

A equação de Torricelli e o estudo do movimento retilíneo uniformemente variado (MRUV)

(*Torricelli's equation and the study of uniformly variable rectilinear motion (UVRM)*)

Marcos Antonio Rodrigues Macêdo¹

Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco, Recife, PE, Brasil
Recebido em 8/10/2009; Aceito em 23/2/2010; Publicado em 28/2/2011

Em primeiro lugar, este trabalho realiza uma tarefa de recuperar o papel histórico de Evangelista Torricelli, a fim de mostrar a sua importância para o estudo do movimento retilíneo uniformemente variado, mas também analisa a maneira de como a equação $v^2 = v_0^2 + 2a\Delta s$ é mostrada aos alunos do ensino médio no estudo deste movimento através de livros didáticos e do comportamento dos professores nesse sentido. Por último, mostra como a história da física pode contribuir para dar um sentido significativo para o estudo de determinados conceitos científicos.

Palavras-chave: equação de Torricelli, Torricelli, MRUV, história da física.

Firstly, this work undertakes a task of retrieving the historical role of Evangelista Torricelli in order to show his importance for the study of the uniformly variable rectilinear motion; it also analyzes the way of how the equation $v^2 = v_0^2 + 2a\Delta s$ is shown to high school pupils in the study of this motion through course books and the behavior of the teachers towards it. Lastly, it shows how the history of physics may contribute to give a meaningful sense to the study of certain scientific concepts.

Keywords: Torricelli's equation, Torricelli, UVRM, history of physics.

1. Introdução

Em conversas informais, o movimento retilíneo uniformemente variado (MRUV), tem sido apontado pelos professores de física do Ensino Médio como um dos conteúdos que os alunos encontram um maior grau de dificuldade durante seus estudos. A excessiva matematização dos movimentos segundo Matthews [1] sem uma discussão dos conceitos; a forma e o contexto histórico em que os mesmos são construídos numa aprendizagem completamente mecânica sem nenhuma ancoragem, têm contribuído para isso.

Dias [2] e Peduzzi [3] falam que o estudo da física no Ensino Médio se transformou numa disciplina de matemática aplicada. Esse conhecimento pronto, segundo especialistas como Laranjeiras [4], tem contribuído para que as aulas de cinemática, por exemplo, resumam-se apenas ao uso de fórmulas, equações e gráficos, que são apresentados aos alunos muitas vezes sem significado, induzindo-os à memorização e à repetição, numa aprendizagem mecânica. Segundo Kuhn (*apud* Ref. [3]), uma das características mais importantes da educação científica é a transmissão dos conhecimentos baseada quase que exclusivamente em livros didáticos escritos para os alunos.

Assim, na preparação das aulas, o livro didático se torna a fonte mais utilizada de pesquisa de que o professor dispõe. Da mesma forma, esses, são também as principais fontes de obtenção do conhecimento científico utilizadas pelos alunos e a falta da formação continuada ou lacunas na graduação do professor pode levá-lo a ser apenas um repassador daquilo que se encontra no texto. Falta a ele a base filosófica, histórica e sociológica para justificar como aquele conceito foi construído [5].

Como exemplo, podemos citar a forma como a equação $v^2 = v_0^2 + 2a\Delta s$, batizada de equação de Torricelli é apresentada e utilizada no estudo do MRUV.

Neste trabalho, iremos proporcionar um resgate histórico a respeito de Torricelli, seu teorema e sua importância para o estudo dos movimentos dos projéteis; verificar se os livros didáticos (os mais utilizados no Ensino Médio, de acordo com as editoras) estão de acordo com os Parâmetros Curriculares Nacionais quando falam na necessidade de desenvolver certas competências ao final da educação básica, dentre elas na **investigação e compreensão**:

- Compreender o conhecimento científico e o tecnológico como resultados de uma construção humana, inseridos em um processo histórico e social.

¹E-mail: marcosarmacedo@yahoo.com.br.

2. Resgate histórico

Evangelista Torricelli (1608-1647) desde criança demonstrava ter talentos incomuns. Dessa forma, seu pai o entregou aos cuidados do tio Jacopo, para cuidar de sua educação. Entre 1625 e 1626 estuda matemática e filosofia na escola jesuíta em Faenza. Devido ao seu desempenho, seu tio o envia para Roma para estudar com Benedetto Castelli (amigo de Galileu). Foi tão promissor que Castelli o convida para ser seu secretário particular como escreve Fox [6].

Conforme Parizotto [7], como secretário, uma de suas funções era cuidar e responder as correspondências de Castelli. Numa delas, de 11 de setembro de 1632, endereçada a Galileu, Torricelli aproveita a oportunidade e se apresenta como matemático, acrescentando que leu as obras dos grandes geômetras gregos Apolônio, Arquimedes, Teodósio e Ptolomeu e praticamente tudo a respeito de Brahe, Kepler, Longomontanus e do próprio Galileu através estudos feitos sobre o *Diálogo Sobre os dois Principais Sistemas*, convencendo-se da teoria heliocêntrica de Copérnico.

Depois desse período, entre 1632 e 1641, pouco se sabe sobre o que fez Torricelli. A hipótese mais aceita é que se tornou secretário do monsenhor Giovanni Ciampoli. Em 1641, estando em Roma, pediu a Castelli uma opinião sobre um tratado a respeito do movimento, que ampliava as idéias sobre o lançamento de projéteis que Galileu tinha descrito nos *Discorsi e Dimostrazioni Matematiche Intorno a due Nuove Scienze*, na terceira jornada.

Castelli ficou maravilhado, tanto que em 2 de março de 1641 escreve a Galileu comunicando que brevemente estaria passando por Florença e que se dirigiria à vila de Arcetri para visitar o amigo, levando consigo um manuscrito de um discípulo seu. Em abril de 1641 entregou o manuscrito a Galileu e propôs que ele aceitasse Torricelli como seu assistente para ajudá-lo, inclusive no aumento de duas jornadas nos *Discorsi* (idéia de Galileu). Galileu leu o trabalho de Torricelli e o aceitou como assistente.

A vinda de Torricelli para Arcetri aconteceu alguns meses depois, basicamente por dois motivos: Castelli demorou a retornar para Roma e o falecimento da mãe de Torricelli. Em 10 de outubro de 1641, Torricelli chega à vila de Arcetri para se juntar a Galileu e a Vincenzo Viviani, seu outro assistente. Durou apenas três meses o convívio entre eles. Após a morte de Galileu, em janeiro de 1642, Torricelli é nomeado para ocupar a cátedra de matemática em seu lugar, permanecendo em Florença até sua morte em 1647.

3. *Opera Geometrica* - o teorema de Torricelli

Em 1644 publica a obra *Opera Geometrica* composta por três partes, sendo que a segunda contém o *De*

Motu Graviorum Naturaliter Descendentium e Projectorum, onde ele relata as novas idéias a respeito dos movimentos dos projéteis estudados por Galileu. Neste segundo livro ou parte, Torricelli apresenta idéias interessantes que serão utilizadas na cinemática, tais como:

- No estudo dos movimentos parabólicos dos projéteis se a força que acelera o corpo cessar em algum ponto da trajetória, o projétil se moverá numa direção tangente à trajetória;
- Num gráfico da distância em função do tempo, a tangente do ângulo horizontal em qualquer ponto da trajetória mede a velocidade instantânea do corpo;
- Parece demonstrar o princípio de Galileu que pesos possuem, tanto em queda livre quanto através de um plano inclinado de mesma altura de queda, a mesma velocidade imediatamente antes de tocar o solo.

Mas a questão que chamamos atenção é que estudando o movimento da água, Torricelli tenta determinar a velocidade de saída de um jato d'água jorrando de um pequeno orifício do recipiente. Nos seus experimentos, verificou que se o jato fosse direcionado para cima, ele alcançaria uma altura menor que o nível do líquido no recipiente. Isso acontecia, segundo ele, devido às resistências ao movimento. Sem elas, o jato alcançaria a mesma altura. Portanto, em Parizotto [7] dessa hipótese, ele deduz o teorema que leva seu nome: a "velocidade de efluxo de um jato é igual a que uma única gota do líquido teria de pudesse cair livremente no vácuo do nível acima do líquido em relação ao orifício do efluxo".

Em O'Connor [8] entendemos que Torricelli aponta que o fenômeno de queda livre de uma gota do líquido se assemelha ao efluxo de um jato. Portanto a proporcionalidade entre velocidade de efluxo e a raiz quadrada altura do nível do líquido em relação ao orifício, pode ser estendida para a medição da velocidade de um corpo em queda livre. Ai está a verdadeira origem da "equação de Torricelli".

4. Análise do livro didático e o comportamento dos professores

Os livros textos são e continuarão sendo um recurso didático importante para o aluno e para o professor. A forma como ele apresenta o conteúdo a ser estudado, numa seqüência lógica e organizada, considerando os aspectos mais importantes e relevantes dos tópicos a serem estudados, contribui para sua importância no processo da aprendizagem. Dessa forma, ele passa a ser uma relevante fonte de consulta tanto para o aluno, que deseja encontrar ali justificativas para suas indagações, quanto para o professor, que dele se apropria como base para o planejamento na elaboração das suas aulas.

A equação de Torricelli tem sido apresentada nesses livros como sendo uma “saída” para a resolução de problemas de MRUV onde o instante t não aparece como um dos dados do problema. Ela é deduzida da manipulação das equações horárias da posição e da velocidade. Nenhuma discussão geométrica ou histórica sequer é citada como forma de justificar a sua aparição. Essa afirmação pode nos levar a crer, e também aos alunos, que a equação de Torricelli foi exclusivamente deduzida para solucionar esses tipos de problemas, quando na verdade ela indicou uma semelhança entre dos fenômenos.

Mais grave ainda é a transferência dessas idéias para a sala de aula pelos professores. Na informalidade, conversamos com alguns professores de física do Ensino Médio, tanto da escola pública quanto da rede privada e verificamos que os mestres estão apenas repetindo aquilo que encontram nos livros didáticos.

5. A história da física como estratégia educacional

Do ponto de vista histórico e filosófico, é importante destacar para o nosso aluno que a ciência, na elaboração dos seus conceitos e na explicação dos fenômenos, é e sempre será um exercício de construção permanente. A respeito disso, Chassot ([9], p. 274) diz que “procurar olhar a presença da história no nosso fazer educação, ou mesmo contemplar a Ciência em geral, vai nos mostrar que esta não se desenvolve/desenvolve pela acumulação e descobertas individuais”, destacando também que a história da ciência pode mostrar que “não existe uma verdade imutável, mas sim algumas verdades que são transitórias e que, inclusive, de tempos em tempos se modificam”.

Outra faceta importante sobre o uso da história da ciência é a contribuição que nós, professores, poderemos ter quando compreendermos melhor as dificuldades apresentadas por nossos alunos. A história da ciência nos mostra, muitas vezes, como foi difícil estabelecer um determinado conceito; quantos anos cientistas e mais cientistas deles se ocuparam até que uma explicação plausível pudesse ser aceita.

Já Dias [2] quer utilizar a história da ciência na clarificação dos conceitos, isto é, contando-se como o conceito foi criado. Assim, a história da ciência tem condições de dizer o porquê e as questões para as quais os conceitos foram introduzidos, revelando sua função e seu significado. Diz mais, que a história “desvenda a lógica da construção conceitual”. Em suas palavras:

A história é o foro, onde a análise conceitual pode ser feita; ela permite rever conceitos, criticá-los, recupera significados e os entende à luz de novas descobertas... Ela é o instrumento de formação dos pensadores ([2], p.226).

Acreditando que essa estratégia pode diminuir a exagerada matematização no seu estudo, proporcionando assim uma aprendizagem mais significativa, principalmente quanto ao uso das equações utilizadas para descrevê-lo, reconhecendo a física como construção coletiva, aspectos da sua história e suas relações com o cotidiano, Macêdo [5] desenvolveu na dissertação de mestrado uma pesquisa sobre a utilização da história da física como estratégia educacional. Aplicado um pré-teste em relação ao estudo do MRUV na questão 13 sobre a origem da equação de Torricelli obtivemos a Tabela 1.

Tabela 1 - Resultados da questão 13 - Muitos livros didáticos dizem que a equação de Torricelli é indicada para solucionar problemas de MUV onde não dispomos da grandeza tempo. Você pode dizer qual a origem desta equação?

Categorias	Nº de respostas	%
Dedução de torricelli a partir de outras equações	15	44,1
Outros	2	5,9
Em branco	17	50,0
Total	34	100,0

Observando o resultado obtido vemos que numa turma de 34 alunos nenhum aluno respondeu corretamente a origem da equação de Torricelli. Metade da turma não respondeu a questão e 44,1% repete aquilo que os livros didáticos e os professores repassam.

Após a intervenção utilizando a história da física numa aula de MRUV pudemos notar a diferença nas respostas obtidas, que mostramos na Fig. 1

Observamos que nesta turma apenas 24 alunos estavam presentes, mas mesmo assim, 22 deram a resposta correta e apenas 2 continuaram com a resposta anterior.

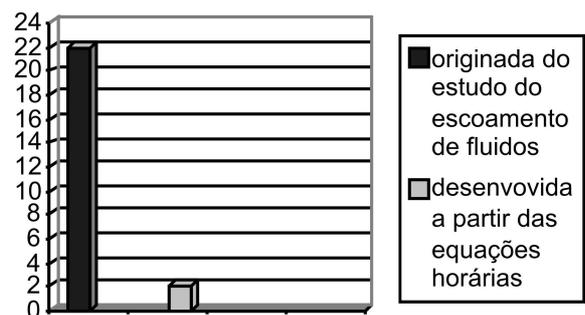


Figura 1 - Gráfico das respostas da questão 13 - Muitos livros didáticos dizem que a equação de Torricelli é indicada para solucionar problemas de MRUV onde não dispomos da grandeza tempo. Você pode dizer qual a origem desta equação?

6. Os livros didáticos de física e os Parâmetros Curriculares Nacionais

De acordo com os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN) [10], o ensino de física deve contribuir para a

formação de uma cultura científica. Portanto, é essencial que os conhecimentos sejam explicitados como um processo evolutivo histórico, que se transforma a partir das necessidades do momento por que passa a sociedade, associando-se a outras formas de expressão e produção humana (interdisciplinaridade). Nisso a história, a geografia, a matemática, a química e outras ciências podem nos ajudar a conhecer a visão que os homens possuem a respeito de qualquer fenômeno, em qualquer tempo. Isso faz que possamos entender melhor como se dá a construção de um conceito e que fatores sociais, econômicos, políticos e religiosos foram e serão influenciadores e determinantes na construção da ciência. Dessa forma, o ensino de física que apresenta leis, conceitos e fórmulas distanciados do mundo em que vivem os alunos e professores (contextualização) é vazio de significados.

7. Conclusão

É fato que o ensino de física, hoje, tem privilegiado muito mais o algebrismo do que a parte conceitual no estudo dos fenômenos. A pouca ênfase no conceitual em detrimento da utilização da álgebra na física, tem levado os alunos a apresentarem grandes dificuldades quando são avaliados em situações que fogem dos modelos de questionamentos a que estão acostumados na sala de aula. Afinal muitos acham que saber física significa simplesmente decorar fórmulas e resolver problemas utilizando as mesmas.

Na análise dos livros didáticos, verificamos que, em todos eles, a apresentação da equação de Torricelli é feita de forma semelhante, sempre utilizando como estratégia o uso das equações horárias da cinemática, e em nenhum momento é feita alguma citação sobre sua participação no estudo do MRUV. Raramente encontramos autores que sugerem que a equação leva esse nome em homenagem a Torricelli. Por esse motivo devemos estar prontos para responder perguntas do tipo: Por que em homenagem a Torricelli? Qual sua contribuição ao MRUV para receber essa homenagem? e os livros não deixam isso claro.

Vimos também que essa simplificação para o uso da equação de Torricelli, tem sido levada para a sala de aula pelos professores, e isso pode distorcer a verdade dos fatos. A ausência de citações da história da construção do conhecimento dos movimentos pode levar os alunos a interpretarem de forma errada a verdade. O fato da equação de Torricelli poder ser demonstrada através das equações da cinemática vem confirmar os trabalhos de Galileu e de Torricelli como pai da hidrodinâmica, destacando sua importância para o estudo do MRUV.

Mesmo quando timidamente encontramos alguma citação histórica em alguns livros didáticos, muitas elas serviram apenas para nos situar no tempo histórico e quando foi usada para justificar algum fato relevante a

compreensão da equação, a informação não encontrava sustentação nos registros históricos. Dessa forma, observamos que ainda hoje, muitos livros didáticos ainda não estão de acordo com as recomendações dos PCN, principalmente quando sugerem o uso da história da construção do conhecimento humano no estudo dos conteúdos de física.

Dessa forma entendemos que o uso da história da física pode ser uma estratégia de grande valor, não só para dar sentido a construção conteúdo ministrado, como também propiciar ao professor uma reciclagem e atualização para ter uma melhor condição no preparo de suas aulas.

Assim, Carvalho [11] diz que a história da ciência pode ajudar a nós professores a compreender e transmitir de maneira mais significativa o conhecimento. Afinal, o professor deve conhecer os grandes paradigmas da ciência e discutí-los na sala de aula, se quisermos operar uma mudança conceitual.

O uso da história da física no estudo desse movimento não é imperativo, nem queremos substituir a matematização do movimento, até necessária, mas que nós professores não a desprezemos, pelo contrário, ela, a história, será uma grande aliada auxiliando o processo de ensino-aprendizagem, provocando discussões, levando o aluno ao questionamento e a reflexão, proporcionando uma aprendizagem significativa.

Livros didáticos de física analisados

Editora	Título
Moderna	* <i>Os Fundamentos da Física</i> - v. 1 - Ramalho, Nicolau e Toledo * <i>As Faces da Física</i> - v. único - Wilson Carron e Osvaldo Guimarães
Saraiva	* <i>Tópicos de Física</i> - v. 1 - Helou, Gualter e Doca * <i>Os Alicerces da Física</i> - v. 1 - Kazuhito, Fuke, Carlos
Ática	* <i>Física</i> - v. 1 - Alberto Gaspar
Scipione	* <i>Curso de Física</i> - v. 1 - Máximo e Alvarenga
FTD	* <i>Temas da Física</i> - v. 1 - Bonjorno e Clinton
Atual	* <i>O Universo da Física</i> - v. 1 - Sampaio e Calçada

Referências

- [1] M.R. Matthews, Caderno Catarinense de Ensino de Física **12**, 164 (1995).
- [2] P.M.C. Dias, Revista Brasileira de Ensino de Física **23**, 226 (2001).
- [3] L.O.Q. Peduzzi, in: *Ensino de Física: Conteúdo, Metodologia e Epistemologia Numa Concepção Integradora*, organizado por M. Pietrocola (Editora UFSC, Florianópolis, 2001), 236 p.
- [4] C.C. Laranjeiras, *Redimensionando o Ensino de Física Numa Perspectiva Histórica*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, 1994.
- [5] M.A.R. Macêdo *A Utilização da História da Física como Estratégia Educacional no Estudo do Movi-*

- mento Retilíneo Uniformemente Variado*. Dissertação de mestrado, UFRPE, Recife. 2003.
- [6] W. Fox, in: *The Catholic Encyclopedia*, v. XIV. Disponível em <http://www.newadvent.org/cathen/14784a.htm>. Acesso em 15/7/2006.
- [7] C.E.A. Parizotto, *Evangelista Torricelli*. Disponível em <http://www.fem.unicamp.br/~em313/paginas/person/torricel.htm>. Acesso em 15/7/2006.
- [8] J.J. O'Connor e E.F. Robertson *Evangelista Torricelli*. Disponível em <http://www.history.mcs.st-and.ac.uk/history/Biographies/Torricelli.html>. Acesso em 15/7/2006.
- [9] A. Chassot *Alfabetização Científica: Questões e Desafios para a Educação* (Ed. Unijui, Ijuí, 2001), 440 p.
- [10] Brasil, *Parâmetros Curriculares Nacionais - Ensino Médio* (Ministério da Educação, Brasília, 1999), 364 p.
- [11] A.M.P. de Carvalho, *Revista em Aberto* **11**, 55 (1992).