

QUESTÕES HISTÓRICAS DA EVOLUÇÃO DA FÍSICA MODERNA NOS LIVROS DIDÁTICOS DE FÍSICA DO PNLEM

HISTORICAL ISSUES OF THE DEVELOPMENT OF MODERN PHYSICS IN PNLEM PHYSICS TEXTBOOKS

LUCAS DOMINGUINI*

RESUMO

Com o avanço de novas tecnologias, o homem necessita cada vez mais de conhecimentos que reflitam a realidade a respeito das causalidades da Natureza. No caso da Física, é imprescindível que as novas gerações se apropriem dos conhecimentos oriundos da Física Moderna. Compreender as teorias dessa ciência é algo complexo que pode ser facilitado pela exploração das questões históricas de produção e evolução desses conhecimentos. Dessa forma, o presente trabalho analisa como os livros didáticos de Física do PNLEM apresentam as questões históricas de evolução da Física Moderna. Trata-se de uma pesquisa bibliográfica, que se utiliza da análise de conteúdo como ferramenta de pesquisa. Busca-se verificar como os autores das obras do PNLEM exploram as anomalias de uma teoria vigente para explicar o desenvolvimento e evolução dos conceitos físicos. Ao final, verifica-se que os autores exploram esse tópico de forma e intensidade diferentes. Isso ressalta o papel do professor no processo de seleção e escolha do livro didático, tendo em vista diferentes formas de abordagem das questões históricas de evolução do conhecimento físico por parte dos autores.

Palavras-chave: Física Moderna. História das ideias. Livro Didático. PNLEM.

ABSTRACT

With the advancement of new technologies man needs more knowledge to reason reality about the causality of nature. In the case of physics, it is essential for the new generations to understand the concepts of modern physics. This is a complex exercise that can be facilitated by exploring the historical issues of production and development of such knowledge. Thus, this paper analyzes how the PNLEM physics textbooks present the historical evolution of modern physics. This is a literature search that uses the content analysis as a research tool. It searches to see how the authors of these books explore the anomalies of a current theory to explain the development and evolution of physics concepts. At the end, it is concluded that the authors explore this topic in different shapes and intensity. This highlights the teacher's role in the selection process and choice of textbook considering the different ways of addressing the issues of historical evolution of physical knowledge.

Keywords: *Modern Physics. History of ideas. Textbook. PNLEM.*

* Mestre em Educação pelo Programa de Pós-graduação em Educação (PPGE) da Universidade do Extremo Sul Catarinense (Unesc). Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina (IF-SC). lucas.dominguini@ifsc.edu.br

A Física Moderna no Ensino Médio

Com os avanços dos conhecimentos, tecnologias e racionalidades a respeito da natureza, o homem, cada vez mais, necessita apropriar-se de novos conhecimentos. Só assim é possível aos seres humanos compreender a realidade, intervir sobre ela e transformá-la, participando da construção da sociedade.

No campo da Física, o ensino tão somente da Física clássica newtoniana, sem qualquer referência à Física Moderna, é insustentável. A Física Moderna representa um dos mais avançados conhecimentos em termos de complexidade da abordagem do real. Mas o que essa Física Moderna traz de novo? Essa nova visão da realidade física traz consigo uma mudança na forma de analisar a natureza e suas causalidades, além de reflexos nas questões epistemológicas de produção do conhecimento.

Em um discurso na Royal Society, em abril de 1900, William Thomson, o Lord Kelvin, afirmava que pairavam sobre o céu cristalino da Física apenas duas pequenas nuvens cinzentas. Dessas duas pequenas nuvens cinzentas surgiram a relatividade e a mecânica quântica, que deram um significado e revolucionaram a Física do século XX. Essa passagem da Física Clássica para a Física Moderna é realizada por meio de uma grande ruptura, iniciada por vários trabalhos¹ que reordenaram a ciência, deslocando o olhar do macro para o micro, iniciando os estudos a respeito do átomo.

Em 1900, Max Planck (1858-1947) introduziu na ciência o conceito de *quantum*², contrapondo o conceito de *continuidade* que a ciência tinha da natureza. A energia emitida por um corpo não é contínua, mas definida por quantidades mínimas e finitas, estabelecendo como central nesse debate a *descontinuidade*. Os estudos de Planck revelaram que a energia não era absorvida ou emitida de forma contínua, mas em múltiplos de uma quantidade mínima, o *quantum*. Schrödinger (1997) afirma que a descontinuidade das medidas foi a grande revolução realizada pela teoria quântica, ideia absurda do ponto de vista da mecânica newtoniana.

Nesse momento, a Física Moderna começa a se estruturar. Na sequência, podemos destacar a comprovação da existência do átomo com os estudos de Albert Einstein (1879-1955) a respeito do movimento browniano e a equivalência dos conceitos de massa e energia, que até então não se combinavam, em uma única teoria, a partir dos estudos sobre a relatividade. Sobre essa ruptura que deu uma nova roupagem à ciência física, Einstein e Infeld (2008, p. 166) destacam que:

A física clássica introduziu duas substâncias: matéria e energia. A primeira tinha peso, mas a segunda não. Na física clássica, tínhamos duas leis da conservação: uma para a matéria e outra para a energia. [...] De acordo com a teoria da relatividade, não há distinção essencial alguma entre massa e energia. Energia tem massa e massa representa energia. Em vez de duas leis da conservação, temos apenas uma, a de massa-energia.

¹ Destaca-se o efeito Zeeman, de Pieter Zeeman (1865-1943); os raios X, descobertos por Wilhelm Conrad Röntgen (1865-1923); a Radioatividade, estudado por Henri Becquerel (1852-1908) juntamente com o casal Pierre (1859-1906) e Marie S. Curie (1867-1934), a confirmação da existência do elétron, prognosticado por Faraday e confirmado por J. B. Perrin (1870-1942) e J. J. Thomson (1856-1940).

² Quantum significa, em latim, quantidade. No plural, quanta.

A Teoria da Relatividade surgiu de uma anomalia nos dados experimentais a cerca do campo elétrico, porém acabou atingindo todas as leis da física. Em velocidades próximas à velocidade da luz, em que ocorrem os fenômenos eletromagnéticos, as leis da mecânica clássica não são válidas. Na Física Clássica, o tempo é absoluto e igual para todos os observadores; na física relativista, o tempo de colisão ou movimento de qualquer partícula é diferente para cada observador. A partir da Teoria da Relatividade, não bastam três dimensões para identificar a posição de um objeto, mas quatro. O universo passa a ser quadridimensional³. A dilatação do tempo e a contração do comprimento em altas velocidades vêm contra os paradigmas newtonianos, estabelecendo uma nova ordem na Física.

Os estudos a respeito da estrutura atômica⁴, após a confirmação de sua existência por Einstein, fecundaram o desenvolvimento de um instrumental matemático denominado mecânica quântica que, segundo Chassot (2004, p. 233), “implicava uma revisão profunda do conceito de causalidade e determinismo em física”.

Werner Heisenberg (1901-1976) insere na física o modelo probabilístico e o Princípio da Incerteza. Esse princípio surge das tentativas teóricas de se determinar a órbita exata dos elétrons em um átomo. Na velocidade da luz, é impossível determinar com precisão a posição de

um objeto, “a razão disso é que se fosse possível manter um elétron imóvel tempo suficiente para que sua posição fosse determinada, já não seria possível determinar seu momento” (BRENNAN, 2003, p. 182). Não podemos prever um sistema isolado, uma partícula, um átomo. Somente é possível pensar em um agregado de sistemas idênticos.

Heisenberg et al. (2000) destacam que a ciência está entre o homem e a natureza e que a lei da natureza não poder ser completamente objetiva, pois o conceito de lei é puramente humano. Einstein e Infeld (2008, p. 236) assim denominam esse novo caráter da ciência:

A física quântica abandona as leis individuais das partículas elementares e enuncia *diretamente* as leis estatísticas que governam os agregados. É impossível, com base na física quântica, descrever posições e velocidades de uma partícula elementar ou prever sua trajetória futura como na física clássica. A física quântica lida apenas com agregados, e suas leis são para aglomerados e não para indivíduos (Grifo no original).

Todos esses acontecimentos, entre outros, produziram calorosos debates no campo da ciência⁵. Enquanto a Física Clássica descreve objetos em um tempo e espaço definidos, conceitos da Física Moderna, como dualidade partícula-onda, radiação, difração e emissão de linhas es-

³ Segundo Baptista (2006, p. 547), “Einstein mostrou o que é um evento físico – um ponto no espaço-tempo – que tem uma existência objetiva, sendo, portanto convenientemente descrito no tempo e no espaço dentro de uma realidade geométrica a quatro dimensões. Desta forma, como os fenômenos físicos são constituídos de eventos que se sucedem e se harmonizam no espaço-tempo, as leis básicas que descrevem o comportamento essencial das transformações da natureza devem, necessariamente, ser expressas em linguagem quadridimensional para que seu significado formal alcance sua maior generalidade”.

⁴ Destacamos aqui os trabalhos realizados por Ernest Rutherford (1871-1937), sobre a radiatividade e a transmutação dos elementos decorrentes das emissões radioativas que ajudaram a construir o primeiro modelo nuclear do átomo; por Niels Bohr (1885-1962) a respeito dos estados estacionários dos elétrons e a quantização dos mesmos, onde os elétrons se encontravam dispostos em níveis energéticos, os orbitais;

pectrais, não permitem uma visão presa em um espaço e tempo. Nesse caso, a Física Quântica passa a ter um caráter estatístico probabilístico. Segundo Rocha Ficho (2003, p. 34), “a ciência se viu obrigada a limitar a aplicabilidade das leis enunciadas por Newton, restringindo-as geralmente à descrição de fenômenos macroscópicos, lentos e contínuos quando comparados aos fenômenos atômicos”.

Heisenberg (1995), ao discutir o papel que a física moderna exerce sobre a evolução do pensamento humano, destaca o fato de a mesma ter penetrado em sociedades que apresentam tradições culturais e religiosas distintas, uma vez que o produto desse ramo da ciência, o conhecimento, expressa-se na engenharia, na medicina, na indústria e, portanto, traz retornos econômicos. O autor destaca que foi a investida da ciência nos mais recônditos domínios da natureza que permitiu aos engenheiros utilizarem-se de forças naturais que antes mal se conhecia e que obrigou ao desenvolvimento de uma matemática nova capaz de equacionar as leis que governam esse domínio, propiciando o desenvolvimento e a construção de toda uma nova tecnologia.

Sem dúvidas, esse avanço do conhecimento científico possibilitou o desenvolvimento tecnológico humano e alterou profundamente as condições de vida na Terra. Segundo Piza (2007, p. 202), em quase um século, a física moderna tornou-se “um ingrediente básico e ‘geral’ para a descrição física do mundo”. Para o autor, isso é evidenciado pelo fato de que, até

o presente momento, ela mantém-se “invicta às constantes confrontações com o mundo real, representado aqui pelo que pode ser efetivamente observado e medido”. Mesmo assim, ela não se tornou “amigável” devido ao fato de que as perguntas por ela respondidas não podem ser feitas a partir do senso comum ou de um ponto de vista clássico.

Compreender o atual avanço tecnológico e os caminhos pelo qual a ciência moderna trilha requer, entre outros fatores, a apropriação dos conceitos da física moderna. Como podemos discutir com nossos alunos o desenvolvimento das tecnologias nucleares, sejam elas para fins pacíficos como a produção de energia, ou armamentista, como no caso das bombas nucleares, se nossos conhecimentos não abrangem essa área? Defendemos a inserção desse ramo da ciência no Ensino Médio como uma nova forma de pensar, em primeiro lugar, a realidade natural em que vivemos e, em segundo lugar, de perceber que a realidade social é produto das ações humanas e passíveis de transformações.

A proposta Curricular de Santa Catarina (1998) destaca que muitos se opõem ao ensino da Física Moderna no Ensino Médio, ao mesmo tempo em que a Química utiliza-se de elementos quânticos para explicar as regularidades nos “saltos” dos elétrons e no comportamento dos elementos químicos, do qual resulta a atual configuração da tabela periódica. Mesmo considerando a fragilidade dos conhecimentos a respeito da Física Clássica pelos alunos

por Louis de Broglie (1892-1986) nos estudos sobre a dualidade do comportamento dos elétrons (dualidade partícula-onda); por Erwin Schrödinger (1887-1961) no desenvolvimento da mecânica quântica que permitiu descrever matematicamente os diferentes orbitais; e por Werner Heisenberg (1901-1976) ao inserir o modelo probabilístico e o Princípio da Incerteza.

⁵ Talvez nenhum tenha tido tanta importância ou destaque quanto o realizado no Instituto Internacional de Solvay, em Bruxelas, no ano de 1927. Nesta conferência, estavam presentes 29 dos maiores nomes da ciência moderna, sendo que destes 17 possuíam ou receberiam o Prêmio Nobel.

da educação básica, é necessário inseri-los no mundo quântico. É fundamental que estes tomem conhecimento de teoria e conhecimentos mais modernos.

Heisenberg (1995, p. 28) afirma que a melhor maneira de se compreender a física moderna é “através de uma descrição histórica do desenvolvimento da teoria quântica”. Ele afirma que esse é um pequeno universo de toda a ciência moderna, mas expressa ainda que “foi na teoria quântica que ocorreram as mudanças fundamentais no que diz respeito ao conceito de realidade e é mais nessa teoria, em sua forma final, que as novas ideias da física atômica estão concentradas e cristalizadas”.

Um livro que pretenda abordar a física moderna não pode deixar de apresentar a forma histórica como esses conhecimentos foram elaborados, nem deixar de mencionar a física quântica, que se expressa de maneira mais ostensiva no que diz respeito ao estudo da estrutura atômica (modelos atômicos, radioatividade, mecânica quântica). Não deve deixar de abordar também a relatividade, pois é a partir dela que espaço e tempo deixam de ser grandezas constantes na natureza.

METODOLOGIA

A presente pesquisa visa analisar como são abordadas as questões históricas relacionadas à evolução da Física Moderna nos livros didáticos de Física do Programa Nacional do Livro do Ensino Médio (PNLEM). Dessa forma, o universo da pesquisa deste texto são as seguintes obras: Luz e Álvares (2005), Gonçalves Filho e Toscano (2007), Gaspar (2005), Penteado e Torres (2005) e Sampaio e Calçada (2005).

Tal análise é realizada por meio das propos-

tas de ensino contidas no Catálogo do PNLEM (BRASIL, 2008), no Manual do Professor, anexo ao livro didático destinado ao professor e no próprio livro texto do aluno. Trata-se de uma pesquisa bibliográfica que utiliza a metodologia de análise de conteúdo como ferramenta de extração de informações da fonte (BARDIN, 1995). Foram elaboradas como categorias de análise referências relacionadas às biografias dos cientistas envolvidos no desenvolvimento dos conceitos da Física Moderna, bem como a presença da história das ideias, ou seja, a descrição das anomalias que levaram a superação do conceito anterior em favor de um novo conhecimento.

Questões Históricas da Evolução das Teorias da Física Moderna nos Livros Didáticos no PNLEM

Passamos agora a analisar as questões históricas abordadas pelos autores que se relacionam à passagem da Física Clássica à Física Moderna. Apresentar a história das ideias ajuda a esclarecer sob quais condições ocorre a produção do conhecimento. É importante situarmos nos conteúdos de Física Moderna dos livros didáticos a forma de abordagem das informações relacionadas às lacunas de uma teoria vigente, as anomalias que levaram ao seu declínio, o surgimento de uma nova teoria emergente no interior da comunidade científica, as rupturas provocadas por esta e as consequências das novas ideias. Trata-se, portanto, da evolução histórica de modelos teóricos e práticos da ciência.

Para o componente curricular de física, o PNLEM disponibilizou seis livros didáticos: Gaspar (2005a), Gonçalves Filho; Toscano (2007a), Luz; Álvares (2005a, 2005b, 2005c), Penteado; Torres (2005a, 2005b, 2005c),

Sampaio; Calçada (2005a, 2005b, 2005c, 2005d). Dentre esses livros, o professor escolhe com qual deseja trabalhar.

Antes de iniciarmos a análise, faz-se necessário destacar que os autores Sampaio e Calçada apresentam dois livros: um deles em volume único e outro distribuído em três volumes destinados um para cada ano do Ensino Médio. Em uma pré-análise, identificamos que se trata da mesma obra, com a mesma forma de abordagem do conhecimento e mesmo enfoque pedagógico, mesmos exemplos e contextualizações. Não há necessidade de se fazer os estudos em ambos os livros, pois os resultados seriam os mesmos. Assim, optamos por descartar o livro em três volumes e permanecer em nossa análise com o livro em volume único (SAMPAIO; CALÇADA, 2005a). A opção pelo volume único foi realizada tendo em vista que os professores, geralmente, optam por obras em volume único, com a justificativa de que facilita a continuidade do conteúdo de um ano para outro. Passemos agora a análise efetiva dos livros didáticos de Física do PNLEM, no que se refere à presença da história da evolução das ideias científicas.

Gaspar (2005a) “História do desenvolvimento e evolução dos conceitos”

Segundo o *Catálogo* do PNLEM (BRASIL, 2008, p. 50), o livro de Gaspar (2005a) se manifesta de forma explícita sobre a necessidade da valorização da História e da Filosofia da Ciência, e observa que “a estrutura do livro do aluno só permite parcialmente esse tipo de desenvolvimento”. No *Manual do Professor*, Gaspar (2005b, p. 16) ressalta que a história das ciências e da matemática

é fundamental porque seu “aprendizado transcende a relação social, pois ilustra também o desenvolvimento e a evolução dos conceitos a serem aprendidos”.

Na estrutura do livro, a história de algumas ideias, bem como aplicações tecnológicas, relações com o cotidiano e a gramática da física são apresentadas ao longo do texto. Porém, nos casos onde o autor compreende haver a necessidade de um complemento isto é feito com caixa de texto inserida ao longo dos capítulos. No capítulo sobre a Física Moderna, há uma caixa de texto em que menciona a história da radiação térmica, na qual o autor apresenta alguns personagens e alguns fatores que impulsionaram os estudos sobre as racionalidades presentes nesse fenômeno natural. O autor não referencia a biografia dos cientistas ao longo do texto, apenas cita datas de nascimento, morte e nacionalidade. Na introdução ao capítulo, o autor apresenta a ruptura causada pela ascendência da Física Moderna. Evidencia que a Física atual é muito mais do que a ciência das alavancas e roldanas, dos movimentos uniformes e acelerados, das escalas termométricas e das faíscas. Gaspar (2005a, p. 519) alerta para o novo caráter da Física Moderna e das rupturas por ela produzida.

Desde que novas e revolucionárias ideias surgiram no fim do século XIX e início do século XX, a física sofreu alterações conceituais profundas, que modificaram toda a sua descrição da natureza, no micro ao macrocosmo. [...] Não se tratou apenas de adotar novas leis e novos princípios, mas principalmente de abandonar a quase certeza de uma compreensão global, absoluta, da natureza, que parecia estar muito próxima, pela quase certeza de que essa compreensão nunca poderá ser conseguida.

No que se refere à história da evolução da Física, ela é contada ao longo do texto. Ao explicar a evolução dos modelos atômicos, o autor relata historicamente desde a consolidação da ideia de átomo, passando pelos modelos atômicos de Nagaoka, Thomson, Rutherford, os postulados de Bohr, os trabalhos de Sommerfeld, Pauli, de Broglie, Heisenberg e Chadwich até o mundo dos *quarks*. Ele descreve os fenômenos, as experiências, as ideias até a formulação das teorias.

Por exemplo, da passagem do modelo atômico do “*pudding de passas*” de Thomson⁶ para o de Rutherford, o autor destaca que nenhuma base experimental fundamentava satisfatoriamente o modelo de Thomson. Rutherford, com o intuito de obter dados experimentais para consolidação de um modelo atômico, utilizou-se da recém descoberta das substâncias radioativas. Ao descrever todo o experimento de Rutherford, no qual bombardeou uma fina lâmina de ouro com partículas alfas⁷, bem como as conclusões oriundas desse experimento, Gaspar (2005a) explora a historicidade da ciência. Ao finalizar de descrever o modelo atômico nuclear de Rutherford⁸, ele menciona que “cada avanço da física traz novas indagações” (GASPAR, 2005a, p. 527), isso porque segundo a Física Clássica se o elétron estivesse sob a ação de uma força centrípeta, este aceleraria e espiralaria até atingir o núcleo, tornando a ideia de Rutherford incoerente. Nisso o autor introduz os postulados

de Bohr⁹, demonstrando o uso das lacunas de uma teoria para explicar o surgimento da próxima, explorando a dinamicidade da ciência.

Na introdução da obra, a ciência física é destacada com uma construção humana, elaborada, modificada e aprimorada ao longo da história humana.

Estas reformulações ocorrem sempre que a própria comunidade científica se mostra insatisfeita com as leis e as teorias que a física estabelece para explicar determinados fenômenos, quando essas leis e teorias falham em suas previsões ou não preveem os fatos como são observados experimentalmente (GASPAR, 2005a, p. 13).

Nesse momento, ocorrem as rupturas e as revoluções científicas. Como exemplos de rupturas ocorridas com os trabalhos de Einstein sobre a Teoria da Relatividade Gaspar (2005a, p. 524) apresenta no texto os seguintes tópicos:

A simultaneidade não existe. O tempo não transcorre da mesma maneira em referenciais inerciais com velocidades diferentes. O comprimento parece reduzir-se na direção do movimento. A massa dos corpos tende ao infinito quando a velocidade tende à velocidade da luz. A velocidade da luz é a velocidade-limite do Universo para corpos com massa (corpos sem massa, como os fótons, têm sempre a velocidade da luz).

⁶ Modelo Atômico que descreve o átomo como sendo uma esfera maciça, positiva, de massa uniformemente distribuída, na qual estavam inseridos, de forma incrustada, os elétrons.

⁷ Emissões radioativas oriundas de reações nucleares ou decaimentos radioativos. Trata-se de um íon de carga 2+, com dois nêutrons e dois prótons.

⁸ Modelo Atômico que concebe o átomo como sendo formado por um núcleo, maciço e positivo, no qual se encontram os prótons e por uma eletrosfera, na qual giram os elétrons, de carga elétrica negativa.

⁹ Segundo a Teoria de Bohr, é necessário existir órbitas específicas, com níveis energéticos definidos na qual o elétron permanece sem emitir ou absorver energia. Ao absorver um quantum definido de energia, os elétrons transitam de um nível energético menor para um nível energético maior. Ao retornar ao seu nível inicial de energia, o elétron emite o quantum de energia absorvido na forma de um fóton.

O texto de Gaspar (2005a), portanto, adota a postura de situar na história os acontecimentos da física, bem como apresenta elementos de sua historicidade e das características que levaram a produção de tais conhecimentos ao longo da história.

Gonçalves Filho e Toscano (2007a) “Ciência como construção humana”

Segundo o *Catálogo* do PNLEM, o livro didático de Gonçalves Filho e Toscano (2007a) aborda a produção do conhecimento científico de forma integrada à História da Ciência. A Física é apresentada como *Uma Ciência em Transformação*, o que “possibilita a discussão do caráter provisório do conhecimento científico” (BRASIL, 2008, p. 54). Segundo o *Manual do Professor*,

O texto dessa obra busca reforçar a visão de ciência *como uma construção humana*, abarcando um conjunto de paradigmas, que orientam a elaboração das teorias físicas. Estas, por sua vez, estão sempre sujeitas a contestações em virtude do aparecimento de novos fatos e de outras formas de entendimento.

Algumas vezes, procuramos apontar, ainda que de forma breve, as relações entre os conceitos físicos e o contexto histórico e social que lhes serviu de orientação no processo de sua elaboração.

Existe também um (in)tenso diálogo entre os cientistas, seja para complementar ou aperfeiçoar um paradigma, seja para discutir pontos divergentes durante a construção de um novo paradigma [...] (GONÇALVES FILHO; TOSCANO, 2007b, p. 5) (grifo do original).

Na estrutura do livro, por exemplo, no capítulo sobre *Máquinas Térmicas*, os autores ressaltam que, no início do século XVIII, com a quase extinção das florestas

na Inglaterra, a lenha precisou ser substituída pelo carvão mineral. Porém, para retirar o carvão das minas inglesas, era necessário antes bombear as águas que inundavam as galerias. Manualmente, este trabalho era pesado e rotineiro, o que levou algumas pessoas a buscar uma forma alternativa para realizar essa atividade, levando à construção da máquina a vapor. Essa invenção originária do campo prático e tecnológico utilizou conhecimentos oriundos da Física para sua construção e impulsionou “uma grande transformação social, econômica e tecnológica, historicamente chamada de primeira revolução industrial” (GONÇALVES FILHO; TOSCANO, 2007a, p. 181). Isso reflète a articulação entre a ciência e o desenvolvimento da sociedade, demonstrando como o surgimento de uma necessidade social fomenta o desenvolvimento científico-tecnológico e este, por sua vez, promove o desenvolvimento social.

Nos textos que tratam de assuntos relativos à Física Moderna, nem sempre isso ocorre. Ao citar a equação $E=mc^2$, os autores apenas apresentam que esta unificou as leis de Conservação da Massa e a lei da Conservação da Energia em um único postulado. Porém, não há menção ao contexto histórico que propiciou o desenvolvimento dessa teoria. Apenas menciona uma de suas aplicações, a bomba atômica que explodiu em Hiroshima (Japão).

No capítulo sobre luz, os autores demonstram o caminho histórico dos debates e discussões dos cientistas sobre a dualidade onda-partícula. Inicialmente, apresentam os fatores que levaram Isaac Newton a propor um modelo corpuscular da luz capaz de explicar os fenômenos luminosos

até então conhecidos (reflexão e refração, por exemplo). Na sequência, menciona os trabalhos de Christiann Huygens e Thomas Young que levaram à discussão sobre a natureza da luz. Apresentam o experimento de duas fendas¹⁰ para demonstrar a existência de interferências construtivas e destrutivas resultantes da sobreposição das ondas luminosas. Mencionam, em um texto complementar, os estudos de Einstein, sobre o efeito fotoelétrico, e de Bohr, sobre o átomo, demonstrando o comportamento dual da luz. Ao final do capítulo, os autores se perguntam se a luz é onda ou partícula. Ao perfazerem todo esse caminho torna-se evidente que os autores descrevem a história da ciência como uma sucessão de fatos, porém não há historicidade nela.

Luz e Álvares (2005) “Aspecto pouco explorado com tratamento algumas vezes superficial”

Segundo as informações do *Catálogo* do PNLEM, o livro de Luz e Álvares (2005c) utiliza elementos da História e Filosofia da ciência em todos os capítulos, em textos específicos. Apesar dos autores reconhecerem a importância da abordagem histórica, “esse aspecto é pouco explorado em função de um tratamento algumas vezes superficial [...], deixam de apresentar os contextos de produção do conhecimento científico em suas dimensões política, econômica, social e cultural” (BRASIL, 2008, p. 36).

Essa abordagem de elementos da história e filosofia mencionados pelo *Catálogo* é refe-

rente ao quadro denominado *Tópico Especial*. Este aparece ao final de cada capítulo. Segundo Luz e Álvares (2005d, p. 8), essa extensão “complementa ou amplia o texto propriamente dito, ora desenvolvendo aspectos históricos, ora apresentando aspectos mais modernos relacionados com o capítulo, ou ainda mostrando aplicações curiosas da Física”.

Os autores sugerem a leitura em conjunto, na sala de aula, com objetivo de realizar debates sobre o texto. Mesmo sendo locados no final de cada capítulo, os autores compreendem que

Os assuntos abordados nesse item devem ser considerados como parte integrante do capítulo, e acreditamos que sua omissão empobrecerá consideravelmente a visão que o aluno deveria adquirir do conteúdo abordado. Portanto, recomendamos que o *Tópico Especial* seja estudado pelos alunos e devidamente valorizado pelos professores, que não deverão deixar de incluí-los nas avaliações (LUZ; ÁLVARES, 2005d, p. 9).

Considerando que muitos desses textos apresentam conteúdo de Física Moderna, isso contradiz o que os autores informaram anteriormente a respeito da inserção da mesma no Ensino Médio.

Nesses textos ou nas caixas de texto ao longo dos capítulos estão menções sobre a biografia de alguns físicos que contribuíram para construção de uma determinada teoria. Ao descrever, por exemplo, o ciclotron, os autores mencionam a biografia do brasileiro César Lattes (1924-2005):

¹⁰ O Experimento de Duas Fendas ou Experimento da Dupla Fenda foi realizado por Thomas Young (1773-1829) e consiste em deixar passar um feixe de luz visível através de duas fendas. Ao atravessar, a luz se difrata e produz bandas em um écran. Essas bandas mostram regiões claras e escuras que correspondem as interferências construtivas e destrutivas das ondas luminosas, evidenciando a natureza ondulatória da luz.

Nascido em Curitiba, o físico brasileiro César Lattes estudou na Universidade de São Paulo. Iniciou-se em trabalhos de pesquisa no campo da Física de Partículas com o físico italiano Occhialini, que, nesta época, lecionava na universidade. Transferindo-se para Bristol, nos Estados Unidos, juntamente com Occhialini e o físico inglês Powell, e examinando chapas fotográficas que ele havia exposto à ação dos raios cósmicos nos Andes bolivianos, Lattes verificou a existência do méson π . Em 1948, obteve a produção artificial destas partículas trabalhando no sincrocíclotron do Lawrence Laboratory da Universidade de Berkeley. Foi um dos fundadores do Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas, no Rio de Janeiro; já lecionou em diversas universidades brasileiras e foi um dos grandes incentivadores do desenvolvimento científico em nosso país (LUZ; ÁLVARES, 2005c, p. 231).

Mas não é só dessa forma que a história da ciência é retratada no livro. Nas caixas de texto intituladas *Um Tópico Especial*, que Luz e Álvares (2005d) ressaltam como parte integrante do capítulo, as questões relacionadas à história da ciência são abordadas de forma histórica. Como exemplo, os autores destacam em um desses tópicos especiais a *Descoberta do Elétron*. Para tal, perfazem um caminho que se inicia com a descoberta dos raios catódicos, por Crookes, em 1875, e discorrem sobre os debates em torno dos resultados obtidos até os experimentos de Thomson que confirmaram que os raios catódicos eram partículas carregadas negativamente. Mesmo assim, os autores continuam até a definição da carga e da massa do elétron e ainda debatem sobre a importância desses estudos para o início da Física Moderna.

No capítulo específico sobre a Física Moderna, os autores mencionam a todo momento os textos distribuídos ao longo do livro didáti-

co. Porém, o texto parece desarticulado com a Física Clássica. Não há um elo que reúna informações para o leitor entender os fatos e acontecimentos que levaram a Física Clássica a ser suplantada pela Física Moderna. As informações que existem estão dispersas e não permitem ao leitor compreender a ruptura causada no início do Século XX.

Penteado e Torres (2005) “Valorizar a história das Ciências na evolução humana”

No que diz respeito à construção do conhecimento científico, o *Catálogo* do PNLEM apresenta como pontos fortes da obra de Penteado e Torres (2005a, 2005b, 2005c) a articulação dos conteúdos com a História e a Filosofia da Ciência. Porém, o mesmo alerta que na unidade de Física Moderna os autores exploram as rupturas no desenvolvimento histórico da ciência e apresentam os modelos científicos de forma correta, mas não dão ênfase necessária às distinções entre modelo e realidade.

O *Manual do Professor* ressalta que o livro apresenta o papel da ciência nas transformações sociais em momentos importantes da história. Além disso, os autores explicitam que é necessário “valorizar a história das Ciências na evolução humana”. (PENTEADO; TORRES, 2005d, p. 7)

Como exemplo, vamos relatar a unidade sobre Física Moderna. Ao tratar do tema Relatividade Especial, Penteado e Torres (2005c, p. 183) recorrem primeiramente a um histórico que levou à construção dessa teoria. Começam com Galileu, onde retratam que “ele introduziu o conceito de *referencial inercial*, em relação aos quais os *corpos livres da ação de forças* estão

em repouso ou realizam movimento reto com velocidade de módulo constante” (grifo no original). Na sequência, há toda uma explanação sobre os conceitos galileanos de tempo e espaço. Dando continuidade ao texto, os autores demonstram o pensamento de Newton sobre movimento.

Na relatividade newtoniana, a massa e a aceleração da partícula independem do sistema de referência inercial adotado. [...] Portanto, as leis de Newton são idênticas para todos os referenciais inerciais. Nenhum sistema inercial é preferido a qualquer outro. Não há um sistema de referência absoluto (PENTEADO; TORRES, 2005c, p. 184).

Os autores destacam que até meados do século XIX a relatividade newtoniana adaptava-se perfeitamente aos fenômenos físicos. Porém, isso não foi mais possível a partir dos estudos de Maxwell em que, ao passar de um referencial inercial para outro, as suas equações forneciam dados conflitantes para um mesmo fenômeno. Antes de chegar às conclusões de Einstein, Penteado e Torres (2005c) ainda destacam a experiência de Michelson-Morley¹¹ e os trabalhos dos matemáticos Poincaré e Lorentz envolvendo coordenadas espaço-temporais de um mesmo evento, observados a partir de referenciais inerciais distintos, que se tornaram a base matemática dos trabalhos de Einstein. Somente após toda essa discussão histórica de mais de dois séculos, relatadas em pouco mais de sete páginas, os autores mencionam o trabalho de Einstein.

Essa mesma metodologia de apresentação

histórica do conteúdo é observada no capítulo sobre Física Quântica e Física Nuclear. Isso deixa clara a importância que os autores dão para a história das ideias e das teorias resultantes, bem como das anomalias que levaram ao seu declínio e superação por outro paradigma.

Sampaio e Calçada (2005) “Apresentados em textos sintéticos”

O livro de Sampaio e Calçada (2005a) apresenta os aspectos históricos na forma de caixa de texto ou como introdução a um conteúdo. Segundo o *Catálogo*,

O tratamento dado à História da Ciência, integrada à construção dos conceitos desenvolvidos, evita resumi-la a biografias de cientistas ou descobertas isoladas. Apesar de serem apresentados textos sintéticos, a questão central é o conhecimento e seu desenvolvimento, e não apenas acontecimentos datados. Em alguns capítulos, o tema é iniciado por uma apresentação na perspectiva histórica (BRASIL, 2008, p. 43).

Como uma das competências e habilidades que se espera produzir no aluno com o Ensino da Física está a capacidade de “reconhecer a Física como construção humana, aspectos de sua história e relações com o contexto cultural, social, político e econômico” (SAMPAIO; CALÇADA, 2005e, p. 8). Com base nesse princípio, os autores estruturaram a obra didática em várias seções de leitura, onde está abarcada a história

¹¹ A Experiência de Michelson-Morley, realizada em 1887 por Albert Michelson (1852-1931) e Edward Morley (1838-1923), consiste em um aparelho denominado interferômetro na qual os cientistas dividiram um raio de luz branca em duas partes. Um propagava-se na mesma direção do movimento da Terra e outro perpendicular ao primeiro. Esse experimento comprovou a inexistência do éter, pois se este existisse, a luz deveria ser arrastada por ele e percorrer os caminhos em intervalos de tempo diferentes. Nenhuma diferença foi observada o que permitiu concluir que a luz se propagava independente do meio.

da Física. As seções de História e Tecnologia são abordadas de forma integrada às aplicações, com ênfase na contextualização.

Folheando os capítulos do livro referentes à Física Moderna, não encontramos nenhuma caixa de texto denominada *História*. Folheando os demais capítulos, encontramos a referida caixa de texto, porém de forma muito esporádica. Como exemplo, no Capítulo 51, sobre *Potencial Elétrico*, onde os autores apresentam uma breve biografia de Alessandro Volta:

Alessandro Giuseppe Antonio Anastásio Volta nasceu na cidade italiana de Como, no ano de 1745, e faleceu em 1827. Interessou-se pela Física e publicou em 1769, com apenas 24 anos, seu primeiro livro *Da força magnética, do fogo elétrico e dos fenômenos daí dependentes*. Sua maior contribuição à Física foi a invenção da pilha elétrica.

O *Catálogo* do PNLEM informa que os autores não apresentam a *História* com a ênfase esperada. Na introdução a Física Moderna, Sampaio e Calçada (2005a, p. 390) assim apresentam o contexto vivido naquele momento histórico:

No final do século XIX, muitos físicos famosos acreditavam que a tarefa da Física tinha terminado, que nada mais havia para descobrir. Restavam, é verdade, alguns “pequenos” problemas, que mencionaremos ao longo deste e dos próximos capítulos. Contudo, segundo eles, bastaria apenas um pouco de empenho para resolvê-los. Com o passar do tempo, porém, perceberam que esses problemas não eram tão pequenos quanto pensavam; por isso, só puderam ser resolvidos com a criação de duas novas teorias: a *Teoria da Relatividade* e a *Mecânica Quântica*. Essas teorias revolucionaram a Física no início do século XX e ajudaram a conhe-

cer muito da estrutura da matéria. Muitas partículas elementares foram descobertas, e com isso foi possível formular hipóteses sobre a origem do Universo. A Física desenvolvida a partir do século XX passou a ser chamada de *Física Moderna*, enquanto a Física desenvolvida anteriormente ficou conhecida pelo nome de *Física Clássica*. (grifo no original)

Apesar de, na sequência, informar que será realizado alguns comentários sobre as leis da mecânica clássica antes de entrar no conteúdo sobre Relatividade, isso se opera de maneira muito simples e resumida. Os autores simplesmente relembram o que é referencial e algumas informações sobre inércia. Por fim, relatam o que é um referencial inercial e partem imediatamente para a Relatividade. No tópico intitulado *Origem da Teoria da Relatividade*, Sampaio e Calçada (2005a, p. 391) assim retratam a origem dessa teoria:

A *Teoria da Relatividade* foi criada pelo físico alemão Albert Einstein (1879-1955) em duas etapas: em 1905 ele publicou um trabalho que mais tarde ficou conhecido pelo nome de *Teoria da Relatividade Especial*, que trata do movimento uniforme; e, em 1915, publicou a *Teoria da Relatividade Geral*, que trata do movimento acelerado e da gravitação.

Mesmo relatando que antes de passar diretamente à Teoria da Relatividade é necessário considerar os fatores que levaram Einstein a essa “criação”, os autores não mencionam o debate interno à ciência, nem mesmo mencionam o nome de qualquer outro cientista que tenha colaborado ou discordado com esse pensamento. Segundo o *Manual do Professor*, os autores não incorporaram os experimentos de Michelson-Morley porque há dúvidas se Eins-

tein tinha conhecimento ou não sobre esse experimento. Sampaio e Calçada (2005e, p. 15) ressaltam que Einstein “partiu de reflexões sobre o comportamento da luz e da falta de simetria do Eletromagnetismo”. Porém, no texto isso se torna vago. Para o leitor, fica a impressão que a Teoria da Relatividade foi um momento de grande inspiração de Einstein, com o que concordamos, porém é necessário mencionar os conhecimentos anteriores que alicerçaram essa teoria. Evidencia-se, aqui, que os autores relatam o contexto histórico de forma sintética, sem valorizar a evolução dos modelos ou ideias científicas.

Para concluir: amarrando as ideias históricas

Se verificarmos a forma de apresentação das questões históricas da evolução das ideias da Física Moderna, percebemos formas distintas de abordagem. Enquanto Gaspar (2005a), Gonçalves Filho e Toscano (2007a) e Penteadó e Torres (2005a, 2005b, 2005c) valorizam não somente a historicidade, mas também o fato da ciência ser um produto da atividade humana, um produto social, por sua vez Luz e Álvares (2005a, 2005b, 2005c) e Sampaio e Calçada (2005a) apresentam a história da ciência de forma fragmentada, em textos sintéticos. Com isso perde-se ao não apresentar a continuidade da ciência, suas anomalias e rupturas. O quadro abaixo nos permite uma visão comparativa dos autores.

No que se refere às biografias dos cientistas, destacamos o livro de Luz e Álvares (2005a, 2005b, 2005c) que apresenta, além das datas de nascimento e morte, a formação acadêmica, o local onde desenvolveu suas pesquisas, os estudos relevantes, premiações e títulos conquistados.

A imagem do cientista também é um fator importante. É por ela que muitos alunos reconhecem as personalidades mais importantes do mundo acadêmico. Todos os autores exploram esse recurso. Entretanto, um estudo do contexto histórico não significa simplesmente o estudo de biografias de grandes cientistas, mas de todo processo de produção, engendrados em determinado momento político, econômico e social do ser humano. É compreender todo o contexto histórico social que o envolve. Não é possível compreender a Física Moderna sem retroceder historicamente ao passado, ao encontro dos homens cujas ideias auxiliaram no desenvolvimento do pensamento científico.

Nesse contexto, concorda-se aqui com Pietrocola (1993, p. 8), quando afirma que assumir o conhecimento da Física como a-histórico, é negar “qualquer tentativa de inseri-lo dentro de um contexto de construção, onde a estrutura atualmente aceita das teorias seja o fruto de um processo lento de maturação e adequação aos fenômenos naturais estudados”. Assim, a abordagem histórica deve apresentar a história das ideias e não a história dos homens, pois somente ela é capaz de nos esclarecer as reais condições de produção do conhecimento.

Nesse sentido, é relevante compreender a forma como é exposta a história da evolução das ideias científicas no momento de seleção do livro didático. Não basta apenas analisar imagens, quadros ou analogias. A leitura do texto e a compreensão de como são publicadas as ideias é fundamental para que o aluno compreenda que a Física é uma ciência dinâmica e passível de transformação.

Quadro 01 – A História da Ciência nos livros didáticos de Física do PNLEM.

LIVRO	BIOGRAFIAS		HISTÓRIA DAS IDEIAS	
	O que aparece?	Como aparece?	O que aparece?	Como aparece?
GASPAR (2005a)	Apenas menção as datas de nascimento e morte.	No próprio texto.	Anomalias nas teorias vigentes, momentos de ruptura, história do desenvolvimento e evolução dos conceitos.	No texto.
GONÇALVES FILHO; TOSCANO, (2007a)	Apenas menção as datas de nascimento e morte, algumas imagens dos cientistas.	No próprio texto.	Ciência como construção histórica e humana. Contexto histórico e social e diálogo entre os cientistas.	No texto ou em leituras complementares.
LUZ; ÁLVARES, (2005a, 2005b, 2005c)	Formação acadêmica, local de atuação, principais estudos realizados, local de trabalho, prêmios e títulos, imagem do cientista.	Em caixas de texto específicas.	Aspecto explorado com baixa intensidade. Sem elos entre as anomalias vigentes e as novas teorias. Informações dispersas.	Em leituras complementares
PENTEADO; TORRES, (2005a, 2005b, 2005c)	Menção a formação acadêmica, datas de nascimento e morte, imagem do cientista.	No próprio texto.	Histórias da evolução das teorias, menção as anomalias, experimentos, momento de ruptura.	No texto.
SAMPAIO; CALÇADA, (2005a)	Apenas menção as datas de nascimento e morte, trabalhos desenvolvidos e raras imagens.	No próprio texto ou em caixas de texto específicas.	Pouca valorização dos modelos e ideias, pequena introdução histórica.	Nos textos, em forma sintética.

REFERÊNCIAS

BAPTISTA, José Plínio. Os princípios fundamentais ao longo da história da física. **Revisita Brasileira de Ensino de Física**, v. 28, n. 4, p. 541-553, 2006.

BARDIN, Laurence. **Análise de Conteúdo**. Lisboa: Edições 70, 1995.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Básica, Fundo Nacional do Desenvolvimento da Educação. **Física**: catálogo do Programa Nacional do Livro do Ensino

Médio – PNLEM 2009. Brasília: MEC, 2008.

BRENNAN, Richard P. **Gigantes da física**: uma história da física moderna em oito biografias. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Ed. 2003.

CHASSOT, Attico. **A ciência através dos tempos**. 2. ed. São Paulo: Moderna, 2004.

EINSTEIN, Albert; INFELD, Leopold. **A evolução da física**. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Ed., 2008.
GASPAR, Alberto. **Física**. 1. ed. v. único. São Paulo: Editora Ática, 2005a.

- _____. Física: manual do professor. In: _____, **Física**. 1. ed. v. único. Livro do Professor. São Paulo: Editora Ática, 2005b.
- GONÇALVES FILHO, Aurélio; TOSCANO, Carlos. **Física**. 1. ed. v. único. São Paulo: Editora Scipione, 2007a.
- _____. Assessoria pedagógica. In: _____. **Física**. 1. ed. v. único. Livro do Professor. São Paulo: Editora Scipione, 2007b.
- HEISENBERG, Werner. **Física e filosofia**. 3. ed. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 1995.
- HEISENBERG, Werner; et al. **Problemas da física moderna**. São Paulo: Perspectiva, 2000.
- LUZ, Antônio Máximo Ribeiro da; ÁLVARES, Beatriz Alvarenga. **Física**. 1. ed. v. 1. São Paulo: Editora Scipione, 2005a.
- _____. **Física**. 1. ed. v. 2. São Paulo: Editora Scipione, 2005b.
- _____. **Física**. 1. ed. v. 3. São Paulo: Editora Scipione, 2005c.
- _____. Assessoria pedagógica. In: _____. **Física**. 1. ed. v. 3. São Paulo: Editora Scipione, 2005d.
- PENTEADO, Paulo Cesar; TORRES, Carlos Magno. **Física – ciência e tecnologia**. 1. ed. v. 1. São Paulo: Moderna, 2005a.
- _____. **Física – ciência e tecnologia**. 1. ed. v. 2. São Paulo: Moderna, 2005b.
- _____. **Física – ciência e tecnologia**. 1. ed. v. 3. São Paulo: Moderna, 2005c.
- _____. Suplemento para o professor. In: _____. **Física – ciência e tecnologia**. 1. ed. v. 3. São Paulo: Moderna, 2005d.
- PIETROCOLA, M. **A história e a epistemologia no ensino de física: aspectos individual e coletivo na construção do conhecimento científico**, 1993. (Mimeo).
- PIZA, Antônio F. R. de Toledo. **Schrödinger & Heisenberg: a física além do senso comum**. 2. ed. São Paulo: Odysseus Editora, 2007.
- ROCHA FILHO, João Bernardes da. **Física e psicologia: as fronteiras do conhecimento científico aproximando a física e a psicologia junguiana**. 2. ed. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2003.
- SAMPAIO, José Luiz Pereira; CALÇADA, Sérgio Vasques. **Universo da física**. 2. ed. v. único. São Paulo: Saraiva, 2005a.
- _____. **Física**. 2. ed. v. 1. São Paulo: Editora Saraiva, 2005b.
- _____. **Física**. 2. ed. v. 2. São Paulo: Editora Saraiva, 2005c.
- _____. **Física**. 2. ed. v. 3. São Paulo: Editora Saraiva, 2005d.
- _____. Manual do Professor. In: _____. **Física**. 2. ed. v. único. São Paulo: Editora Saraiva, 2005e.

SANTA CATARINA. Secretaria de Estado da Educação e do Desporto. **Proposta curricular de Santa Catarina:** educação infantil, ensino fundamental e médio. Disciplinas curriculares. Florianópolis: COGEN, 1998.

SCHRÖDINGER, Erwin. **O que é a vida?** Aspectos físicos da célula viva. São Paulo: Fundação Editora da UNESP, 1997.

RECEBIDO EM: 12/01/2011.

APROVADO EM: 23/10/2011.