo se posicionando a favor do contexto proposto, ele acredita que apenas o modelo atômico de Rutherford já forneceria uma boa base para o tratamento do átomo de Bohr, o qual já deveria estar sendo abordado, com ênfase, no nível médio. Contudo, ressalta que pode haver oscilações em seu ensino, de uma escola para a outra.

Conforme **P<sub>8</sub>**, a contextualização dada ao assunto é bastante adequada; justifica que o tema está inserido dentro de um conjunto de outros temas indispensáveis para a sua compreensão. Neste sentido, argumenta que as idéias de Planck e Einstein certamente auxiliaram Bohr na elaboração de sua teoria.

**P<sub>9</sub>** diz: *Acho adequada, por ter seguido uma ordem histórica do assunto... todos os tópicos citados no texto são importantes para um bom aprofundamento dos professores e, também, um bom entendimento.*

A menção ao aprofundamento de alguns tópicos introdutórios ao átomo de Bohr, por **P<sub>4</sub>** e **P<sub>5</sub>**, é bastante pertinente, devendo ser considerada em uma nova versão, ampliada, do texto. Deve-se contudo ressaltar que o tratamento mais geral desses conteúdos, segundo os objetivos e limitações do estudo desenvolvido, foi uma opção de trabalho consciente dos pesquisadores, que procuraram lidar com eventuais dificuldades indicando bibliografia (acessível, em princípio) para leituras suplementares.

## 4.2. Questão 2

Além de contemplar a visão de Lakatos sobre o desenvolvimento do modelo atômico de Bohr, o texto também é enfático na crítica à disseminação da concepção empirista-indutivista da ciência. Neste caso, a apresentação do texto, organizada segundo Lakatos, pode ser considerada como uma maneira ‘eficiente’ de abordagem do modelo atômico de Bohr ou agrega elementos complicadores no ensino deste conteúdo ao expor e questionar a visão empírica deste assunto? Justifique.

Seis professores posicionaram-se favoráveis à abordagem dada pelo texto ao modelo atômico de Bohr (**P**<sub>3</sub>, **P**<sub>5</sub>, **P**<sub>6</sub>, **P**<sub>7</sub>, **P**<sub>8</sub> e **P**<sub>9</sub>); um dos participantes concordou parcialmente (**P**<sub>4</sub>) e dois deles (**P**<sub>1</sub> e **P**<sub>2</sub>) optaram por não responder, alegando insuficiência de conhecimentos.

Para **P**<sub>3</sub>, a explanação do texto organizada segundo Lakatos é eficaz na apresentação do átomo de Bohr, bem como proporciona uma visão clara e consistente da epistemologia de Lakatos.

De acordo com **P**<sub>4</sub>, o texto é bastante claro em sua posição anti-empirista. Contudo, ressalta que considera desnecessárias citações específicas a Lakatos, uma vez que o texto se destina a professores do nível médio. Sugere que estas referências sejam feitas em uma introdução ou apêndice.

**P**<sub>5</sub> afirma: *No meu ponto de vista, o texto não traz nenhum tipo de empecilho ou complicadores para o seu entendimento. A apresentação do modelo atômico de Bohr organizada segundo a visão de Lakatos parece-me muito pertinente.*

Para **P**<sub>6</sub>, o modelo atômico de Bohr apresentado de acordo com o referencial lakatosiano demonstra nitidamente ao leitor os passos realizados por Bohr na construção de seu modelo. Além disso, salienta que *a idéia de que ele [Bohr] resolveu estruturar um modelo atômico devido à inconsistência do modelo de Rutherford é fundamental para uma boa compreensão da motivação de Bohr para fazer tal intento.* Destaca, ainda, que a não disseminação da visão empirista também é um passo fundamental, pois ensina aos alunos uma visão correta da ciência. O que alega ser contrário ao que os livros de Física do Ensino Médio propõem (ou seja, que é a partir da experiência que se extrai o conhecimento científico).

**P**<sub>7</sub> diz: *Acredito que seja uma maneira eficiente de abordar o modelo atômico de Bohr, e que a complexidade do assunto é que poderá apresentar junto aos alunos alguma dificuldade, todavia, amplamente plausível.*

**P**<sub>8</sub> afirma: *Por se tratar de um texto voltado a professores de Física, acredito que a abordagem do átomo de Bohr segundo as idéias de Lakatos não traz qualquer elemento complicador.*

Para ele, a epistemologia de Lakatos pode ser con-

siderada como uma das mais eficientes na transposição didática de temas científicos, pois fornece uma visão adequada da ciência e do chamado ‘método científico’. Ressalta ainda que o professor de Física que acompanha as vertentes da filosofia da ciência pode fazer um bom uso do material e utilizá-lo como fonte de informações.

**P**<sub>9</sub> diz: *Acho que a abordagem sob a visão de Lakatos é muito boa, pois segue uma lógica, que é importantíssimo para o ensino de ciências.* Continua, destacando que a concepção empirista gera fatores que complicam o entendimento dos conceitos físicos pelos alunos. Menciona também que para que esses conceitos sejam mais bem compreendidos eles devem ser questionados, permitindo aos estudantes entender o que é a ciência e como se faz ciência.

Embora apenas sete professores tenham se posicionado sobre esta questão, pelo menos para seis deles a explanação do texto, segundo Lakatos, é considerada uma ‘boa’ maneira de se apresentar o átomo de Bohr. A supressão do nome de Lakatos, sugerida por um dos respondentes, poderia, em princípio, parecer irrelevante no desenvolvimento dos conteúdos. No entanto, do ponto de vista epistemológico (e também psicológico), a menção explícita a Lakatos é muito importante, pois além de despertar um possível interesse pela sua obra pode igualmente potencializar discussões relativas a outros nomes da moderna filosofia da ciência, que tantas contribuições têm a dar à didática da física, e das ciências naturais, em geral.

## 4.3. Questão 3

O texto fornece subsídios para um ‘bom’ estudo do modelo atômico de Bohr? A abordagem dada ao assunto é clara e acessível? O aprofundamento é adequado para professores do nível médio? Comente.

Como era de se esperar, a inevitável associação do texto com a formação geral dos professores, e dos problemas do ensino da física, no nível médio, suscitou posicionamentos bastante críticos.

**P**<sub>1</sub> argumenta que o texto é um bom material de consulta para o estudo do modelo atômico de Bohr, uma vez que os livros do Ensino Médio não apresentam uma abordagem detalhada tanto no que tange a parte qualitativa quanto a quantitativa; além disso, não trazem o contexto histórico, as idéias que ‘fervilhavam’ na época, as dificuldades, os embates. *O texto procura trazer a tona os questionamentos daquele período, mostrando as dificuldades e o caminho que foi percorrido para encontrar a saída desse labirinto.* Assevera, ainda, que a linguagem utilizada no texto é adequada, não deixando nenhum ponto obscuro. Afirma que *esse material deve ser preparado ‘para ontem’, para que o professor possa tê-lo em mãos e opte por aprofundar ou não esse tópico.*

De acordo com **P**<sub>2</sub>, o texto fornece os subsídios necessários para o conhecimento do modelo atômico de Bohr e sua abordagem é clara; contudo, não é

acessível a todos os professores que atuam no nível médio. **P<sub>2</sub>** justifica esse seu posicionamento ressaltando que a maioria dos professores deste nível está afastada da universidade há vários anos e que não são oferecidos cursos de aperfeiçoamento na área do ensino da Física. Por esse motivo, infere que muitos conceitos, embora básicos, ficam esquecidos ou até ‘deformados’, e isso dificulta o ensino de temas relacionados à física moderna, em aula.

Para **P<sub>3</sub>**, o texto está muito bom e escrito de maneira clara. Já com relação ao aprofundamento ressalta que se pode ter problemas, pois a maioria dos professores de Física do nível médio não tem formação específica para o ensino desta matéria: são formados em áreas afins e assumem a disciplina por falta de professores habilitados. Nesse sentido, propõe que se considere três grandes grupos de professores para a discussão: os que possuem uma ‘boa’ formação, incluindo as bases epistemológicas; os que têm formação, mas sem essas bases e os que não possuem formação adequada para a função. A partir disso, elabora o seguinte questionamento: qual seria o público alvo principal a que se destina o texto?

Como forma de enfatizar mais esta questão, pondera que para o primeiro grupo de professores o texto viria para enriquecer, complementar. Para o segundo, o texto ajusta-se perfeitamente, *é bárbaro, encaixa-se como uma luva*. Mas para o terceiro e maior grupo, como seria? Para estes, **P<sub>3</sub>** acha que deveriam ser fornecidos mais detalhes, como noções de álgebra, a série de hélio da estrela Pupis, a emissão de elétrons no efeito fotoelétrico, a matematização do quarto postulado, etc.

**P<sub>4</sub>** destaca que o texto, sem dúvida, é claro, objetivo e acessível a ‘bons’ professores do Ensino Médio. Todavia ressalta que a grande maioria dos professores atuais de Física não teria condições de aplicá-lo em sala de aula, em virtude de sua má formação, que caracteriza por *engenheiros e licenciados com grandes dificuldades em estrutura da matéria e física quântica*.

Semelhante ao exposto por **P<sub>3</sub>**, **P<sub>5</sub>** também menciona a necessidade de se pensar em dois tipos de público, os quais ele caracteriza como sendo: a) pessoas que tenham familiaridade com os assuntos que contextualizam o modelo atômico de Bohr, além de Química e Física; e b) pessoas que não tenham os conhecimentos acima citados. Para os primeiros o texto oferece, segundo ele, ótimos subsídios para o estudo e a compreensão do modelo atômico de Bohr. Entretanto, para os segundos, o texto não trará benefícios, pois lhe faltarão os ‘subsunçores’, os quais ele define como sendo *uma espécie de ancoradouro, onde o conteúdo a ser apreendido pode se firmar e interagir, dando condições para que a aprendizagem possa ser significativa*.

**P<sub>6</sub>** considera que o texto em si é muito bom; mas, para que o professor possa pô-lo em prática é necessário rever vários fatores relacionados ao ensino de Física no

nível médio (número de aulas e inclusão dos tópicos que contextualizam o átomo de Bohr).

**P<sub>7</sub>** afirma: *O texto a meu ver é extremamente claro e rico em subsídios para uma ótima abordagem deste tema, sendo amplamente adequado para professores de nível médio, professores de Física, é claro*.

Segundo **P<sub>8</sub>**: *O texto fornece subsídios para um ‘bom’ estudo do tema, principalmente no que tange ao seu desenvolvimento histórico. A linguagem é clara e acessível, bem como o aprofundamento é adequado para professores de Física*. Menciona, ainda, que na transposição didática do tema o professor deve levar em consideração as necessidades específicas de cada turma. Todavia, argumenta que não é necessário trabalhar em aula as demonstrações matemáticas, mas que é bom conhecê-las, para uma maior segurança em relação a eventuais situações inesperadas que podem surgir na sala de aula.

**P<sub>9</sub>** assim se manifesta: *Acho que o texto é muito bom, ele aborda bem o assunto... é claro e elucidativo*. Sobre o aprofundamento, diz que é adequado para professores do nível médio, pois não apresenta cálculos complicados e, por isso, qualquer professor de Física poderia compreendê-lo sem maiores dificuldades.

É clara a preocupação de vários respondentes quanto ao despreparo do professor, em geral, para o uso do texto. Além de (possíveis) deficiências relativas ao conteúdo específico de física (devido a uma má formação, profissionais não habilitados etc.), há uma grande lacuna nos cursos de graduação em física e de capacitação/atualização de professores quanto a discussões de cunho epistemológico. Nesse sentido, a reivindicação de um texto ‘o mais completo possível’ é mais do que compreensível, e mesmo esperada.

No que se refere aos cursos de aperfeiçoamento para o professor do Ensino Médio, eles certamente são necessários, na conjuntura atual do ensino de física, e o destaque dado aos mesmos por dois professores é bastante pertinente. Contudo, não se pode deixar de mencionar aqui o papel que o interesse e o esforço pessoal desempenha na superação das dificuldades em qualquer processo de aprendizagem. Assim, embora importantes, esses cursos representam apenas uma das muitas opções que o professor interessado (e certamente com tempo para isso) tem para o aprendizado da física moderna e contemporânea.

#### 4.4. Questão 4

Você acha que o modelo atômico de Bohr deve ser estudado no nível médio? Por quê? Como professor, você utilizaria o texto proposto, ou parte dele, para trabalhar o tema no nível médio? Justifique

Dos nove professores que responderam esta questão, sete afirmaram que o átomo de Bohr deve ser estudado no nível médio, assim como outros conteúdos da física moderna e contemporânea e declararam que utilizariam



o texto proposto ou parte dele, ao ministrar aulas sobre o assunto. Outros dois enfatizaram as dificuldades presentes neste nível e se posicionaram contrários ao estudo do modelo atômico de Bohr no Ensino Médio.

**P<sub>1</sub>** assevera que nos dias de hoje o ‘mundo quântico’, extremamente presente no cotidiano das pessoas, desempenha um papel importante na explicação dos artefatos tecnológicos. Acrescenta ainda que suas experiências utilizando a física moderna no nível médio têm sido produtivas, pois permitiram demonstrar aos alunos que a Física sofre mudanças, está em constante construção e mesmo as teorias mais sólidas podem ser substituídas (*quebradas*).

Declara que, sem dúvida, utilizaria o texto, pois ele resgata o contexto histórico e mostra que as observações, quando fidedignas, podem despertar o instinto para as teorias e, corroborá-las. Além disso, chama a atenção para o fato de que teoria e experimentos podem caminhar juntos, não havendo, necessariamente, uma ordem de prioridade. Salienta: *Acho que o texto faz também que o professor do Ensino Médio faça indagações, comece a se questionar de que a Física é uma ciência e não está toda pronta, mas sim em processo de construção (principalmente quanto à física moderna)*. Conclui afirmando que *o professor como educador tem sempre que se atualizar, ou seja, o educador também tem de estar no processo de auto-educação*.

Segundo **P<sub>2</sub>**, o modelo atômico de Bohr não deve ser estudado no nível médio. Ele destaca que a realidade da escola no Brasil é ‘caótica, medíocre e deprimente’. Além disso, expõe que as propostas de conteúdo apresentadas nos currículos são ‘utópicas’, embora mencione que estes não contemplam, na íntegra, nem os assuntos básicos relacionados à ciência física. Ressalta ainda que, mesmo com essa deficiência de conteúdo, os alunos não querem e não conseguem acompanhar o desenvolvimento dos conceitos. Afirma: *Por mais lamentável que seja, essa é a dura realidade da fraca escola brasileira que vivenciamos hoje; e isso é opinião de vários professores que atuam no ensino de ciências exatas*.

Para **P<sub>3</sub>**, o ensino do modelo atômico de Bohr não é apenas desejável, mas também necessário para explicar os fatos do dia-a-dia. Em relação à segunda parte da questão, este professor declara que utilizaria o texto tanto para trabalhar o modelo atômico de Bohr como para fins epistemológicos, para o qual afirma ser um ‘grande exemplo’. Além disso, ressalta que como o átomo de Bohr é normalmente apresentado na disciplina de Química, poderia se tentar trabalhar o assunto em conjunto, nas disciplinas de Química, Física e Matemática, em um curso de aperfeiçoamento multidisciplinar.

**P<sub>4</sub>** afirma que o átomo de Bohr deve ser apresentado sem dúvida nenhuma, assim como outros tópicos da Física do último século: *A inserção da física moderna no nível médio deveria ser um dos principais objetivos*

*dos grupos de pesquisa em ensino de Física. Como professor, certamente utilizaria o texto.*

**P<sub>5</sub>** declara: *Acredito que não só o modelo de Bohr [deva ser estudado], mas também introdução à relatividade, efeito fotoelétrico, radiação de corpo negro e tudo o mais que for possível acrescentar. Particularmente, acredito que nós professores estamos perdendo nossos alunos para a TV, internet e tantos outros atrativos modernos toda a vez que escrevemos as siglas MRU, MRUV e tantas outras que não mais contribuem efetivamente com o cotidiano do aluno.*

Em seguida, o professor destaca que denota dois obstáculos para se trabalhar o átomo de Bohr e os demais tópicos da física moderna. O primeiro está direcionado para o fato de as universidades centrarem seus processos seletivos na física clássica: *queira ou não, são estas provas que norteiam os currículos escolares*. O segundo refere-se a somente a Física ‘lutar por modernidade’, enquanto que as demais disciplinas como a Matemática, Química, História estão ‘ancoradas no porto velho’; ou seja, *assim como a Física atual, exploram conceitos que em nada contribuem para a modernização do ensino*.

Quanto a trabalhar com o texto no nível médio, **P<sub>5</sub>** salienta que esta é uma questão que envolve algumas variáveis: interesse do professor, dos alunos, nível de conhecimento dos alunos, entre outras. Afirma que se viesse a ensinar o átomo de Bohr, atualmente, utilizaria apenas parte do texto: ou a histórica ou os cálculos, pois para trabalhar o texto na íntegra seriam necessárias umas seis semanas.

**P<sub>6</sub>** respondeu a primeira parte da questão de um modo mais geral, não se referindo apenas ao modelo de Bohr. Assevera que é necessário, sim, o ensino da física moderna no nível médio. *Acho que está na hora de deixar de ensinar durante meses cinemática, eletrostática, e mostrar algo que os alunos realmente se identifiquem*.

No entanto, esclarece que em virtude das condições e do contexto atual da disciplina de Física, a utilização do material proposto torna-se ‘relativamente inviável’. Explica que, em primeiro lugar, os alunos do nível médio não têm conhecimento dos conceitos que são necessários para a compreensão do assunto, como os espectros, a radiação do corpo negro e o efeito fotoelétrico. Infere que essa deficiência pode ser justificada, em parte, pelo insuficiente número de aulas destinado à matéria de Física. Neste sentido, indica duas possíveis medidas a serem tomadas para ampliar as possibilidades de utilização do texto: a primeira seria incluir os conceitos referentes aos assuntos mencionados acima, *para que o professor tenha as mínimas condições de utilizar este material* e, a segunda, que não seria alvo de discussão, como bem lembra, seria ampliar o número de aulas destinadas à disciplina de Física.

Neste caso, no parágrafo acima, o professor expressa tanto a dificuldade do aluno quanto à do professor

em relação aos conceitos que contextualizariam o modelo atômico de Bohr e sugere o tratamento aprofundado desses tópicos no texto. Todavia, esse não foi o objetivo do texto, uma vez que se deixou claro, na apresentação do material, que se faria apenas uma introdução histórica e seriam indicadas bibliografias para aqueles que precisassem aprofundar ou rever os conceitos que contextualizam o átomo de Bohr.

Para **P<sub>7</sub>**, não somente o modelo atômico de Bohr deve ser integrado ao programa do Ensino Médio, mas também os outros temas da física moderna, em virtude de estarem presentes no dia a dia de todos. Destaca, no entanto, que essas idéias estão, na maioria das vezes, ocultas, por ignorância ou por medo, devido a ser um assunto pouco conhecido e quase sem domínio. Referindo-se à segunda parte da pergunta, assevera que com toda certeza utilizaria o texto *pois se trata de um material muito acessível e que cobre uma falha da maioria dos livros do Ensino Médio em utilização no momento*.

De acordo com **P<sub>8</sub>**, o átomo de Bohr deve ser apresentado no nível médio, pois seu conteúdo é de extrema importância: *a partir das relações que deve se estabelecer entre este tema, a radiação do corpo negro e o efeito fotoelétrico mostra-se características muito peculiares do mundo microscópico que se manifestaram no mundo macroscópico*. Segundo ele, o texto constitui-se em uma ótima demonstração do caráter não empirista-indutivista da ciência.

Com relação à utilização do texto no Ensino Médio, o professor diz que tomaria o cuidado de salientar a validade do modelo de Rutherford, com as modificações propostas por Bohr apenas no que tange a existência de um núcleo positivo. Posteriormente, mencionaria que a idéia de elétrons em órbitas planetárias bem definidas seria substituída pela idéia da ‘nuvem de elétrons’, sem a definição precisa da posição dos elétrons no espaço, apenas da densidade de probabilidade.

**P<sub>9</sub>** afirma: *Acho que o átomo de Bohr deve ser estudado no nível médio, pois é um modelo que trabalha vários conceitos importantes... utilizaria mais a parte histórica do texto... para chamar a atenção dos alunos, e menos a parte de aprofundamento, que envolve muita álgebra, que é complicado para a compreensão dos alunos*.

No espaço do questionário destinado a comentários gerais, críticas e sugestões sobre o texto, os professores acrescentam novos e importantes argumentos sobre a sua possível implementação em sala de aula, ao mesmo tempo que reforçam posicionamentos já assumidos.

**P<sub>1</sub>** - Além de fazer indicações sobre alguns pontos específicos da redação do texto, este professor refere-se à ênfase dada à teorização ao invés da experimentação. Ele expõe que em sala de aula a experimentação tem um ‘amplo sucesso na aprendizagem’ dos alunos; alega que nessas atividades os estudantes podem ‘ver’ e ‘tocar’, o que auxilia na compreensão dos conteúdos. No entanto,

**P<sub>1</sub>** ressalta que discorda de que a ciência só se realiza por meio de demonstrações; esclarece que nem sempre é possível realizar experimentos e que a teorização é necessária, sim. Afirma, ainda, que com certeza o maior problema que o estudo do texto pode desencadear está relacionado ao produto vetorial, sugerindo que se poderia colocar uma figura indicando a direção dos vetores  $\mathbf{r}$  e  $\mathbf{v}$  e mencionar que o produto desses dois resulta um terceiro perpendicular ao plano gerado pelos dois anteriores. Ao finalizar declara que o trabalho o agradou bastante, estando bem escrito, em linguagem adequada e com esclarecimentos precisos.

**P<sub>2</sub>** - Direciona seus comentários às condições apresentadas no ensino brasileiro. Segundo ele, a escola sem recursos materiais e financeiros, os baixos salários dos professores e o desinteresse dos alunos dificultam ou, até mesmo, impossibilitam a inserção de novos conteúdos e programas educacionais no nível médio; os quais poderiam transformar a visão dos conceitos científicos e filosóficos abordados na Física. Nesse sentido, ressalta que qualquer tentativa ou esforço de pesquisadores em educação para modificar estas concepções é praticamente em vão ou, como afirma, *é fora da realidade vivida pelos professores na escola hoje*.

**P<sub>3</sub>** - Diz ter explicitado seus comentários no decorrer das questões.

**P<sub>4</sub>** - Enfatiza a importância de se conhecer um pouco mais sobre a ciência e a tecnologia, em virtude de se viver em uma sociedade altamente dependente de ambas. Assevera: *precisamos difundir a verdadeira ciência e tecnologia entre todas as pessoas e, sem dúvida nenhuma, a educação tem um papel crucial neste processo. Está mais do que na hora uma mudança geral no ensino de ciências... é inadmissível gastarmos semanas ensinando termometria (transformações entre escalas térmicas), cinemática, ótica geométrica... enquanto deixamos de ensinar a fascinante Física e tecnologia que há no funcionamento de um ‘hard disk’ de computador, de um forno microondas, de um rádio, televisão*.

Continua, destacando que considera ‘louvável’ qualquer tentativa de inserir a física moderna no nível médio. *Acho que o texto cumpre bem esse papel; todavia, menciona que há dificuldades, principalmente no que se refere ao momento angular que, de acordo com ele, é um conceito difícil de ser tratado no nível médio. Outro ponto ressaltado diz respeito à linguagem do texto, que segundo **P<sub>4</sub>** é muito acadêmica, é quase um artigo científico. Aconselha escrevê-lo de uma forma mais informal; adicionar figuras e ilustrações, de modo a deixá-lo mais atraente para o professor e até mesmo para os alunos.*

**P<sub>5</sub>** - No espaço destinado aos comentários este professor apenas afirma que concorda com as ‘dúvidas’ colocadas nas ‘considerações sobre a proposta’ que foram apresentadas no final do texto, e que os comentários gerais já haviam sido feitos no decorrer das respostas anteriores. Contudo, algumas partes escritas

em perguntas anteriores serão explicitadas aqui, por serem muito pertinentes.

Para este professor os textos acadêmicos são, na maioria das vezes, ‘sóbrios e estanques’ e, por isso, se tornam pouco atrativos às pessoas que não vivem o meio da pesquisa, entre elas, os professores do nível médio. Neste sentido, sugere que se inclua no texto, figuras, gráficos históricos, hipertextos, notas e outros artifícios que instiguem uma leitura mais dinâmica e atraente. Ressalta que seu objetivo não é dizer que o texto é desinteressante, mas que em certos casos as pessoas acabam optando por leituras mais agradáveis, as quais muitas vezes ‘pecam pela fidelidade científica’. Afirma: *Parece uma incongruência, mas os pesquisadores produzem materiais de alta fidelidade científica que deixam de ser usados devido à sua apresentação.*

**P<sub>6</sub>** - Diz que questiona as soluções criativas apresentadas pelo texto, nas ‘considerações sobre a proposta’, para despertar o interesse do aluno. Segundo ele, *uma das poucas coisas interessantes que esse delicado assunto possa trazer para o aluno do Ensino Médio é a demonstração da evolução da ciência dentro de um contexto histórico.* Acrescenta que devido ao assunto se tratar de algo com pouca relação com o cotidiano do aluno, é mais difícil de se encontrar artifícios que tornem a aula ‘prazerosa’. Desta forma, afirma acreditar que o material seria mais ‘aplicável’ a estudantes universitários, uma vez que os do nível médio não teriam uma fundamentação teórica necessária para a compreensão do mesmo. Além disso, salienta que muitos estudantes de graduação não sabem qual o motivo que levou Bohr a formular seu modelo, nem ao menos em que contexto histórico ele foi elaborado.

**P<sub>7</sub>** - Declara que o texto serve para a ‘aplicação direta’ a classes do nível médio, no entanto, indica que pode haver necessidade de ‘flexionamentos’, conforme o perfil da turma que se estará trabalhando.

**P<sub>8</sub>** - Segundo este professor, o texto deixou a desejar em sugestões de como poderia ser aplicado no nível médio; em que momento deveria ser feita sua inserção. Questiona: a inclusão deve ser feita logo após o eletromagnetismo, que é onde tradicionalmente se inserem os temas de física moderna? Você sugeriria suprimir algum conteúdo de física clássica em detrimento deste? O modelo de Bohr deve ser tratado de uma maneira rigorosa em relação à matemática que contempla? Poderia se fazer uso de recursos didáticos visuais, como internet, ilustrações? Contudo, ressalta que não está propondo a elaboração de uma ‘receita de como fazer’, mas sim, que fossem dadas sugestões de como poderia ser feito. Para ele, isso seria um elemento motivador para os leitores.

**P<sub>9</sub>** - *Não tenho crítica nem sugestões, achei o texto muito bem elaborado.*

## 5. Considerações finais

Os Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio enfatizam que é essencial fazer com que o aluno compreenda a ciência como uma construção humana e entenda a maneira como esta se desenvolve. Nesse sentido, a apresentação dos conteúdos pelos livros didáticos e sua abordagem em sala de aula deve ensinar ao estudante uma visão adequada da natureza da ciência e da atividade científica.

*O átomo de Bohr sob o referencial lakatosiano: um texto para professores do Ensino Médio*, procura atuar nessa perspectiva. Contextualizando historicamente o modelo atômico de Bohr, à luz de um pressuposto metodológico que considera que o tratamento de tópicos de física moderna e contemporânea deve se dar em bases construtivistas [6, 37], e conferindo a ele uma abordagem didática a partir do estudo de Lakatos, o texto oferece ao professor de Física do Ensino Médio uma alternativa não empirista para o ensino deste segmento da física moderna.

A implementação do texto junto a uma amostra diferenciada de professores do Ensino Médio propiciou a sua avaliação rigorosa e competente, mostrando as potencialidades e limitações desse material instrucional. Assim, a insuficiência da concepção empírico-indutivista para a abordagem do átomo de Bohr, presente nos textos didáticos, em geral, foi amplamente compreendida e ressaltada pelos respondentes. Os modelos  $M_1$  e  $M_2$  de Bohr não foram considerados portadores de maiores dificuldades para o seu desenvolvimento em aula, mas a correção para a massa nuclear finita, em  $M_3$ , deve demandar certos cuidados, pois o produto vetorial não é uma operação familiar ao estudante. Já a contextualização histórica do tema suscitou críticas mais incisivas por parte de alguns professores, que mesmo concordando que os estudos de Planck sobre a radiação do corpo negro, o efeito fotoelétrico, as experiências e o modelo atômico de Rutherford e as séries de Balmer e Paschen são relevantes para o estudo do átomo de Bohr, consideraram insatisfatório o grau de aprofundamento destes conteúdos.

Um maior número de figuras e ilustrações, e talvez a ligação dos temas discutidos com sítios da Internet, poderiam tornar o texto ‘menos pesado’ (é quase um artigo científico, como ressalta um dos respondentes!), mais atraente/acessível tanto para o professor como para o próprio aluno. De qualquer modo, a transposição didática para a sala de aula é uma tarefa que o texto transfere ao professor. Nesse caso, como principal orientação metodológica, sugere-se que o processo ensino-aprendizagem ocorra dentro de um marco construtivista (historicamente). Isto é, que se priorize a abordagem histórica dos conceitos de modo a permitir ao estudante visualizar o processo de construção do conhecimento científico, seus momentos de ruptura, de afirmação, de ‘crise’, de reformulações. Portanto, uma

possível estratégia para o ensino do átomo de Bohr envolveria:

1. Estudar aspectos da física do final do século XIX e começo do século XX pertinentes ao tema, de modo a contextualizá-lo historicamente (o eletromagnetismo maxwelliano, as séries espectrais, o quantum de Planck, a explicação de Einstein do efeito fotoelétrico, o átomo de Rutherford);
2. Mostrar a insuficiência do modelo atômico de Rutherford para explicar a estabilidade do átomo.
3. Introduzir as hipóteses revolucionárias de Bohr - o núcleo duro da sua teoria.
4. Discutir a importância do diálogo entre teoria e experiência no desenvolvimento dos primeiros modelos da teoria de Bohr, à luz de Lakatos.
5. Examinar as limitações da concepção empírico-indutivista para lidar com o átomo de Bohr.
6. Confrontar o modelo atômico de Bohr com ‘novas’ evidências experimentais, como os efeitos Stark e Zeeman. Do ponto de vista da metodologia dos programas de investigação de Lakatos, evidenciam-se as primeiras incursões ao cinturão protetor do programa, com o recurso à relatividade e a novas técnicas matemáticas (no caso das órbitas elípticas, usadas por Sommerfeld para explicar o desdobramento das linhas espectrais do hidrogênio em presença de um campo magnético). Claramente, o crescimento teórico do programa se atrasa em relação ao seu crescimento empírico.

Em uma nova versão do texto, em desenvolvimento por um dos autores deste trabalho, o item 6 será objeto de uma discussão específica.

Apesar do amplo consenso relativo à inserção da física moderna e contemporânea no Ensino Médio, há ainda resistências, e elas apareceram nas considerações críticas dos componentes da amostra. O despreparo do professor para lidar com esses conteúdos (tanto em nível conceitual quanto epistemológico) é a principal delas, daí a importância de se ter professores habilitados e com uma boa formação inicial.

## Referências

- [1] W.M.S. Santos, N.F. Ferrara e F. Ostermann, in *Atas do IX Encontro de Pesquisa em Ensino de Física*, 2004, Jaboticatubas.
- [2] D. Bráz Júnior e R. Martins, *Física Moderna: Tópicos para o Ensino Médio* (Campinas, Companhia da Escola, 2002).
- [3] M.F. Rezende Jr. *Fenômenos e a Introdução da Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, 2001.
- [4] F. Ostermann, *Tópicos de Física Contemporânea em Escolas de Nível Médio e na Formação de Professores de Física*. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2000.
- [5] Brasil, Ministério da Educação, Secretaria de Educação Média e Tecnológica. *Parâmetros Curriculares Nacionais: Ensino Médio* (Ministério da Educação, Brasília, 1999).
- [6] E.A. Terrazzan, *Perspectivas para a Inserção da Física Moderna na Escola Média*. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, 1994.
- [7] F. Cabral e A. Lago, *Física 3* (São Paulo, Editora Harbra, 2002).
- [8] A. Gaspar, *Física 3* (São Paulo, Editora Ática, 2001).
- [9] J.B. Gualter, V.B. Newton e R.D. Helou *Tópicos de Física 3* (São Paulo, Saraiva, 2001).
- [10] C.M.A. Torres, *Física: Ciência e Tecnologia* (Ed. Moderna, São Paulo, 2001).
- [11] J.R. Bonjorno e C.M. Ramos, *Temas de Física 3* (São Paulo, FTD, 1997), v. 3.
- [12] Grupo de Reelaboração do Ensino de Física (GREF) *Física 2: Física Térmica/Óptica* (São Paulo, Editora da Universidade de São Paulo, 1998), 4ª ed.
- [13] A.C. Basso e L.O.Q. Peduzzi, in *Atas do XV Simpósio Nacional de Ensino de Física*, 2003, Curitiba.
- [14] A.C. Basso, *O Átomo de Bohr no Nível Médio: Uma Análise Sob o Referencial Lakatosiano*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, 2004.
- [15] L.O.Q. Peduzzi, *Tópicos de Física Moderna: Introdução à Mecânica Quântica*. Programa de Formação Continuada à Distância. Curso de Complementação para a Licenciatura em Física (Secretaria de Estado da Educação da Bahia, Ba, 2002).
- [16] I. Lakatos, *Falsificação e Metodologia dos Programas de Investigação Científica* (Lisboa, Edições 70, 1999).
- [17] A.C. Basso e L.O.Q. Peduzzi, in *Atas do IV Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências*, 2003, Bauru.
- [18] A. Gonçalves Filho e C. Toscano, *Física para o Ensino Médio Série Parâmetros* (São Paulo, Scipione, 2002).
- [19] J.B. Gualter e C.M. André, *Física* (São Paulo, Saraiva, São Paulo, 2002).
- [20] D.N.S. Paraná, *Física*. Série Novo Ensino Médio (Ática, São Paulo, 2002).
- [21] J.L. Sampaio e C.S. Calçada, *Universo da Física* (Atual, São Paulo, 2001), v. 3.
- [22] R.A. Bonjorno, J.R. Bonjorno, V. Bonjorno e C.M. Ramos, *Física Completa* (São Paulo, FTD, 2001).
- [23] M.J. Chiquetto, *Física*. Coleção Novos Tempos (São Paulo, Scipione, 2000).
- [24] A. Máximo and B. Alvarenga, *Curso de Física* (São Paulo, Scipione, 2000), v. 1, 2 e 3.
- [25] F. Ramalho, G.F. Nicolau e P.A. Toledo, *Os Fundamentos da Física* (Moderna, São Paulo, 1999), v. 3.

- [26] D.N.S. Paraná, *Física para o Ensino Médio* (Ática, São Paulo, 1999).
- [27] J.R. Bonjorno, R.A. Bonjorno, V. Bonjorno e C.M. Ramos, *Física Fundamental* (São Paulo, FTD, 1999).
- [28] G.F. Nicolau e P.A. Toledo, *Física Básica* (São Paulo, Atual, 1998).
- [29] C.S. Calçada e J.L. Sampaio, *Física Clássica* (São Paulo, Atual, 1998), 5 v.
- [30] A. Gonçalves e C. Toscano, *Física e Realidade* (São Paulo, Scipione, 1997), v. 1, 2 e 3.
- [31] I. Lakatos, in I. Lakatos e A. Musgrave, (orgs) *A Crítica e o Desenvolvimento do Conhecimento* (São Paulo, Cultrix, 1979).
- [32] I. Lakatos, *La Metodología de los Programas de Investigación Científica* (Madrid, Alianza, 1989).
- [33] M.F. Melgar, in N. Bohr, *La Teoría Atómica y la Descripción de la Naturaleza* (Prólogo) (Alianza Editorial, Madrid, 1988).
- [34] L. Rosenfeld, in N. Bohr, *Sobre a Constituição de Átomos e Moléculas* (Introdução) (Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, 1989).
- [35] N. Bohr, *Sobre a Constituição de Átomos e Moléculas* (Lisboa, Fundação Calouste Gulbenkian, 1989).
- [36] F.L. Silveira, *Caderno Catarinense de Ensino de Física* **13**, 184 (1996).
- [37] D.P. Gil e J. Solbes, *International Journal of Science Education* **15**, 255 (1993).