

ESTUDO DO PÊNDULO SIMPLES: A REPRODUÇÃO DE EXPERIMENTOS HISTÓRICOS COMO SUBSÍDIO PARA O ENSINO DE FÍSICA

LARA CARDOSO NUNES DA SILVA¹; ALEX LINO²

¹ Graduanda em Licenciatura em Física, IFSP, Câmpus Caraguatatuba, laracardosonunesdasilva@gmail.com

² Doutor em Ensino de Física e docente do Curso de Licenciatura em Física, IFSP, Câmpus de Caraguatatuba, alex.lino@ifsp.edu.br

RESUMO: O projeto pretende investigar as contribuições educacionais de uma abordagem baseada na História da Ciência e na experimentação envolvendo conceitos científicos da área da Física, como o Movimento Harmônico simples, especificamente as ideias concernentes ao estudo do pêndulo simples, destacando as propostas originalmente apresentadas por Galileu Galilei, Christiaan Huygens e Isaac Newton sobre a determinação de período do movimento pendular. Galileu propôs que o período de um pêndulo simples é independente de sua amplitude. Huygens mostrou que a ideia de Galileu seria válida somente para pêndulo em trajetória cicloidal. Além de fazer o estudo do pêndulo em meios que oferecem resistência, Newton propôs que se construirmos um pêndulo com comprimento igual a metade do comprimento de uma coluna de água em um tubo em forma de “U”, os dois sistemas terão o mesmo período de oscilação, ou seja, a água vai subir e descer no tubo com a mesma rapidez do pêndulo simples. Dessa forma, pretendemos construir estes três diferentes pêndulos mostrando a contribuição que cada um deu ao estudo do fenômeno e aplicá-los para estudantes de Ensino Médio em uma aula de movimento harmônico sob uma perspectiva histórica. Esperamos contribuir expressivamente com o despertar do interesse dos alunos para a construção de novos conhecimentos científicos e para a compreensão de conceitos sobre este tipo de movimento periódico, trazendo o caráter empírico e o desenvolvimento histórico como subsídios para o ensino de Física.

Palavras-Chave: História da Ciência; Ensino de Física; Pêndulo Simples; Movimento Harmônico Simples

INTRODUÇÃO

A negação do valor do método histórico no Ensino de Ciências se fundamenta quase sempre sob as seguintes perguntas retóricas: *por que perder tempo ensinando teorias falsas aos estudantes? Por que devemos falar de uma teoria precedente se ela não é mais válida?* A resposta a essas perguntas talvez possa ser encontrada refletindo sobre qual seria a validade da História e Filosofia da Ciência (HFC) nestes casos.

Uma das validades da HFC para o Ensino de Ciências que poderíamos citar seria a sua contribuição à formação das pessoas, o que pode ser uma garantia da modificação da visão falsa de ciência devido a uma visão a-histórica. Mas qual seria essa visão falsa de ciência? Primeiramente, o ensino de ciências, sem o enfoque histórico, pode fazer com que o estudante não perceba que o conceito ou conhecimento científico que está estudando tenha passado por um processo de desenvolvimento. Isso pode gerar uma visão de que a ciência é uma verdade absoluta e imutável ou algo acabado. Os cientistas enfrentaram e enfrentam muitas dificuldades para garantir uma explicação mais adequada dos fenômenos da natureza. E estas explicações não garantem uma verdade absoluta: estas ainda podem sofrer modificações.

A visão de ciência como verdade absoluta não estimula em nada a formação de um cidadão crítico, pois, desta forma, não existe espaço para dúvidas sobre os produtos da ciência. Então, por que se questionar, se o produto foi gerado por uma ciência que não comete erros?

O uso didático da HFC no ensino pode fazer com que os alunos alcancem melhor compreensão dos aspectos mais gerais e, as vezes, particulares da ciência e ainda pode ajudar a desenvolver a metacognição, aumentando a capacidade de compreender sobre os processos de pensamento a partir do envolvimento do aluno em debates históricos, como por exemplo um embate entre teorias rivais (DAMASIO, PEDUZZI, 2017).

Ainda segundo Damasio e Peduzzi (2017), as justificativas mais recorrentes que encontramos nas dissertações e teses sobre o uso didático da HFC no Ensino de Ciências são as possibilidades de:

- aumentar a predisposição em aprender;
- ajudar na compreensão dos conceitos de ciências;
- desenvolver o senso crítico e reflexivo do aluno;
- se discutir a natureza da ciência e mostrá-la como uma construção humana.

No entanto devemos estar atentos sempre ao uso inadequado da concepção histórica e filosófica no ensino de ciências, pois frequentemente, essa se reduz a uma mera caricatura dos cientistas e em um amontoado de fatos com o objetivo de fazer com que os alunos memorizem todos os argumentos envolvidos, como por exemplo, datas e nomes de cientistas.

A intenção maior da abordagem histórica e filosófica, que defendemos aqui, é a sua contribuição para a construção de uma visão mais ampla a respeito das questões envolvidas no desenvolvimento histórico de determinados conhecimentos científicos. Uma abordagem que auxilie e instigue a racionalização do aprendiz no conceito em estudo, considerando fatores sociais, políticos e culturais envolvidos na elaboração de uma teoria, ou até mesmo na disputa entre elas.

Com isso, o estudo da história e filosofia da ciência contribuiria para evitar a crença generalizada do mito dos “grandes gênios” como Galileu, Darwin, Lavoisier ou Einstein que teriam descoberto a verdade através de um método científico infalível, corrigindo o erro dos ignorantes de épocas anteriores e a visão de que o conhecimento é um produto acabado e que não resta mais nenhum problema significativo a resolver (SILVA, 2006, p. 10).

Ainda segundo Silva (2006) as abordagens contextuais têm sido propostas com o intuito de modificar os currículos de ciências, em todos os níveis de ensino, propondo que elas possam contribuir principalmente para: (1) humanizar as ciências, conectando-as com preocupações pessoais, éticas, culturais e políticas; (2) tornar as aulas de ciências mais desafiadoras e estimular o desenvolvimento de habilidades de raciocínio e pensamento crítico; (3) promover uma compreensão mais profunda e adequada dos próprios conteúdos científicos.

As Orientações Nacionais para o Ensino Médio também apresentam clara defesa quanto ao uso de abordagens educacionais relacionados à História da Ciência fundamentados na produção de conhecimento. Deve-se dar um tratamento apropriado da história da ciência para contextualizar um problema, mostrando aos alunos como se originou e as teorias geradas na tentativa de solucioná-lo, com o objetivo maior de ressaltar ao aluno que houve um caminho percorrido para se chegar a este conhecimento (BRASIL, 2006).

Acreditamos que fazer os estudantes participarem das discussões históricas, que sejam oportunamente simplificadas (mas não deturpadas), estimulando-os a imaginarem quais “conselhos” teriam concedido aos grandes cientistas do passado, serviria para aumentar o grau de consciência das noções físicas, dando-lhes, ao mesmo tempo, a experiência, preciosíssima, de como nasce uma hipótese científica e de quão pouco a pesquisa científica possa ser descrita em termos de “racionalidade instantânea”. Para os estudantes é muito útil entrar em contato com a dimensão da *controvérsia* na pesquisa científica, pois isso lhes prepara para confrontar com maior consciência as temáticas atuais, em vários campos científicos, sobre qual o consenso dos cientistas é ainda incerto e precário.

Tendo em vista as preocupações iniciais apresentadas, forneceremos, por meio deste trabalho, um exemplo de discussão histórica que pode ser realizada no ensino de ciências a partir da construção e aplicação de um experimento proposto por Isaac Newton, em 1686, sobre o período de um pêndulo simples. Pretendemos verificar se a abordagem possibilitará o envolvimento dos

estudantes em relação ao estudo do movimento harmônico simples e a aprendizagem de conceitos concernentes à este tema.

EXCERTOS HISTÓRICOS SOBRE O DESENVOLVIMENTO DAS IDEIAS DO MOVIMENTO PENDULAR

Galileu Galilei (1564 – 1642), um dos principais nomes associado ao rompimento do equilíbrio entre a filosofia especulativa, a matemática e a evidência experimental no estudo dos fenômenos físicos, principalmente ao estudo das propriedades do movimento, foi um dos pioneiros a tentar matematizar o problema do movimento pendular que trataremos aqui. A maioria de seus biógrafos dizem que seu interesse pelo fenômeno se iniciou enquanto observava o movimento dos candelabros da catedral de Pisa. Galileu ficou intrigado com a evidência de que os períodos de oscilação eram os mesmos, não importando a amplitude de movimento.

Os primeiros registros sobre o assunto datam do final do ano de 1602, quando em cartas trocadas com Guidobaldo del Monte escreveu sobre o movimento de pêndulos e a descida de corpos ao longo de arcos e cordas de círculos. Nesta carta, datada de 29 de novembro de 1602, tentou convencer Guidobaldo de que o movimento pendular não depende da amplitude.

Por meio de dois pêndulos de comprimentos iguais, AB e EF, mostra que se os mesmos forem soltos de amplitudes diferentes, terão períodos iguais de movimento.

Os deixo no mesmo momento de tempo se moverem livremente, o primeiro começa a descrever um grande arco, similar a BCD, e o outro descreve um pequeno, similar a FIG, mas não consome mais tempo o móvel B ao descrever todo o arco BCD, que se faça o móvel F ao percorrer o arco FIG. Assim estou muito seguro que: o corpo B passa pelo grande arco BCD e retorna pelo mesmo DCB, e depois retorna até D, e vai por 500 e 1000 vezes reiterando as suas reciprocidades; o outro, igualmente, vai de F a G, e de lá retorna para F, e igualmente fará muitas reciprocidades; e no tempo que eu enumero, pela graça da palavra, as cem primeiras grandes reciprocidades BCD, DCB, etc., um outro observador enumera cem outras reciprocidades para FIG muito pequenas, e não as enumera nem sequer uma a mais: assinalo evidente que cada particular desses grandíssimos BCD consome tanto tempo, quanto cada um dos mínimos particulares FIG. Ou se todo o BCD é realizado em tanto tempo quanto o FIG, ainda as suas metades, que são as quedas para os arcos desiguais do mesmo quarto, serão feitos em tempos iguais. Mas ainda, sem estar por enumerar outro, Vossa Senhoria verá que o móvel F não fará a sua pequena reciprocidade com mais frequência que o B na sua grande [trajetória], mas sempre se movimentarão juntos (GALILEI, 1900, p. 98 – 99; tradução nossa).

Sem dúvida um grande passo no estudo dos pêndulos, principalmente para sua principal aplicabilidade como mensurador do tempo, utilizado em observações astronômicas e algumas vezes ligados a algum tipo de mecanismo de contagem. O tautocronismo do movimento pendular defendido por Galileu possibilitou ainda o desenvolvimento dos relógios, que em sua época eram corrigidos e regulados por balancins, cujos períodos dependiam da força motora dos relógios e, por isso, não eram tão precisos e confiáveis.

Algum tempo depois da ideia de Galileu, durante os anos de 1656 e 1657, Christiaan Huygens desenvolveu a ideia de utilizar as propriedades do movimento do pêndulo como regulador do mecanismo dos relógios. A necessidade de relógios mais precisos era justificada, principalmente, para melhorar as localizações durante as navegações, para se encontrar a longitude no mar. Huygens era holandês, e em um país náutico como a Holanda, a resolução desse problema era de fundamental importância. Mas qual foi a grande inovação de Huygens em relação às ideias de Galileu?

Huygens mostrou que o movimento de um pêndulo simples não era totalmente tautócrono, mas aproximadamente para pequenas amplitudes. Uma vez que a ideia era utilizada para a medição de tempo, no caso, para a construção de relógios, seria necessário a manutenção de uma amplitude constante para que o período permanecesse constante (GILLISPIE et al., 2007).

A resposta a este problema veio em dois trabalhos, o primeiro *Horologium*, publicado em 1658, e o segundo denominado *Horologium Oscillatorium*, um estudo mais completo, publicado em 1673. No trabalho de 1658 afirmou que o movimento do pêndulo simples não era exatamente

tautócrono, mas que seu período dependeria da amplitude quando se movesse pela trajetória comum circular (GILLISPIE et al., 2007; HUYGENS, 1673).

Em 1659 descobriu que se o pêndulo segue seu movimento por uma cicloide, seu período seria independente da amplitude podendo assim ser utilizado para a confecção de relógios mais precisos.

Newton também deu suas contribuições ao estudar o movimento de corpos pendulares quando divulgou suas ideias em sua principal obra, os *Principia*.

Influenciado principalmente pelos escritos de Aristóteles, Copérnico, Descartes, Kepler, Galileu e Huygens, Isaac Newton desenvolveu um domínio pleno da dinâmica matemática e da mecânica celeste. O processo de sua mecânica se desenvolveu através de muitos comentários e críticas, fundamentalmente, aos trabalhos de René Descartes. Nestas críticas já havia definido conceitos como força, ímpeto e inércia, entre outros; fez até mesmo estudos sobre os impactos elásticos e inelásticos. Desenvolveu seu conceito de força como algo que agiria continuamente como limite de uma série de impulsos que ocorrem em intervalos cada vez menores.

Baseado nestas concepções iniciais, durante os anos de 1684-1686 começou a redigir sua mais importante obra, a qual foi publicado pela primeira vez no ano de 1686.

Nela encontramos, por exemplo, as leis fundamentais da mecânica estudadas na física, como a lei da inércia, a lei fundamental da dinâmica e a lei da ação e reação. Não somente isso, podemos encontrar uma série de estudos realizados sobre a conhecida gravitação universal, força centrípeta, oscilações e movimentos em meios resistivos.

A obra *Princípios Matemáticos de Filosofia Natural*, ou simplesmente, *Principia* (como é mais conhecida), foi dividida em três volumes. No livro II, seção 6, podemos encontrar um estudo sobre o movimento e a resistência dos corpos pendulares e a proposição inicial que Newton desenvolveu, relacionando a quantidade de matéria no corpo do pêndulo com seu peso, com o comprimento do pêndulo e com o tempo de oscilação no vácuo.

As quantidades de matéria nos corpos pendulares, cujos centros de oscilação estão igualmente distantes do centro de suspensão, estão numa razão composta da razão dos pesos e da razão quadrada dos tempos de oscilação no vácuo (NEWTON, 2008, p. 85).

Suas principais contribuições estariam em afirmar que a massa seria diretamente proporcional ao peso, primeiro reconhecimento de que a massa determina o peso de um corpo; que o estudo do movimento pendular possibilitaria a determinação da diferença de gravidade de diferentes lugares; que poderia determinar a resistência que os diferentes meios oferecem à aniquilação do seu movimento, e ainda, refutar o meio etéreo.

Newton também nos mostra que estava totalmente de acordo com Huygens, quando, pela proposição XXV, teorema XX, afirmou:

Corpos pendulares que são resistidos, em qualquer meio, na razão dos momentos do tempo, e corpos pendulares que se movem num meio sem resistência de mesma gravidade específica, realizam suas oscilações numa cicloide no mesmo tempo, e descrevem juntos partes proporcionais de arcos (NEWTON, 2008, p. 86).

A adição dos elementos de resistência ao movimento do pêndulo e a relação deste com os fundamentos da mecânica, elaborados anteriormente no próprio *Principia*, foram os parâmetros a mais que possibilitou o desenvolvimento do estudo dos corpos pendulares.

Na seção VIII do livro II, Newton faz um estudo sobre o movimento propagado através de fluidos, onde encontramos, novamente, ideias sobre os movimentos periódicos. Na proposição XLIV, teorema XXXV, propôs que:

Se a água sobe e desce alternadamente nos tubos levantados KL e MN de um canal ou cano, e se for construído um pêndulo cujo comprimento entre o ponto de suspensão e o centro de oscilação é igual a metade do comprimento da água no canal, afirmo que a água vai subir e descer nos mesmos tempos em que o pêndulo oscila (NEWTON, 2008, p. 155).

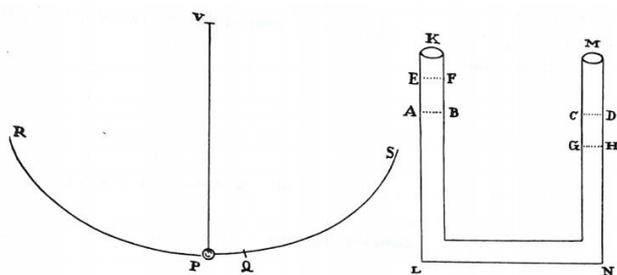


Figura 1: pêndulo simples e tubo com coluna de água

Desta forma, afirma que os movimentos da coluna de água em subir e descer são todos realizados em tempos iguais, seja o movimento mais ou menos intenso ou fraco e se o comprimento da coluna de água for aumentado ou diminuído, o tempo de oscilação será aumentado ou diminuído diretamente proporcional a raiz quadrada do comprimento, como no pêndulo.

Para demonstrar matematicamente a validade da proposta de Newton, vamos calcular a energia potencial necessária para elevar uma massa m de água da altura de equilíbrio AB para EF , que denominaremos de h . Para tanto, vamos supor que os dois ramos do tubo são uniformes e de áreas de seção iguais a A . Por meio da expressão da densidade ρ (razão entre a massa e o volume) do líquido a massa m pode ser calculada por:

$$m = \rho Ah$$

A energia potencial gravitacional $U(h)$ do sistema pode ser obtida pelo produto entre a massa, a aceleração gravitacional local g e a altura deslocada h :

$$U(h) = mgh = \rho Agh^2 \quad (\text{I})$$

Como a coluna entra em oscilação executando um movimento aproximadamente harmônico simples (MHS), podemos comparar a energia potencial calculada anteriormente com a energia potencial de um oscilador massa mola, que também executa um MHS, dada por:

$$U(x) = \frac{1}{2}K \cdot x^2 \quad (\text{II})$$

Nesta expressão K representa a constante da mola do oscilador e x a deformação. Podemos notar que as expressões da energia potencial variam com o quadrado de uma grandeza que tem dimensão de deslocamento, logo podemos ter a seguinte equivalência:

$$\rho Ag = \frac{1}{2}K \quad (\text{III})$$

que são as constantes de proporcionalidade nas duas expressões.

No MHS a constante K pode ser relacionada à massa M do sistema oscilador com a frequência angular ω por meio da expressão:

$$\omega = \sqrt{\frac{K}{m}} \quad (\text{IV})$$

Isolando K na expressão (IV) e substituindo em (III), obtemos:

$$\rho Ag = \frac{1}{2}M\omega^2 \quad (\text{V})$$

A massa total do sistema M representa a massa total da coluna de água dentro do tubo, que tem comprimento L . Logo essa massa pode ser expressa por:

$$M = \rho V = \rho Al \quad (\text{VI})$$

Substituindo (VI) na expressão (V) e isolando a frequência angular, obtemos:

$$\omega^2 = \frac{2g}{L} \quad (\text{VII})$$

A frequência angular está relacionada ao período T , por:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \quad (\text{VIII})$$

Isolando o período na expressão (VIII) e substituindo na expressão (VII), teremos a equação que permite calcular o período para o movimento executado pela coluna de água, válida para pequenas amplitudes:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{2g}} \quad (\text{IX})$$

Essa equação é equivalente ao período das oscilações de um pêndulo com metade do comprimento L do tubo, como Newton supusera.

OBJETIVOS E METODOLOGIA

O projeto pretende investigar as contribuições educacionais de uma abordagem baseada na História da Ciência e na experimentação envolvendo conceitos científicos da área da Física, como o Movimento Harmônicos Simples, especificamente as ideias concernentes ao estudo do pêndulo simples. Para tanto destacaremos as propostas apresentadas por Galileu sobre o tautocronismo do pêndulo simples para baixas amplitudes; verificaremos por meio das ideias de Huygens que essa independência com a amplitude só será válida se o pêndulo executar oscilações numa cicloide; e apresentaremos as ideias de Newton sobre o movimento pendular, dando ênfase na ideia de que o tautocronismo só ocorre em trajetórias cicloidais, e ainda mostraremos seu experimento sobre o período da oscilação de uma coluna de água dentro de um tubo.

Investigaremos se a proposta histórica e experimental contribuirá com o interesse e a aprendizagem dos alunos de Ensino Médio, onde o projeto será aplicado. Os conceitos em análise serão referentes ao estudo MHS, sob a perspectiva de pesquisas de natureza qualitativa por possuir ambiente natural como uma fonte direta de dados e o pesquisador como seu principal instrumento. Para coletar os dados aplicaremos questionários e entrevistaremos os alunos. Esses dados também serão avaliados sob a perspectiva de uma investigação qualitativa, pois teremos a preocupação maior com os significados e a compreensão do fenômeno em estudo.

A metodologia será construída levando-se em consideração os aspectos históricos, filosóficos e culturais do fenômeno em estudo. Apresentaremos, não somente o desenvolvimento da ideias sobre corpos em movimento pendular, mas proporemos, além disso, as causas momentâneas que levaram os contribuintes a estudar este problema.

Desenvolveremos três experimentos de pêndulos. O primeiro será baseado no pêndulo simples de Galileu e terá o objetivo de mostrar que o período não varia se não modificarmos seu comprimento e mantivermos uma amplitude pequena. O segundo consiste em mostrar o caso contrário, que para grandes amplitude teremos uma pequena variação no período, o que seria suficiente para atrasar relógios baseados neste tipo de mecanismo. Assim, proporemos as ideias de Huygens para corrigir o problema, fazendo o pêndulo descrever uma trajetória cicloidal. Por último, verificaremos as ideias de Newton sobre seu experimento de medida do período de oscilação de uma coluna de água, com o intuito de fechar o estudo com esta aplicação e verificação.

CONCLUSÃO

Com base na análise dos questionários e entrevistas a serem realizados com os alunos, o projeto pretende investigar, na aprendizagem, o impacto da inserção de um contexto histórico através da demonstração experimental em sala de aula, e a importância desses fatores no desenvolvimento do pensamento crítico e interesse pelo tema, focando, em primeira colocação, no estudo dos pêndulos no movimento harmônico simples. Esperamos com isso, dar alternativas para o ensino de física contemplando a área da ondulatória, tema que é estudado no Ensino Médio, e por vezes, é considerado com um nível de dificuldade superior aos demais tipos de movimento que são trabalhados em mecânica, além de contribuir por meio da elaboração de uma metodologia que relaciona a história e filosofia da ciência com a experimentação no ensino de ciências.

REFERÊNCIAS

- BRASIL. Secretaria da Educação Básica. Ministério da Educação. **Orientações Curriculares para o Ensino Médio – Linguagens, códigos e suas tecnologias**. Brasília, 2006.
- DAMASIO, Felipe; PEDUZZI, Luiz OQ. História e filosofia da ciência na educação científica: para quê?. **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências (Belo Horizonte)**, [s.l.], v. 19, p.1-19, 2017.
- GALILEI, Galileo. **Le opere di Galileo Galilei**: edizione nazionale sotto gli auspicii di sua maesta il re d'Italia. Volume X. [publicata da Antonio Favaro, Isidoro del Lungo, V. Cerruti, G. Govi, G.

V. Schiaparelli, Umberto Marchesini]. Firenze: Tipografia di G. Barbèra. 1900. Disponível em: <http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k94909c.r=Le+opere+di+Galileo+Galilei+volume>. Acesso em: 10 ago. 2018.

GILLISPIE, Charles Coulston et al (Org.). **Dicionário de Biografias Científicas**. Rio de Janeiro: Contraponto, 2007. 3 v. Tradução de: Carlos Almeida Pereira.

HUYGENS, Christiaan. **Horologium oscillatorium sive de motu pendulorum ad horologia aptato demonstrationes geometricae**. Paris: F. Muguet, 1673.

NEWTON, Isaac. **Principia**: Princípios Matemáticos de Filosofia natural. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2008. 448 p. Tradução de: André Koch Torres Assis.

SILVA, Cibelle Celestino (Org.). **Estudos de História e Filosofia das Ciências**. São Paulo: Livraria da Física, 2006, p. 10.