

Física e História: Experimento de Torricelli — uma proposta didática multicontextual

Juliana M. Hidalgo

Jardes Martins Alves

Daniel de Medeiros Queiroz

Resumo

Nos últimos anos, muitos profissionais têm se dedicado a criar propostas que representam abordagens histórico-filosóficas cuidadosas para os conteúdos de Física. Essas propostas são fundamentadas, dentre outros aspectos, em pesquisas históricas atualizadas. Levam em conta as concepções alternativas dos alunos, trazem à tona o contexto histórico como parte indissociável do ensino do conceito físico e abordam questões relacionadas à natureza do conhecimento científico. Nessa perspectiva, o presente trabalho apresenta de modo detalhado e fundamentado a sequência didática “Física e História: Experimento de Torricelli”. É uma proposta de abordagem histórico-filosófica que pretende contribuir com elementos para o ensino do conteúdo físico pressão atmosférica, mais especificamente, explorando o experimento de Torricelli.

Palavras-chave: Experimento de Torricelli, narrativas histórico-pedagógicas, abordagem histórico-filosófica.

Abstract

In recent years, many professionals created proposals that represent careful historical-philosophical approaches to Physical contents. These proposals are based, among other aspects, on updated historical research. They take into account students' alternative con-ceptions, bring up the historical context as an inseparable part of the teaching of the physical concept and address issues related to the nature of science. In this perspective, this paper presents in a detailed and grounded way the didactic sequence “Physics and History: Torricelli's Experiment”. It is a historical-philosophical approach that aims to contribute elements to the teaching of physical content atmospheric pressure, more spe-cifically, exploring Torricelli's experiment.

Keywords: Torricelli's experimete, historical-pedagogical narratives, historical-philosophical approach.

1. INTRODUÇÃO

Ao longo das últimas décadas, a comunidade acadêmica tem sugerido a inserção de aspectos histórico-filosóficos no ensino de Física. Argumenta-se que a História da Ciência¹ poderia colaborar com diversos objetivos: harmonizar produto e processo, uma vez que os resultados da ciência usualmente apresentados aos alunos precisariam ser historicamente contextualizados; “humanizar” a ciência, na medida em que os conhecimentos científicos deveriam ser relacionados a seres humanos que os elaboram coletivamente, em contextos sujeitos às mais variadas influências; colaborar para a compreensão dos conteúdos científicos específicos, uma vez que permitiria compreender a que questionamentos esses responderam ao longo da história; colaborar com a compreensão sobre a ciência, considerando que discutir

¹Ao nos referirmos à História da Ciência, remetemo-nos também à Filosofia da Ciência, reconhecendo a relação de interdependência entre essas áreas.

episódios históricos possibilitaria percepções mais sofisticadas a respeito da natureza do empreendimento científico².

Os objetivos supracitados são ambiciosos. Inserir a História da Ciência no ambiente escolar é algo muito distinto de apresentar aos estudantes breves notas históricas sobre acontecimentos pontuais relacionados à ciência, sequências cronológicas de descobertas e ilustrações de “grandes cientistas”³. Em contraste, a legislação educacional e o discurso acadêmico convergem na percepção de que:

[...] a contextualização histórica não se ocupa apenas da menção a nomes de cientistas e a datas da história da Ciência, mas de apresentar os conhecimentos científicos como construções socialmente produzidas, com seus impasses e contradições, influenciando e sendo influenciadas por condições políticas, econômicas, tecnológicas, ambientais e sociais de cada local, época e cultura.⁴

[...] tratar desses temas de História da Ciência é muito mais que citar nomes e datas. É um trabalho complexo, de esclarecer em profundidade os múltiplos aspectos e interrelações de cada episódio com seu contexto mais amplo. Apenas sob essa forma, a História da Ciência – ou qualquer outra História – pode ser realmente útil.⁵

De acordo com essa perspectiva mais elaborada de uso da História da Ciência no contexto educacional, o presente trabalho tem como objetivo apresentar a sequência didática “*Física e História: Experimento de Torricelli*”, direcionada para o Ensino Médio. Como elementos norteadores da proposta,

²Michael Matthews, “História, filosofia e ensino de ciências: a tendência atual da reaproximação,” *Caderno Catarinense de Ensino de Física* 12 (1995): 164–214; Manoel Robilotta, “O cinza, o branco e o preto: da relevância da história da ciência no ensino da Física,” *Caderno Catarinense de Ensino de Física* 5 (1988): 7–22; Roberto A. Martins, “Introdução: a história das ciências e seus usos na educação,” in *Estudo de História e Filosofia das Ciências: subsídios para aplicação no ensino*, org. Cibelle C. Silva (São Paulo: Livraria da Física, 2006): xvi–xxix; Ivan Gurgel, “Reflexões Político-Curriculares sobre a Importância da História das Ciências no Contexto da Crise da Modernidade,” *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* 37 (2020): 333–350, 2020; Luís O. Peduzzi & Anabel Raicik, “Sobre a natureza da ciência: asserções comentadas para uma articulação com a história da ciência,” *Investigações em Ensino de Ciências* 25 (2020), 19–55; Karen Rader, “Introduction: The Changing Pedagogical Landscapes of History of Science and the ‘Two Cultures’,” *Isis* 111 (2020): 568–575; Anderson Vilas Boas, Marcos R. Silva, Marinez M. Passos & Sérgio M. Arruda, “História da ciência e natureza da ciência: debates e consensos,” *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* 30 (2013): 287–322.

³Ainda é comum entre professores a concepção de que a História da Ciência tem um papel ilustrativo no contexto didático, consistindo na apresentação de grandes descobertas e seus autores, bem como na introdução de anedotas de caráter supostamente motivador, como os episódios da maçã de Newton ou da eureka de Arquimedes. Lacunas na formação docente levariam a esses “equivocos a respeito da própria natureza da história da ciência e seu uso na educação” (Martins, “Introdução”, xxvii).

⁴Brasil, Ministério da Educação, *Base Nacional Comum Curricular* (Brasília: Secretaria da Educação, 2017): 550.

⁵Roberto A. Martins, “Abordagens, métodos e historiografia da História da Ciência,” in *O tempo e o cotidiano na história*, org. Ângela M. Martins (São Paulo: FDE, 1993): 78.

acrescentam-se considerações expressas na Base Nacional Comum Curricular sobre a necessidade de mostrar a “evolução histórica dos conceitos e das diferentes interpretações e controvérsias envolvidas nessa construção”⁶. Igualmente, são levados em conta princípios cunhados para a avaliação de materiais didáticos direcionados ao Ensino Médio:

Mostrar a ciência como] uma atividade social e cultural humana, realizada por indivíduos em articulação, ou seja, de modo coletivo. [...] Assim, deve-se valorizar não a sua estrutura conceitual, os conhecimentos físicos propriamente ditos, mas também os principais aspectos de sua história e das suas formas particulares de se constituir. Isso significa abrir espaços para discussões em que elementos da História e da Epistemologia da Física estejam presentes.⁷

Elaborada à luz das referidas considerações, a sequência didática “Física e História: Experimento de Torricelli” tem como foco contribuir com elementos para o ensino do conceito físico pressão atmosférica. Mais especificamente, explora o experimento de Torricelli. As etapas que a compõem trazem à tona concepções alternativas⁸ que se manifestam em fenômenos cotidianos relacionados a esse conceito físico, remetem ao contexto histórico como parte indissociável do ensino do próprio conceito e abordam questões relacionadas à natureza da ciência. Busca-se desenvolver:

[...] os conteúdos e as atividades de forma contextualizada, considerando tanto a dimensão social e histórica da produção de conhecimento quanto a dimensão vivencial dos estudantes [...]. [desenvolver] os conteúdos conceituais da física sempre acompanhados, ou partindo de sua necessária contextualização, seja em relação aos seus contextos sócio-cultural-histórico-econômicos de produção, seja em relação a contextos cotidianos em que suas utilizações se façam pertinentes.⁹

⁶Brasil, *Base Nacional Comum Curricular*, 556.

⁷Brasil, Ministério da Educação, *PNLD/2018. Edital de convocação para o processo de inscrição e avaliação de obras didáticas para o Programa Nacional do Livro Didático – Ensino Médio* (Brasília: Secretaria da Educação, 2015):54. Embora não se trate aqui da elaboração de um livro didático, nota-se que o edital mais recente do PNLD traz reflexões muito pertinentes sobre a inserção didática da História da Ciência. Assim, justifica-se a iniciativa de observar as recomendações contidas no referido documento.

⁸As chamadas concepções prévias dos alunos costumam estar em desacordo com a ciência atual. Não deveriam ser ignoradas, mas sim tomadas como ponto de partida no ensino de física. Podem guardar alguma semelhança com conceitos científicos do passado, embora não sejam equivalentes a estes, circunscritos a arcabouços científicos de alta complexidade. Ver Marcos D. Longhini & Roberto Nardi, “Como age a pressão atmosférica? Algumas situações-problema tendo como base a História das Ciências e pesquisas na área,” *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* 26 (2009): 7–23.

⁹Brasil, *PNLD/2018*, 55–58.

De acordo com a referida perspectiva, a sequência didática permite que os estudantes examinem situações do cotidiano e exponham suas explicações iniciais. Essas se constituem como ponto de partida para etapas subsequentes, nas quais a abordagem histórico-filosófica ganha forma. Trata-se de uma proposta na qual os estudantes assumem um papel ativo, uma vez que “o ensino de ciências deve trabalhar com o propósito de potencializar os alunos como produtores de conhecimento”¹⁰. Concebe-se, ainda, que a atuação do professor é fundamental ao longo das etapas previstas:

[...] não só o papel mediador do professor de física no processo de aprendizagem do estudante, como também a sua especificidade na condução das atividades didáticas, procurando, assim, superar visões de ciência empiristas e indutivistas.¹¹

Os aspectos históricos são inseridos por meio de narrativas histórico-pedagógicas, sendo essas um dos principais recursos citados na literatura para a inserção didática da História da Ciência. Para a elaboração das narrativas foram observados critérios, tais como o nível de aprofundamento de aspectos epistemológicos, a adequação da formulação discursiva ao nível de escolaridade visado, a seleção dos aspectos históricos a enfatizar, o nível de aprofundamento dos aspectos históricos e de detalhamento do contexto não científico.¹² As narrativas foram constituídas a partir da consulta a fontes primárias e secundárias da História da Ciência¹³, à luz de fundamentos historiográficos atualizados¹⁴, de modo a se

¹⁰Andrea Guerra, “A identidade e o diálogo como possibilidade de superação da controvérsia entre educadores e historiadores da ciência,” in *Controvérsias na Pesquisa em Ensino de Física*, org. Sergio Camargo, Luiz G. Genovese, Juliana M. H. Drummond, Glória R. Queiroz, Yuri Nicot, & Sylvania S. Nascimento (São Paulo: Livraria da Física, 2014): 129.

¹¹Brasil, *PNLD/2018*, 59.

¹²Thaís C. de M. Forato, Roberto de A. Martins, & Maurício Pietrocola, “Enfrentando obstáculos na transposição didática da história da ciência para a sala de aula,” in *Temas de história e filosofia da ciência no ensino*, org. Luís O. de Q. Peduzzi, André Ferrer P. Martins, & Juliana M. Hidalgo Ferreira (Natal: EDUFERN, 2012): 123–154.

¹³Os textos foram elaborados a partir da consulta às seguintes fontes: William F. Magie, *A source book in Physics* (Cambridge: Harvard University Press, 1969); Roberto de A. Martins, “Tratados físicos de Blaise Pascal,” *Cadernos de História e Filosofia da Ciência* 3 (1989): 1–168; J. J. Solaz-Portolés & M. Moreno-Cabo, “El espacio vacío y sus implicaciones en la historia de la ciencia,” *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* 14 (1997): 194–208; Marcos D. Longhini & Roberto Nardi, “Origens históricas e considerações acerca do conceito de pressão atmosférica,” *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* 19 (2002): 67–78. Além desses textos, pode-se recomendar aos professores para consulta: Fumikazu Saito, *As experiências relativas ao vazio de Blaise Pascal* (São Paulo: Livraria da Física/CAPES/OBEDUC, 2014); Fumikazu Saito, “O vácuo de Pascal versus o ether de Noël: uma controvérsia experimental?” *Circumscribere* 1 (2006): 49–56; Sebastião Portela, “O uso de casos históricos no ensino de física: um exemplo em torno da temática do horror da natureza ao vácuo” (dissertação de mestrado, Universidade de Brasília, 2006); Deyzianne Fonseca, Juliana M. Hidalgo F. Drummond, Wesley C. Oliveira, Giovannini L. Batista, & Daniel B. de Freitas, “Pressão atmosférica e natureza da ciência: uma sequência didática englobando fontes primárias,” *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* 34 (2017): 64–108.

¹⁴Pode-se pontuar que: “Há certo alinhamento entre visões historiográficas atuais e as indicações relativas à inserção didática da História da Ciência em documentos educacionais. Não há a História da Ciência única, verdadeira, a ser inserida no contexto didático. Por outro lado, certamente acarretariam efeitos contrários aos desejáveis a inclusão de uma História da Ciência do tipo anacrônica, Whig [história

abordar o “processo de construção das teorias físicas, sinalizando modelos de evolução dessas teorias que estejam em consonância com vertentes epistemológicas contemporâneas”¹⁵.

Discussões sobre a natureza da ciência são promovidas ao longo da proposta a partir de questões abertas e contextualizadas por meio dos episódios históricos. Potencialmente, os recortes históricos realizados permitem que se reflita sobre temas como as controvérsias históricas na ciência, o papel dos indivíduos e da comunidade científica, dentre outros¹⁶. As seções subsequentes do presente trabalho apresentam detalhadamente e de modo fundamentado as etapas da sequência didática, materializando a História da Ciência como “instrumento da formação intelectual e da assimilação de conceitos”¹⁷.

2. APRESENTAÇÃO DA PROPOSTA DIDÁTICA

O **Quadro 1** de maneira sintética as etapas e situações que compõem a sequência didática “*Física e História: Experimento de Torricelli*”.

A proposta tem como ponto de partida possibilitar que os alunos se expressem em face de situações do cotidiano, tomadas para problematização inicial. Essas situações são, paulatinamente, resgatadas em outras etapas e servem de contexto para a construção do conhecimento físico em estreita conexão com o conhecimento histórico. É inspirada nos “três momentos pedagógicos”: problematização inicial, organização do conhecimento e aplicação do conhecimento:

Problematização Inicial: apresentam-se questões ou situações reais que os alunos conhecem e presenciam e que estão envolvidas nos temas. Nesse momento pedagógico, os alunos são desafiados a expor o que pensam sobre as situações, a fim de que o professor possa ir conhecendo o que eles pensam. [...] a finalidade desse momento é propiciar um distanciamento crítico do aluno ao se defrontar com as interpretações das situações propostas para discussão, e fazer com que ele sinta a necessidade da aquisição de outros conhecimentos que ainda não detém.

Organização do Conhecimento: momento em que, sob a orientação do professor, os conhecimentos de física necessários para a compreensão dos temas e da problematização inicial são estudados. **Aplicação do Conhecimento:** momento que se destina a abordar sistematicamente o conhecimento incorporado pelo aluno, para analisar e interpretar tanto as situações iniciais que determinaram seu estudo

de heróis e vilões da ciência], hagiográfica [que descreve os cientistas como santos o fossem], embasada na ideia de progresso positivista.” (Juliana M. Hidalgo, Jardes M. Alves, Fábio A. Souza, & Daniel M. Queiroz, “A História da Ciência (Distorcida ou Ausente) em livros didáticos: o conteúdo sobre o ‘Experimento de Torricelli’ como estudo de caso,” *Alexandria: Revista em Educação em Ciência e Tecnologia* 11, 1 (2018): 104).

¹⁵Brasil, *PNLD/2018*, 58.

¹⁶André Ferrer Martins, “Natureza da Ciência no ensino de ciências: uma proposta baseada em ‘temas’ e ‘questões’,” *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 32 (2015): 703–737.

¹⁷Penha M. C. Dias, “(Im)Pertinência da História ao Aprendizado da Física (um Estudo de Caso),” *Revista Brasileira de Ensino de Física* 23 (2001): 226.

quanto outras que, embora não estejam diretamente ligadas ao momento inicial, possam ser compreendidas pelo mesmo conhecimento.¹⁸

Quadro 1: Síntese da sequência didática.

Atividade	Objetivos
Situação 1 Primeira etapa	Problematizar a situação de abertura de uma embalagem de café, questionando sobre o ruído percebido. Deixar que os alunos exponham suas concepções sobre a situação e sobre a expressão “embalado a vácuo”.
Situação 2 Primeira Etapa	Problematizar o funcionamento das embalagens do tipo “abre fácil” (extrato de tomate, conservas de palmito, ervilhas etc.). Deixar que os alunos exponham suas concepções sobre a situação.
Situação 3 Primeira Etapa	Perceber no processo de embalagem a vácuo a retirada de ar (vídeo específico). Relacionar o fenômeno às situações anteriores de abertura das embalagens (O ruído representa entrada ou saída de ar? O que ocorre quando o lacre é retirado na segunda situação?).
Situação 4 Primeira Etapa	Problematizar o fenômeno de sustentação da coluna de água em bebedouro de pássaro. Deixar que os alunos exponham suas concepções sobre a situação. Promover questionamentos introdutórios ao experimento de Torricelli.
Parte 1 Segunda Etapa	Iniciar o contato com o experimento de Torricelli (vídeo específico) e preparar o aluno para o trabalho com o contexto histórico desse experimento, retomar elementos da primeira etapa.
Parte 2 Segunda Etapa	Problematizar o experimento de Torricelli no que diz respeito ao contexto histórico. Contextualizar o experimento utilizando narrativas histórico-pedagógicas elaboradas para a sequência didática. Organizar conhecimentos sobre a pressão atmosférica e o experimento de Torricelli à luz da contextualização histórica. Recorrer aos episódios históricos para discussões contextualizadas sobre temas relacionados à natureza da ciência.
Terceira Etapa	A partir de situações-problema, estimular que os alunos tentem aplicar os conhecimentos construídos ao longo das etapas anteriores. Permitir que os alunos explorem situações nas quais ocorrem fenômenos físicos análogos aos observados no experimento de Torricelli.

A sequência didática possui inspiração nesse modelo, mas não o segue à risca. O professor atua como mediador em etapas nas quais essas intenções podem ocorrer simultaneamente, ainda que de forma planejada e com objetivos bem definidos. A seguir, ela é apresentada detalhadamente, de modo a permitir uma compreensão aprofundada do significado de suas etapas e de seus fundamentos.

3. DETALHAMENTO DAS ETAPAS DA PROPOSTA DIDÁTICA

3.1. PRIMEIRA ETAPA

¹⁸Cristiane Muenchen & Demétrio Delizoicov, “Os três momentos pedagógicos e o contexto de produção do livro ‘Física’,” *Ciência & Educação* 20 (2014): 620; grifo nosso.

Trata-se de uma etapa de problematização inicial. Sugere-se que os alunos sejam organizados em grupos com quatro a cinco componentes para a discussão de situações que se relacionam à pressão atmosférica e ao vácuo.

3.1.1. SITUAÇÃO 1 — EMBALAGEM DE CAFÉ

Inicialmente, propõe-se a utilização de produtos à venda em supermercados, conhecidos pelos alunos, como café embalado a vácuo. Sugere-se disponibilizar para cada grupo um pacote de café embalado a vácuo. O professor-mediador pode solicitar aos grupos que abram a embalagem fazendo um pequeno orifício. Os alunos podem ser questionados e estimulados a construir explicações para os acontecimentos de interesse no contexto da sequência didática, no caso, o ruído decorrente do ato de abrir a embalagem. Esses produtos, quando abertos, produzem um som característico que indica a entrada de ar na embalagem. Chama-se atenção para esse fenômeno e para a indicação de “embalado a vácuo”, expressa na embalagem do produto.

No **Quadro 2**, a seguir, são sugeridos alguns possíveis procedimentos e questionamentos.

Quadro 2: Sugestão de questões para a situação 1.

Primeira etapa — Situação 1 — Embalagem de café
<ul style="list-style-type: none"> • Abram a embalagem fazendo um pequeno orifício com uma tesoura. O que vocês observam? Há algum ruído? O que esse ruído significa? • O que quer dizer “embalado a vácuo”? • Por que embalar a vácuo o café? Vocês conhecem outros produtos embalados a vácuo? • Que relação há entre “embalado a vácuo” e o ruído observado inicialmente?

Para esse tipo de situação, costumam ser mapeadas pela literatura concepções alternativas relacionadas à existência de ar dentro da embalagem (a vácuo), sendo a saída do ar responsável pelo ruído observado¹⁹. É possível que concepções alternativas semelhantes a essas venham à tona. A intenção desse momento não é colher respostas “exatas” do ponto de vista científico para as questões propostas, mas sim estimular que os estudantes reflitam sobre fenômenos do cotidiano, manifestem suas dúvidas e suas certezas e tentem construir suas próprias explicações.

¹⁹Pesquisa empírica registrou que cerca de 30% dos alunos de uma turma do Ensino Médio em escola pública brasileira sustentavam essa explicação para o ruído observado na abertura da embalagem, apesar de conhecerem a expressão “embalado a vácuo”. Na mesma pesquisa, dentre os alunos que conceberam a inexistência de ar dentro da embalagem, notou-se a afirmação de que o ar sofre um “puxão” exercido por alguma força interna ao pacote. Ver Juliana M. H. Drummond, Wesley C. Oliveira, & Deyziane Fonseca, “Investigating the Didactic Use of Primary Sources on the History of Vacuum and Atmospheric Pressure,” in *Teaching Science with Context*, org. Maria E. B. Prestes & Cibelle C. Silva (New York: Springer, 2018): 315–331.

O encadeamento de questões pode promover, com a ajuda da mediação, a percepção de possíveis impasses em seus saberes pelos próprios estudantes. Um grupo, por exemplo, pode relacionar o ruído a uma possível *saída* de ar. Mas, nesse caso, e se para o questionamento sobre o que significa “embalado a vácuo” o grupo afirmar que nesse tipo de embalagem o ar é retirado para melhor conservação do produto? Se a embalagem inicialmente não contém ar, o ruído notado ao abri-la não poderia ser explicado pela *saída* do ar.

Sugere-se que cada grupo chegue às suas próprias conclusões e registre-as em quadro, de forma a compartilhá-las com toda a turma. O professor pode, então, ser responsável pela mediação da discussão no grupo maior de forma a organizar um conjunto de conclusões coletivas da turma. Essa etapa de problematização deve representar um marco inicial que abra caminho para as atividades que se seguirão na sequência didática.

3.1.2. SITUAÇÃO 2 — EMBALAGEM COM LACRE

A segunda discussão, tal qual a primeira, promove a interação dos estudantes com objetos comuns ao cotidiano em situação que envolve fenômeno relacionado à pressão atmosférica. Potes de conservas ou extrato de tomate com tampa do tipo “abre fácil” (**Figura 1**) só podem ser abertas com facilidade após a remoção do lacre sobre a tampa.



Figura 1: Embalagem de palmito com lacre (foto realizada pelos autores).

Sugere-se que os alunos sejam organizados em grupos com quatro ou cinco componentes. Cada grupo recebe um frasco ainda fechado de conserva ou extrato de tomate. Ao longo dessa etapa, sob a orientação do professor, o lacre é removido. Os alunos poderão perceber alterações sutis na embalagem, além da eventual ocorrência de um ruído similar ao ocorrido na primeira situação analisada por eles. O professor pode estimular que percebam uma relação de similaridade entre as duas situações, caso não o façam espontaneamente. O **Quadro 3**, apresentado a seguir, apresenta sugestão de questões que podem ser direcionadas para discussão inicial nos grupos. Alguns questionamentos propostos remetem ao exterior

da embalagem, uma vez que existe a possibilidade de que os alunos dirijam a atenção exclusivamente para o interior delas²⁰.

Quadro 3: Sugestão de questões para a situação 2.

Primeira etapa — Situação 2 — Embalagem com lacre
<p>Observem o frasco e verifiquem o lacre na tampa superior.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Como funciona esse tipo de embalagem? Para que serve o lacre na tampa do produto? • Há uma orientação ao consumidor sobre como realizar a abertura da tampa. Que orientação é essa? • Tentem abrir a embalagem sem retirar o lacre. Vocês conseguem? Por quê? Por que a embalagem não abre se o lacre não é removido? • Retirem o lacre. O que vocês notam? Algum ruído? O que isso significa? Alguma modificação na tampa? • Tentem agora abrir a embalagem após a retirada do lacre. Qual a diferença em relação a quando a tampa estava com lacre? Por que é necessário retirá-lo para abriremos a embalagem? • Será que inicialmente o lacre estava colado? Existe alguma relação entre a parte interna e a parte externa do pote que poderia explicar a situação inicial de aderência do lacre? Tentem explicar como o pote é fechado, para que serve o lacre e como ele fica preso à tampa.

As indagações propostas nessa etapa da sequência didática remetem à percepção da atuação da pressão atmosférica. É possível, no entanto, que eventuais concepções alternativas se manifestem. É interessante que o professor não forneça respostas prontas aos alunos, não emita juízo de valor sobre as explicações sugeridas, nem corrija as que eles eventualmente forneçam de modo a adequá-las ao ponto de vista científico atual.

As situações sugeridas para discussão visam a estimular que os alunos reflitam e construam explicações em seus grupos. Essas explicações podem ser registradas em quadro e compartilhadas com a turma. Em seguida, o professor pode mediar a elaboração de conclusões coletivas da turma.

3.1.3. SITUAÇÃO 3 — VÍDEO — MÁQUINA DE EMBALAR A VÁCUO

Dando prosseguimento à problematização iniciada com a discussão a partir da embalagem de produtos alimentícios, propõe-se uma terceira situação, na qual um vídeo é apresentado à turma para discussão coletiva.

O vídeo mostra o funcionamento de uma máquina de embalar a vácuo (**Figura 2**). A situação traz à memória a embalagem de café utilizada inicialmente nas discussões.

²⁰Muitos estudantes desconhecem o significado da expressão “embalado a vácuo”. Pesquisa empírica que questionou estudantes do Ensino Médio sobre a necessidade de abertura do lacre da embalagem de palmito registrou explicações do tipo: a abertura do lacre liberaria a pressão interna ou o ar de dentro que exerce pressão, facilitando ou permitindo a abertura (Drummond, Oliveira, & Fonseca, *Investigating the Didactic Use*).



Figura 2: Representação do vídeo “Máquina de embalar e selar produtos alimentares a vácuo” (Fonte: <https://www.youtube.com/watch?v=GaZ55haKwME>; acesso em: 17 de fevereiro de 2021).

O encaminhamento sugerido no **Quadro 4** tenciona que os alunos sejam levados a ensaiarem explicações para a situação observada no vídeo, estabelecendo conexões com as situações anteriores. As questões sugeridas oportunizam que os alunos relacionem o ar extraído no processo de funcionamento da máquina empacotadora ao ruído notado na abertura da embalagem de café.

Quadro 4: Sugestão de questões para a situação 3.

Primeira Etapa — Situação 3 — Vídeo — Máquina de embalar a vácuo
<ul style="list-style-type: none"> • O que está ocorrendo no vídeo? • Para que serve essa máquina? • O que está sendo retirado da embalagem de alimento? • O que ocorrerá quando a embalagem for aberta pelo consumidor? • Que relação há com os casos discutidos anteriormente?

Em conjunto, as três situações iniciais problematizam situações que colaboram para a percepção de fenômenos relacionados à pressão atmosférica. Pretende-se que os alunos, em processo mediado pelo professor, sejam levados a refletir sobre elementos físicos que se relacionam ao experimento de Torricelli.

3.1.4. SITUAÇÃO 4 — BEBEDOURO DE PASSARINHOS

Concluindo o ciclo inicial de problematização, a quarta situação busca aproximar os alunos do “contexto” do experimento de Torricelli, e, mais especificamente, guarda relação com um antecedente deste praticamente ausente dos livros didáticos, o experimento de Gasparo Berti.

Nessa situação, um bebedouro de passarinhos (**Figura 3**) e uma porção de água são fornecidos aos alunos, novamente organizados em grupos. Tal como no bebedouro de passarinhos, no experimento de Torricelli e no experimento de Berti ocorrem a sustentação de colunas de líquido. No experimento de Torricelli, o líquido utilizado é o mercúrio, ao passo que o experimento de Berti, anterior àquele, utiliza água.

Esses dois experimentos são tratados nas narrativas histórico-pedagógicas propostas para utilização em etapa posterior da sequência didática.



Figura 3: Bebedouro de passarinhos (foto realizada pelos autores).

O **Quadro 5**, a seguir, traz sugestões de procedimentos e questionamentos.

Quadro 5: Sugestão de questões para a situação 4.

Primeira etapa — Situação 4 — Bebedouro de passarinhos
<p>Enchem totalmente o bebedouro com água. Encaixem a peça inferior de plástico e coloquem o bebedouro na posição em que costuma ser utilizado em viveiros.</p> <ul style="list-style-type: none"> • A água no interior do bebedouro escoar totalmente? Permanece água dentro do bebedouro? • O que ocorre? Por que isso ocorre? Tente explicar. • E se usássemos um bebedouro mais longo e inicialmente cheio de água... o que ocorreria? • Se pudéssemos construir um tubo ainda mais longo... há um limite para o comprimento da coluna de água que pode ser sustentada? • E se outro líquido bem mais denso que a água fosse usado?

Uma coluna de água permanece sustentada no bebedouro. Estimula-se que os grupos construam explicações para aquela situação. Pesquisas empíricas demonstram que alunos do Ensino Médio costumam explicar esse tipo de fenômeno de sustentação da coluna de líquido com base, exclusivamente, em fatores internos ao tubo ou em interações no próprio líquido. Não se costuma notar um direcionamento para fatores externos ao tubo e a pressão atmosférica não é citada. É possível cogitar que surjam explicações do tipo: o líquido da parte em que o passarinho bebe a água segura o líquido do tubo ou, ainda, o líquido não transborda por causa do vazio no topo do bebedouro²¹. Essa última explicação guarda semelhança com o “puxão do vazio”, concepção histórica a ser tratada em narrativa proposta para a sequência didática.

Considerando, portanto, que os estudantes eventualmente *podem* formular explicações baseadas em concepções alternativas para fenômenos como a sustentação da coluna de líquido no bebedouro de passarinho, é interessante que essas sejam trazidas à tona anteriormente ao contato com o experimento de

²¹Fonseca, Drummond, Oliveira, Batista, & Freitas, “Pressão atmosférica e natureza da ciência”.

Torricelli. E, por outro lado, caso surjam explicações que se aproximem da visão científica atual, a problematização sugerida permite que essas venham à tona de modo que, nas próximas etapas, possam ser relacionadas ao experimento de Torricelli.

A mediação pode, ainda, extrapolar a situação observada inicialmente. Sugere-se cogitar a possibilidade de utilização de outro líquido, ou ainda, solicita-se refletir sobre a existência de um limite de comprimento para a coluna de água sustentada. Essas reflexões remontam à própria construção histórica do experimento de Torricelli. Remetem a episódios históricos relacionados às pesquisas de personagens como Gasparo Berti, Galileu Galileu e Evangelista Torricelli, que serão contempladas nas narrativas.

Em conjunto, as reflexões sugeridas para essa quarta situação se relacionam, em essência, a tentar explicar por que uma coluna, seja de água ou de outro líquido, é sustentada. Tal como nas situações precedentes, os registros dos grupos podem ser compartilhados e conclusões coletivas da turma elaboradas com apoio da mediação.

3.2. SEGUNDA ETAPA

Nessa etapa da sequência didática se entrecruzam momentos em que os estudantes são levados a perceberem lacunas em seus saberes e momentos em que são guiados na construção de novos conhecimentos. A etapa é composta por duas partes. A primeira aborda o experimento de Torricelli estimulando conexões que permitem relacioná-lo às atividades realizadas previamente. Ao mesmo tempo, traz elementos que preparam o caminho para a utilização das narrativas históricas na segunda parte dessa etapa.

3.2.1. PARTE 1 — VÍDEO — EXPERIMENTO DE TORRICELLI

Sugere-se a apresentação de vídeo no qual o experimento de Torricelli é realizado (disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=BS09fSTJcEE>). O vídeo musicado mostra um indivíduo realizando um experimento com um tubo de vidro de um metro e mercúrio (**Figura 4**). Após a execução da montagem, o indivíduo realiza a medida da coluna de mercúrio sustentada no interior do tubo. A referência a Torricelli

aparece apenas no início do vídeo, com a apresentação de imagem que retrata o pesquisador, local de

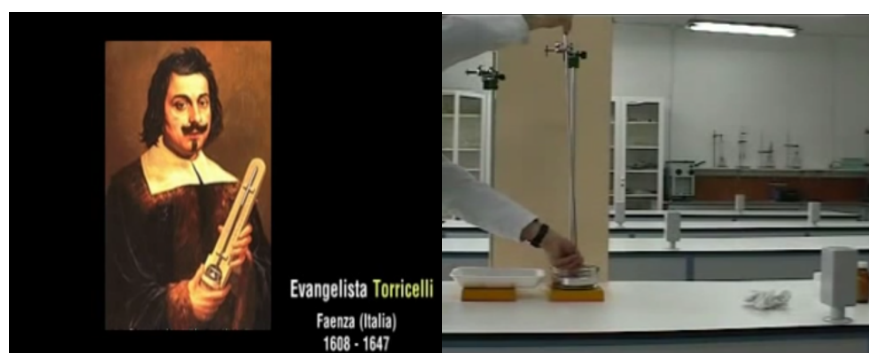


Figura 4: Representações do vídeo “Experiência de Torricelli. FisQuiWeb” (Fonte: <https://www.youtube.com/watch?v=BSo9fSTJcEE>; acesso em 17 de fevereiro de 2021).

nascimento e período em que viveu.

O **Quadro 6**, a seguir, sugere questionamentos para que os alunos discutam em grupos, seguindo o mesmo procedimento adotado na etapa anterior da sequência didática: discussões em grupos — compartilhamento — conclusões coletivas da turma. É possível que essas sinalizem uma eventual multiplicidade de respostas aos questionamentos.

Quadro 6: Sugestão de questões para a parte 1.

Segunda etapa — Parte 1 — Vídeo — Experimento de Torricelli
<ul style="list-style-type: none"> • O que está ocorrendo no vídeo? Vocês já conheciam este experimento? • No início do vídeo aparece um quadro com a imagem de um pesquisador. Quem é? Em que época ele viveu? Onde? Qual a relação dele com esse experimento? • De onde teria vindo a ideia de fazer esse experimento exatamente dessa maneira? Por que será que ele fez esse experimento na época? Por que não utilizou água? • Há alguma relação entre esse experimento e o bebedouro de passarinho que observamos? • O que o pesquisador está medindo? Por que será que ele faz isso? O que significa essa medida? • Quando o pesquisador vira o tubo no recipiente, o que fica na parte de cima do tubo? • Nesse experimento, o líquido utilizado é o mercúrio. Por que o mercúrio não desce totalmente? É algo dentro do tubo que causa isso? Ou algo fora dele? Ou ambas as situações? • E se nesse experimento trocássemos o mercúrio por água? O que ocorreria?

Sugere-se que sejam estimuladas reflexões sobre possíveis relações entre o fenômeno observado no vídeo e as situações cotidianas discutidas na etapa anterior (abertura das embalagens a vácuo e sustentação da água no bebedouro). Considerações científicas formais sobre o experimento não devem ser simplesmente fornecidas pelo professor.

O vídeo apresenta o experimento de Torricelli simplesmente como uma medida da pressão atmosférica. Caso os estudantes já tenham tido contato em sala de aula com esse experimento (e se lembrem do que estudaram), possivelmente irão ensaiar em suas respostas uma descrição nos mesmos

moldes do vídeo, já que é essa a visão reforçada pelos livros didáticos²². Essa descrição simplista será objeto de questionamento de uma das narrativas histórico-pedagógicas propostas para a sequência didática.

Contrariam o que parece simples e óbvio em livros didáticos e no referido vídeo, os resultados de pesquisas empíricas realizadas com estudantes do Ensino Médio. Esse público demonstra acentuada dificuldade na compreensão da sustentação da coluna de líquido em situações análogas ao experimento de Torricelli²³. Nesse sentido, justifica-se estimular que os alunos reflitam a respeito da sustentação da coluna de mercúrio, elaborem hipóteses sobre a utilização de outros líquidos e tentem estabelecer conexões com o funcionamento de mecanismos do cotidiano como o bebedouro de pássaros. Pretende-se colaborar com o ensino do conteúdo pressão atmosférica, uma vez que se busca explorar a relação entre a sua medição (ressaltada pelos livros didáticos) e o seu papel na sustentação da coluna de líquido²⁴.

Outro aspecto importante relacionado ao experimento de Torricelli diz respeito ao que havia na parte superior do tubo. Os livros didáticos simplesmente trazem a afirmação de que havia vácuo nessa região. Nessa etapa da sequência didática os estudantes são inquiridos a esse respeito. Considerando o resultado de pesquisas empíricas, é possível que alguns estudantes justifiquem a sustentação da coluna de mercúrio por meio de explicações que se relacionam ao conteúdo da parte superior do tubo: o espaço acima do mercúrio é preenchido pelo ar para completar o vazio. Essas eventuais explicações guardam semelhanças com concepções históricas plenistas que serão abordadas nas narrativas histórico-pedagógicas. Esses textos destacam que na época de Torricelli havia uma controvérsia sobre o que ocupava a região superior do tubo. Além disso, a explicação da sustentação da coluna de mercúrio baseada na atuação da pressão atmosférica não era única, nem a mais aceita na época de Torricelli.

Solicitar aos alunos que reflitam sobre as inspirações que motivaram aquela montagem significa colocá-los frente a perguntas sem respostas. A preferência pela utilização do mercúrio raramente é explicada no contexto escolar. O experimento parece surgir do nada, tal como no vídeo a que os alunos assistiram. As narrativas históricas propostas trarão respostas para essas lacunas.

3.2.2. PARTE 2 — UTILIZAÇÃO DE NARRATIVAS HISTÓRICO-PEDAGÓGICAS

²²Para uma análise crítica do experimento de Torricelli em livros pode-se consultar Hidalgo, Alves, Souza, & Queiroz, "A História da Ciência (Distorcida ou Ausente)".

²³Alunos do Ensino Médio, participantes de uma pesquisa empírica, foram questionados a respeito da sustentação de coluna de água em garrafa PET emborcada em recipiente com água, ou seja, uma situação análoga ao experimento de Torricelli (conteúdo que já haviam estudado em aula). Para cerca de 40% dos alunos, a água não escoaria totalmente de dentro da garrafa devido a uma interação entre a água do recipiente e a água dentro da garrafa. Houve também referência ao vácuo interno da garrafa impedir a descida da água por exercer algum tipo de força. Houve, ainda, a afirmação de que a coluna de água não poderia descer para evitar a formação do vazio. Apenas 15% dos alunos explicaram o fenômeno de modo próximo à explicação científica atual (Drummond, Oliveira, & Fonseca, *Investigating the Didactic Use*).

²⁴Aspecto pouco explorado pelos livros didáticos, que parecem tomá-lo como óbvio, embora este não o seja para boa parte dos alunos.

Na parte subsequente dessa etapa, sugere-se que os alunos sejam organizados em grupos. Cada grupo recebe três textos históricos, os quais têm como cerne o experimento de Torricelli e foram compostos para utilização na sequência didática.

A história relacionada ao desenvolvimento do conceito de pressão atmosférica e, particularmente, ao experimento de Torricelli é extensa e envolve múltiplos colaboradores. Diversas situações poderiam ser exploradas em atividades didáticas. Foram realizados recortes históricos a fim de permitir um panorama do contexto científico que permeou o trabalho de Torricelli. Em especial, foram trazidos elementos acerca das discussões sobre a hipótese do horror ao vazio, sobre a ideia de pressão atmosférica e sua aplicação a fenômenos então explicados pela primeira hipótese. Esses recortes trazem sinteticamente alusões a Isaac Beeckman, Gasparo Berti, Galileu Galilei, Giovanni Baliani, Michelangelo Ricci e Vincenzo Viviani.

As alusões aos episódios nas narrativas podem ser tomadas para contextualizar a abordagem da temática natureza da ciência por meio de questões abertas: As “descobertas” são individuais ou coletivas? Os cientistas trabalham isoladamente? Os cientistas podem discordar entre si? Quais as possíveis razões para a ocorrência de uma discordância? Houve controvérsias na história da ciência? O conhecimento científico é definitivo ou pode sofrer alterações ao longo do tempo?²⁵

As narrativas podem ser tomadas como contexto para que o professor problematize visões ingênuas sobre a ciência: a visão individualista, na qual a ciência é apresentada como a criação de um gênio isolado, desconsiderando o aspecto colaborativo na ciência; a visão aproblemática e ahistórica, que ignora questões que deram origem aos conhecimentos e controvérsias relacionadas ao desenvolvimento da ciência; a concepção empírico-indutivista e ateórica, a qual desconsidera o papel das hipóteses prévias como orientação nas investigações²⁶.

Como estratégia para a leitura, sugere-se que cada grupo seja orientado a realizar uma leitura participativa na qual todos os integrantes acompanham, mas um deles a realiza em voz audível aos outros integrantes. Essa função pode ser alternada entre os integrantes de forma a garantir dinamismo à atividade.

O **Quadro 7** traz um resumo dos conteúdos e objetivos de cada um desses textos, que estão dispostos como **Apêndice** ao presente trabalho.

Os textos são permeados por questões responsáveis por guiar a atenção dos alunos para determinadas situações-foco a serem discutidas em grupo durante a leitura. Essas questões são destacadas em quadros. A cada conjunto de questões propostas ao longo de um texto, é recomendável que o grupo pause a leitura e discuta sobre o problema proposto. À medida que a leitura se desenvolve, as reflexões

²⁵Martins, “Natureza da Ciência no ensino de ciências”.

²⁶Daniel Gil-Pérez, Isabel F. Montoro, Jaime Alís, António Capachuz, & João Praia, “Para uma imagem não deformada do trabalho científico,” *Ciência & Educação* 7 (2001): 125–153.

suscitadas podem estimular a imaginação dos estudantes, deixando-os sem respostas até as leituras subsequentes, ou, ainda, em alguns casos, podem colaborar para a organização do conhecimento.

Quadro 7: Conteúdos abordados pelas narrativas histórico-pedagógicas.

TEXTO 1 — Introduz a temática do conjunto de textos. Traz trechos de livros didáticos que comentam sobre o experimento de Torricelli. Problematisa-os, evidenciando lacunas nessas descrições. Estimula a imaginação dos estudantes em relação a elementos ausentes nas descrições e gera dúvidas. Abre caminho para os dois textos seguintes.

TEXTO 2 — Traz personagens associados à história subjacente ao experimento de Torricelli. Colabora com informações sobre questionamento anterior: Torricelli não foi o único a pensar sobre pressão atmosférica; Isaac Beeckman também havia pensado. Problematisa a visão de pesquisador isolado. Traz elementos que sugerem a colaboração entre pesquisadores. Menciona o diálogo por cartas entre Giovanni Baliani e Galileu Galilei (mestre de Torricelli). Traz as interpretações divergentes dos dois pesquisadores para o problema do sifão inoperante: horror ao vácuo e pressão atmosférica. Enfatiza a importância da hipótese do horror ao vácuo na época, que será contexto de motivação para o experimento de Torricelli.

TEXTO 3 — Contextualiza historicamente as discussões sobre o vazio. Apresenta o horror ao vazio como pressuposto para explicar fenômenos que, posteriormente, foram reexplicados com a ideia de pressão atmosférica. Traz o experimento de Berti, elaborado para discutir sobre a possibilidade de formação de espaços vazios. A partir desse experimento, que utilizava água e um longo tubo, apresenta as motivações para o experimento de Torricelli: com o mercúrio (mais denso), a possibilidade de usar um tubo menor. A ideia teria partido de Galileu. Contextualiza a contribuição de Torricelli. Ele se opôs à explicação baseada no horror ao vácuo para a sustentação da coluna de mercúrio e interpretou seu experimento a partir da ideia de pressão atmosférica. Procura desconstruir a ideia de gênio isolado e *descoberta da pressão atmosférica no experimento* (visão empirista-indutivista). Sugere que a interpretação de Torricelli não foi aceita imediatamente e as discussões prosseguiram mesmo após o experimento.

O mediador pode orientar os grupos a se manifestarem com um levantar de mão ou um aceno todas as vezes que finalizarem a discussão de um conjunto de questões. Quando todos os grupos concluírem esse mesmo conjunto, o mediador pode dar início ao compartilhamento das conclusões. Sugere-se que os grupos sejam livres para se posicionarem quanto ao ponto de vista dos demais grupos, em concordância ou não. O mediador pode estabelecer uma discussão coletiva de forma a realizar uma síntese de conclusões para o tema proposto. Em seguida, todos podem retornar à leitura até que cheguem a uma nova questão e todo o ciclo recomeça. Esse procedimento pode ser utilizado como abordagem para os três textos, de forma que sejam alternados momentos de leitura e discussão em grupos menores com momentos de discussão coletiva, garantindo, assim, o dinamismo da atividade.

Como apoio ao professor, são destacados no **Apêndice** comentários sobre as questões propostas ao longo das narrativas. Parte dos questionamentos sugeridos para o primeiro texto busca problematizar o experimento de Torricelli no que diz respeito ao seu contexto (**Quadro 8**). Sinalizam ao estudante a insuficiência em seus saberes, ainda que estejam de posse de trechos de livros didáticos que mencionam o experimento. São propostas questões que buscam colaborar com o ensino do conhecimento físico em si, frente às dificuldades de compreensão do fenômeno de sustentação da coluna de mercúrio.

Quadro 8: Questões propostas para o Texto 1.

De acordo com o trecho acima, Torricelli foi “Quem, pela primeira vez, percebeu que <i>o ar exercia pressão e propôs uma experiência para medir a pressão atmosférica</i> ”. Será que Torricelli foi mesmo o primeiro a pensar em pressão atmosférica? Será que ele foi o único a pensar a este respeito?
O trecho do livro didático diz que Torricelli observou que a coluna de líquido se estabilizou a uma altura de 76 cm. <ul style="list-style-type: none"> • Por que a coluna de mercúrio não desce totalmente? Segundo Torricelli, quem era responsável pela sustentação da coluna de mercúrio? Tente explicar o que ele pensou e como pensou (ele pensou em fatores dentro ou fora do tubo? O que seria?). • Como será que ele chegou a essa conclusão? • De acordo com a citação, ele chegou a pensar em mais alguma hipótese? Será que ele poderia pensar em mais alguma hipótese? Tente pensar em outra hipótese.
“Assim, a pressão atmosférica no local onde ele realizou o experimento seria equivalente à pressão de uma coluna líquida de mercúrio de 76 cm de comprimento.” <ul style="list-style-type: none"> • O que quer dizer o trecho acima? (Dica: Tente relacionar pressão ao comprimento da coluna de líquido.) • Observando a citação... ela quer dizer que em outro local a pressão atmosférica poderia ser diferente? Explique.
Como Torricelli poderia propor aquela montagem experimental tão específica do nada, sem nenhuma inspiração anterior? Pensando em líquidos acessíveis no dia a dia... seria mais razoável Torricelli usar água ou mercúrio? De acordo com a segunda citação, Torricelli concluiu que havia vácuo no topo do tubo. Como será que ele chegou a essa conclusão? Que importância teria para Torricelli essa conclusão?
Em um caso anterior, observamos um bebedouro de passarinho... Vamos usar a ideia de Torricelli que está na segunda citação apresentada no texto. Usando essa ideia, tente explicar por que a água não desceu totalmente no bebedouro. Ou seja, tente relacionar os dois casos, o bebedouro de passarinho e o experimento de Torricelli. No experimento de Torricelli, o mercúrio se estabiliza formando uma coluna de 76 cm. Agora, sabendo que o mercúrio é mais denso que a água, imagine que decidimos usar água nesse experimento no lugar de mercúrio. Como seria? Há um tamanho máximo dessa coluna de água que se pode ser sustentada? Ela é menor ou maior do que a coluna de mercúrio? Explique por quê.

As questões propostas para o segundo texto, ao mesmo tempo em que trazem elementos problematizadores, já inserem os estudantes em processo de *organização do conhecimento*, inclusive resgatando contribuições da etapa anterior das discussões (vide **Quadro 9**). Por exemplo, sugere que sejam pensadas relações entre o funcionamento do bebedouro de pássaros e a sustentação do mercúrio no experimento de Torricelli.

Quadro 9: Questões propostas para o Texto 2.

Baliani e Galileu partiram de princípios distintos e discutiram o não funcionamento do sifão. Que princípios foram esses? Quais as explicações dos dois pesquisadores para esse mesmo fenômeno?
O texto cita a concepção do “horror ao vazio”. Tente explicá-la a partir da leitura realizada.
No primeiro texto havia uma citação extraída de livro didático segundo a qual Torricelli: “supôs então que na parte vazia do tubo havia vácuo”. Essa citação não explicava a importância que teria para Torricelli a consideração de que no alto do tubo havia vácuo. Considere agora o que acabamos de ler nesse segundo texto. Que importância tinha para Torricelli essa afirmação? De que forma ela se relacionava ao contexto da época?

O “horror ao vácuo” foi uma concepção científica muito importante no passado, mas não é mais aceita atualmente. Quando discutimos sobre o café embalado a vácuo, notamos um barulho quando elas foram abertas.

Considere a afirmação de Isaac Beeckman e tente explicar o que ocorre na abertura dessas embalagens: “Mostrei que o ar é pesado [...]. [...] as coisas se precipitam com grande poder para um lugar vazio, por causa da grande altura do ar que está acima delas e pelo que daí resulta.” Coloque-se, agora, no lugar de um pesquisador do passado e imagine que a natureza tivesse “horror ao vazio”. Tente explicar o que ocorreria na abertura da embalagem, segundo esse outro ponto de vista. O “horror ao vácuo” foi uma concepção científica muito importante no passado, mas não é mais aceita atualmente, isto é, não é mais válida do ponto de vista científico.

Vamos voltar a um questionamento que fizemos no texto anterior. Utilize agora elementos desse novo texto em sua reflexão. Será que Torricelli foi mesmo o primeiro a pensar em pressão atmosférica? Será que ele foi o único a pensar a este respeito?

O processo de organização abrange tanto o conhecimento físico, como o histórico. Lacunas observadas na problematização sobre o contexto histórico no primeiro texto começam a ser preenchidas. Esse processo é finalizado com reflexões sugeridas pelo terceiro texto (**Quadro 10**).

Quadro 10: Questões propostas para o Texto 3.

Nesse texto aparece um experimento que antecedeu e serviu de inspiração para o experimento de Torricelli.

- Que experimento foi esse? Quem o realizou?
- Qual o objetivo desse experimento?
- Quais foram as conclusões do pesquisador? Essas conclusões foram totalmente aceitas? Explique.

Que semelhanças e diferenças existiam em relação ao experimento realizado por Torricelli? Que alteração Torricelli realizou e por que ele fez isso? De onde teriam saído as ideias para essas mudanças?

Considerando os antecedentes do experimento de Torricelli e os objetivos do próprio Torricelli ao realizar esse trabalho, explique como ele pode ser inserido no contexto das discussões sobre o horror ao vazio.

Ao comentar sobre o seu experimento da carta ao pesquisador Michelângelo Ricci, Torricelli trata de discutir dois assuntos: 1) a formação ou não do vazio; 2) a questão da sustentação da coluna do mercúrio. Sobre a aceitação de suas ideias, qual era a expectativa de Torricelli? Por quê?

O que Torricelli argumentou sobre esses dois assuntos?

Os três textos em conjunto trazem informações sobre o desenvolvimento e a aceitação do conceito de pressão atmosférica. Que aspectos chamam a sua atenção?

Considerando os elementos trazidos pelos três textos, reflita sobre os seguintes temas:

- Os pesquisadores podem discordar entre si? Existem controvérsias na ciência?
- A ciência é uma construção individual ou coletiva?
- O conhecimento científico é permanente ou provisório?

Considerando a interpretação de Torricelli para a sustentação da coluna de mercúrio, relacione o experimento de Torricelli à possibilidade de medir a pressão atmosférica.

Outro aspecto importante a ser notado diz respeito à *aplicação do conhecimento*. Uma das questões propostas no segundo texto, por exemplo, solicita que os estudantes retornem à situação de abertura da embalagem de café. Pede-se que elaborem duas explicações para o que ocorre, cada uma sob um ponto de vista: a visão de Beeckman sobre a pressão atmosférica e a concepção do horror ao vácuo. Uma explicação, a primeira, seria atualmente aceita sob o ponto de vista científico, enquanto a segunda não.

Pretende-se que, no trabalho em sala de aula com os textos, Física e História se relacionem intrinsecamente, de modo que o ensino do experimento de Torricelli se beneficie dessa interligação. Parte-se do princípio de que a História e a Filosofia da Ciência contribuem para “uma compreensão melhor dos conceitos científicos por traçar seu desenvolvimento e aperfeiçoamento”²⁷ e que “a compreensão dos conhecimentos físicos está intrinsecamente relacionada ao entendimento dos problemas a que tais conhecimentos buscaram responder”²⁸.

3.3. TERCEIRA ETAPA

Nessa última etapa, sugere-se que os alunos abordem problemas que guardam relações estreitas com o experimento de Torricelli, cerne da sequência didática. Pretende-se a aplicação de conhecimentos construídos ao longo das etapas anteriores²⁹.

Sugere-se que os alunos estejam organizados em grupos com 4 ou 5 componentes. Com os grupos formados, o professor pode apresentar aos alunos duas situações-problema (**Quadro 11**).

Quadro 11: Problemas propostos para a Terceira Etapa.

Situações-problema
<ul style="list-style-type: none"> Com um prego aquecido fizemos pequenos furos no fundo de uma garrafa plástica. Em seguida, colocamos a garrafa de pé em uma bacia com água. Enchemos a garrafa com água e a fechamos com sua tampa. Suspendemos a garrafa sobre a bacia, segurando-a até que deixar de pingar. Mesmo com os furos no fundo da garrafa, a água não escorre do interior da garrafa. Como poderíamos explicar que a água não escorra de dentro de uma garrafa furada no fundo?

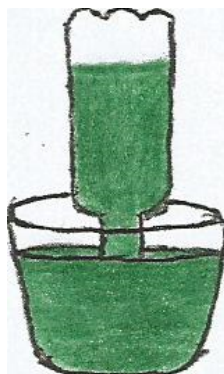


²⁷Matthews, “História, filosofia e ensino de ciências”, 172.

²⁸Michael Matthews, *Science teaching: the role of history and philosophy of science* (New York: Routledge, 1994): 50.

²⁹Problemas baseados em testes citados em Drummond, Oliveira, & Fonseca, *Investigating the Didactic Use*.

- Colocamos um pouco da água em uma garrafa e em um recipiente transparente. Misturamos corante verde à água para melhor visualização. Em seguida, colocamos a garrafa de ponta cabeça dentro do recipiente. A água que está na garrafa não escoou totalmente para baixo.



Cada grupo pode se dedicar à discussão de apenas uma situação-problema, havendo na turma pelo menos dois grupos com uma questão. Inicialmente, de forma autônoma, sem interferência do professor, os componentes de cada grupo podem discutir entre si a questão proposta e elaborar uma conclusão. Em seguida, as conclusões podem ser compartilhadas com toda a turma, em registro escrito em quadro. O professor pode observar eventuais semelhanças e divergências nas conclusões, mediando a interação entre os grupos de forma que os argumentos usados para sustentar visões divergentes venham à tona. Finalmente, pode-se envolver toda a turma, inclusive aqueles que se dedicaram ao exame da outra situação-problema, estimulando que opinem de modo justificado. O mesmo procedimento pode ser realizado para a outra situação-problema.

Cabe ao professor mediar as discussões de forma que explicações satisfatórias sejam estabelecidas a partir das contribuições dos alunos. O professor pode conduzir a mediação de modo a estabelecer relações entre as etapas anteriores e os elementos aludidos pelos alunos em suas conclusões. É importante que o resgate desses elementos garanta coerência e aprofundamento à aplicação da sequência didática.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A proposta didática ora apresentada possibilita uma contextualização do conteúdo físico *pressão atmosférica* (e *vácuo*) em duas faces. Lança-se mão tanto de objetos de fácil acesso aos professores e estudantes de Ensino Médio — café a vácuo e bebedouro de pássaros, tomados como exemplos — quanto de narrativas histórico-pedagógicas cuidadosamente construídas. Em uma interface entre *História da Ciência e Ensino*, dispor desses recursos educacionais e mediar aulas segundo essa proposta possibilita ao professor enriquecer o processo de ensino-aprendizagem ao tratar lacunas decorrentes de má, insuficiente ou ausente transposição em livros didáticos.

É imprescindível permitir que os estudantes apresentem explicações para fenômenos que envolvem

os ruídos e as sustentações das colunas de líquidos mencionados, uma vez que, dessas apresentações, descortinam-se traços de visões plenistas. Pressupondo isso, à luz de resultados de pesquisa empírica, a escolha por um entrelaçar didático entre o contexto cotidiano e o histórico avigora a dialogicidade em sala de aula.

Não se pretende que os estudantes leiam, passivamente, uma história da ciência *add-on* reduzida a datas, grandes (e poucos) nomes responsáveis por feitos sobre-humanos. Antes, é visado um saber escolar historicamente contextualizado, que responda ao *porquê*, *como* e *para que* de sua construção e de seu valor cultural. Não negando que o hoje dito *Experimento de Torricelli* importa para se lecionar o conteúdo *pressão atmosférica*, contrapõe-se à apresentação simplista dele quando o vácuo no topo da coluna de vidro é tomado como elemento axiomático. Em contraste, no século XVII prevalecia a doutrina do horror ao vazio, *horror vacui*.

Importa salientar que não nos dirigimos “ao interlocutor professor a partir de falas autoritárias e prescritivas, indicando como deve ser feito o seu trabalho”³⁰. O ato de prescrever pressupõe autoridade, mas não implica necessariamente autoritarismo. Não se nega a liberdade de cátedra, posto que não se nega o que preconiza a Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional. Caso o professor decida fazer uso da proposta didática, em sua qualidade de subsídio, caberá a ele, se necessário for, adaptá-la ao seu próprio contexto de ensino-aprendizagem.

Desde 2018, tem-se lançado mão dela no Atheneu Norte-Riograndense, uma escola estadual em tempo integral, situada na capital potiguar, Natal/RN. A inserção didática da proposta envolveu até o momento mais de 250 estudantes de 1ª série do Ensino Médio. A seguir, fazemos breves apontamentos à luz dessa inserção.

Em pequenos grupos, os estudantes se organizam e responsabilizam-se por levar à sala de aula tanto uma unidade de café embalado a vácuo quanto uma conserva em pote de tampa “abre fácil” (além de 2 recipientes para armazenamento desses itens após a abertura das embalagens, evitando desperdícios).

Visão, audição, tato e cognição são aguçados nos procedimentos e, quando os pequenos grupos elaboram explicações, às vezes não consensuais, representantes são convidados a registrá-las no quadro branco da sala. Orientada pelo professor, toda a turma passa a discutir os ruídos e as alterações nas embalagens, tomando ciência das concordâncias ou discordâncias de explicações.

É recorrente estudantes suporem que pressões internas estejam relacionadas às formas das embalagens. As causas dos ruídos seriam, por consequência, fluxos de saída de ar, uma concepção alternativa explícita em suas falas.

³⁰Néryla Dias, Alberto Gomes, & Paulo Raboni, “A Pesquisa na Formação de Professores de Física: as produções da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações no período 2012-2017,” *Ciência & Educação* 26 (2020): e20041.

Os demais recursos materiais, por não se perderem para usos nas diversas turmas quando das aberturas, são disponibilizados pelo professor aos estudantes. O vídeo do processo de embalagem a vácuo serve de retomada da expressão “a vácuo” já discutida na situação inicial, com o café. Especialmente, retomam-se explicações contraditórias, não percebidas como tais pelos estudantes. Se o processo a vácuo consiste em demover o ar das embalagens, poderiam os ruídos ser causados por fluxos de saída do ar?

Por sua vez, o uso do bebedouro de pássaros, sobretudo a busca por explicar seu funcionamento, configura-se em dificuldade para todos os grupos. Propor a troca da água por um líquido mais pesado e questionar se há limite de altura para a coluna de água sustentada no bebedouro são, por vezes, elementos a respeito de que os estudantes solicitam esclarecimentos. Faltam-lhes conhecimento. Para o professor, consciente de toda a proposta didática, essas principais dúvidas são relacionáveis aos experimentos de Berti e de Torricelli, abordados nas narrativas histórico-pedagógicas.

Quando o vídeo do experimento de Torricelli é exibido, alguns estudantes pensam que o tubo de vidro repleto de mercúrio é entornado em uma cuba de água. Não sabemos ao certo, mas o brilho do mercúrio, somado à inadequada iluminação da sala de aula para exibição de vídeos, talvez seja a fonte dessa percepção indesejável. Faz-se sempre necessário esclarecer, então, que o experimento utiliza apenas mercúrio. As turmas costumam concordar que há semelhanças entre esse experimento e o bebedouro de pássaros, e discordar sobre haver ou não ar acima da coluna, no interior do tubo.

Seguindo-se à primeira narrativa histórico-pedagógica, apesar de lerem sem expressões de dúvidas, em geral os estudantes não demonstram a desconfiança pretendida na construção textual. Torricelli teria antecedentes? Após anos de construção social, o mito do gênio eremítico parece arraigado e a primeira narrativa, isoladamente, não cumpre seu propósito. Porém, indissociável às duas outras, serve à posterior compreensão do conhecimento científico na qualidade de construção humana coletiva.

Para melhor entendimento da segunda narrativa histórico-pedagógica, o professor costuma dedicar atenção ao episódio do sifão inoperante, motivo de divergências entre os pensadores Baliani e Galileu. Afinal, o que é um sifão? Os estudantes, majoritariamente, não sabem. Ilustram-se no quadro branco os dois vales mencionados na narrativa e, entre eles, o sifão. Além disso, apresenta-se a altura envolvida no problema e o sentido em que a água deveria transitar.

Com as distintas interpretações dos dois pensadores apresentadas, problematiza-se a visão empirista-indutivista de ciência. Importa enfatizar o tratamento dessa visão simplista, também com o uso da terceira narrativa, porque parte dos estudantes têm afirmado, às vezes com insistência, que, tão logo “comprovados”, “argumentos e fatos” são aceitos, porque científicos. Faz-se notar a provisoriedade do conhecimento nos limites do episódio em destaque.

A proposta didática, por fim, indica duas situações-problema. Se há restrição do tempo didático em face do currículo disciplinar avultoso, opta-se por apenas uma. No Atheneu Norte-Riograndense, o professor

tem escolhido fazer uso de uma garrafa PET com pequenos furos no fundo, preenchida com água. Quando tampada, a água não escoava e, quando destampada, a água escoava pelos furos. Por quê? Com brevidade os estudantes têm respondido.

O professor sistematiza as respostas, consolidando o processo multicontextual (conceitual e histórico-filosófico) de ensino-aprendizagem do conceito de pressão atmosférica. Não há álgebra na proposta didática, visto que essa não era a abordagem à época, no século XVII. Se posterior e complementar, tal como o foi historicamente, é inegável a pertinência do ensino algébrico. Desse modo, a sequência didática apresentada contribui com aspectos importantes para a abordagem do conceito de pressão atmosférica, promovendo reflexões que permitem a participação ativa dos alunos em processo dialógico, no qual a mediação do professor vem se demonstrando fundamental.

SOBRE OS AUTORES:

Juliana M. Hidalgo

Programa Nacional de Mestrado Profissional em Ensino de Física
Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências Naturais e Matemática
Departamento de Física
Universidade Federal do Rio Grande do Norte
julianahidalgo@fisica.ufrn.br

Jardes Martins Alves

Programa Nacional de Mestrado Profissional em Ensino de Física
Universidade Federal do Rio Grande do Norte

Daniel de Medeiros Queiroz

Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências Naturais e Matemática
Universidade Federal do Rio Grande do Norte

Artigo recebido em 26 de setembro de 2012
Aceito para publicação em 17 de novembro de 2012

APÊNDICE — NARRATIVAS HISTÓRICO-PEDAGÓGICAS

TEXTO 1
**MUITOS QUESTIONAMENTOS:
TORRICELLI E A PRESSÃO ATMOSFÉRICA...**

Alguns conceitos estudados em sala de aula estão relacionados a situações frequentes da sua vida. O conceito de pressão atmosférica é um bom exemplo disso. Basta ver uma notícia sobre a previsão do tempo que ele aparecerá. Mas o que será a pressão atmosférica? Como surgiu o conceito de pressão atmosférica?

Os livros didáticos usados nas escolas trazem afirmações como essa:

Quem, pela primeira vez, percebeu que o ar exercia pressão e propôs uma experiência para medir a pressão atmosférica foi o físico italiano Evangelista Torricelli (1608–1647).



Fig. 1 — Evangelista Torricelli. Fonte:

<http://www.geocities.ws/saladefisica9/biografias/torricelli.html>.

De acordo com o trecho acima, Torricelli percebeu que “o ar exercia pressão e propôs uma experiência para medir a pressão atmosférica”.

QUESTÃO PARA REFLETIRMOS

- Será que Torricelli foi mesmo o primeiro a pensar em pressão atmosférica? Será que ele foi o único a pensar a esse respeito?

Evangelista Torricelli foi o pesquisador que ficou famoso por trabalhar com a ideia de pressão atmosférica. Também ficou famoso o experimento que leva seu nome, cuja descrição costuma ser a seguinte em livros didáticos:

Torricelli utilizou um tubo com cerca de 1 m de comprimento, fechado em uma das extremidades e cheio de mercúrio [...]. Ele mergulhou a extremidade aberta do tubo em um recipiente também contendo mercúrio e observou que a coluna de líquido desceu até estabilizar a uma altura de 76 cm. Ele supôs então que na parte vazia do tubo havia vácuo e concluiu que a pressão atmosférica era a responsável pelo equilíbrio da coluna de mercúrio. Assim, a pressão atmosférica no local onde ele realizou o experimento seria equivalente à pressão de uma coluna líquida de mercúrio de 76 cm de comprimento.

PARA REFLETIRMOS

- Como Torricelli poderia propor aquela montagem experimental tão específica do nada, sem nenhuma inspiração anterior?
- Pensando em líquidos acessíveis no dia a dia... seria mais razoável Torricelli usar água ou mercúrio?
- De acordo com a segunda citação, Torricelli concluiu que havia vácuo no topo do tubo. Como será que ele chegou a essa conclusão? Que importância teria para Torricelli essa conclusão?

EM FOCO — VAMOS DISCUTIR

- 1) O trecho do livro didático diz que Torricelli observou que a coluna de líquido se estabilizou a uma altura de 76 cm.
 - Por que a coluna de mercúrio não desce totalmente? Segundo Torricelli, quem era responsável pela sustentação da coluna de mercúrio? Tente explicar o que ele pensou e como pensou. (Ele pensou em fatores dentro ou fora do tubo? O que seria?)
 - Como será que ele chegou a essa conclusão?

- De acordo com a citação, ele chegou a pensar em mais alguma hipótese? Será que ele poderia pensar em mais alguma hipótese? Tente pensar em outra hipótese.

2) “Assim, a pressão atmosférica no local onde ele realizou o experimento seria equivalente à pressão de uma coluna líquida de mercúrio de 76 cm de comprimento.”

- O que quer dizer o trecho acima? (Dica: Tente relacionar pressão ao comprimento da coluna de líquido.)
- Observando a citação... ela quer dizer que em outro local a pressão atmosférica poderia ser diferente? Explique.

Os dois trechos de livros didáticos citados anteriormente representam como o surgimento do conceito de pressão atmosférica costuma ser explicado. Mas, sinta-se convidado a pensar conosco sobre o seguinte: esses trechos são suficientes, isto é, alcançam o objetivo de explicar o surgimento do conceito de pressão atmosférica?

Os trechos indicam que Torricelli foi o primeiro a pensar em pressão atmosférica. Além disso, dão a entender que tão logo Torricelli concebeu a ideia de pressão atmosférica ele já propôs um experimento para mensurar o seu valor, medir o peso do ar.

Genial!!! Não acha? Se fosse você no lugar de Torricelli teria feito um trabalho tão esplêndido e tão eficaz? Creio que sua resposta seja... não. E partindo desse ponto... algum pesquisador poderia ser mesmo tão genial?

São muitas questões. Vamos com calma... que poderemos esclarecer algumas delas.

MAIS ALGUMAS REFLEXÕES

Em um caso anterior, observamos um bebedouro de passarinhos...

- Vamos usar a ideia de Torricelli que está na segunda citação apresentada no texto. Usando essa ideia, tente explicar o porquê de a água não descer totalmente no bebedouro. Ou seja, tente relacionar os dois casos, o bebedouro de passarinhos e o experimento de Torricelli.
- No experimento de Torricelli, o mercúrio se estabiliza formando uma coluna de 76 cm. Agora, sabendo que o mercúrio é mais denso que a água, imagine que decidimos usar água nesse experimento no lugar de mercúrio. Como seria? Há um tamanho máximo dessa coluna de água que pode ser sustentada? Ela é menor ou maior do que a coluna de mercúrio? Explique por quê.

TEXTO 1 (COMENTÁRIOS DE APOIO AO PROFESSOR)

Questão para refletirmos

Comentário — A citação extraída de um livro didático e utilizada no Texto 1 não faz referência a outros pesquisadores que contribuíram para a construção do conceito de pressão atmosférica. Por consequência, transmite a ideia equivocada de que Torricelli desenvolveu o experimento sozinho, sem a contribuição de antecedentes, sem inspirar-se no trabalho de outros pesquisadores. Seria a ciência socialmente construída por meio da colaboração de muitos atores? Essa temática pode ser discutida a partir dos episódios históricos citados.

Para refletirmos

Comentário — Essas questões visam sinalizar que há lacunas nas narrativas sobre o experimento de Torricelli trazidas pelos trechos extraídos de livros didáticos. Essas lacunas serão trabalhadas no decorrer dos demais textos, o que permitirá contextualizar adequadamente o experimento e, conseqüentemente compreendê-lo melhor. Abre-se caminho para desconfiar que Torricelli não deve ter tido aquelas ideias sozinho, sem se inspirar em nada. Além disso, sendo a água mais acessível que o mercúrio, seria mais razoável utilizar água na montagem experimental. De fato, como será abordado nos demais textos, Torricelli se inspirou em conhecimentos e experimentos anteriores. O experimento de Berti, que utilizava água em lugar de mercúrio, foi uma de suas inspirações. A citação oculta o contexto da discussão sobre o horror ao vácuo, na qual Torricelli estava envolvido. Ainda assim, o livro chama atenção para “o vácuo no topo do tubo” sem deixar clara a importância dessa consideração, nem como Torricelli chegou a essa conclusão. Esse questionamento abre caminho para a contextualização histórica do experimento de Torricelli trazida pelos dois últimos textos.

Em foco — Vamos discutir

Comentário — Para responderem à primeira questão proposta, os alunos dispõem de informações na própria citação. Podem, ainda, eventualmente, trazer elementos das etapas anteriores da sequência didática. Por outro lado, a citação não deixa claro como Torricelli chegou a essa conclusão, não cita influências antecedentes, nem parece haver a possibilidade de qualquer visão alternativa sobre o experimento em questão. O questionamento seguinte extrapola o conteúdo da citação e estimula a imaginação do aluno. Na época, o experimento de Torricelli podia ser explicado segundo a hipótese do horror ao vácuo. Torricelli conhecia e se opunha a essa explicação. A citação, no entanto, registra a explicação de Torricelli como única possibilidade. Pesquisas empíricas realizadas com alunos do Ensino Médio indicam significativa dificuldade na compreensão do experimento de Torricelli.

A reflexão estimulada pela solicitação de interpretar a citação busca colaborar para que o estudante vá além de apreender o resultado numérico da medida da pressão atmosférica, mas sim perceba por que essa medida pode ocorrer a partir da coluna de líquido. Torricelli compreendeu que o experimento poderia, por exemplo, servir para comparar altitudes de locais diferentes. O questionamento subsequente propõe uma extrapolação nessa direção: a pressão atmosférica varia de um lugar para outro. Sendo assim, aquela montagem experimental poderia ser muito útil.

Mais algumas reflexões

Comentário — Os questionamentos remetem à situação anterior discutida na sequência didática, a sustentação da água no bebedouro de passarinhos. O experimento de Torricelli é, assim, relacionado à situação cotidiana previamente explorada. Uma extrapolação é, ainda, sugerida, o uso da água no lugar do mercúrio. A discussão dessa substituição se dá em termos conceituais.

TEXTO 2 ANTECEDENTES DO EXPERIMENTO DE TORRICELLI

No texto anterior, fizemos algumas perguntas que ficaram sem respostas. Por exemplo... Será que Torricelli foi o primeiro a pensar sobre pressão atmosférica? Ele descobriu a pressão atmosférica ao fazer seu experimento?

Provavelmente você nunca ouviu falar sobre o holandês Isaac Beeckman. Os livros didáticos de Física não costumam mencionar o nome de Beeckman quando tratam da ideia de pressão atmosférica. Isaac Beeckman e Evangelista Torricelli (esse sim certamente citado pelo seu livro) foram contemporâneos. Beeckman viveu de 1588 a 1637. E, como indicado no texto anterior, Torricelli viveu de 1608 até 1647.



Fig. 2 — Trabalho publicado por Torricelli. Fonte: <<https://www.maa.org/press/periodicals/convergence/mathematical-treasure-academic-lectures-by-torricelli>>.

O trecho a seguir foi escrito por Beeckman:

Mostrei que o ar é pesado, que ele nos pressiona de todos os lados de um modo uniforme, de modo que não sofremos por essa pressão [...].

Torricelli, então, não foi o único a se referir à pressão do ar. Beeckman havia feito aquelas afirmações anteriormente e seguiu dizendo:

Mostrei que o ar é pesado [...]. [...] as coisas se precipitam com grande poder para um lugar vazio, por causa da grande altura do ar que está acima delas e pelo que daí resulta.

Beeckman considerava que as coisas eram “empurradas” pelo ar, de forma que preenchiam espaços vazios por causa dessa atuação do ar. Isso era diferente do que se pensava na época: as coisas por si próprias buscavam ocupar lugares que tendessem a ficar vazios, porque obedeciam à regra de que a natureza não permitia a formação de espaços vazios. Esse era o chamado “horror ao vazio” ou “horror ao vácuo”.

A discussão dessa ideia tem tudo a ver com outras perguntas que fizemos no texto anterior: Como Torricelli poderia propor um experimento tão específico do nada, sem nenhuma inspiração anterior? Por que ele sugeriu aquela montagem? Em busca de respostas, vamos a algumas cenas importantes da História da Ciência...

Muito provavelmente você já ouviu falar sobre o pesquisador Galileu Galilei (1564–1642), famoso pelo telescópio e por defender que a Terra girava em torno do Sol. Mas o que será que Galileu tem a ver com o assunto que estamos tratando?

Como era hábito na época, Galileu se comunicava por carta com vários pesquisadores. Em 1630, um pesquisador chamado Giovanni Baliani (1582–1666) escreveu a Galileu sobre um problema prático. Era uma tentativa de transferir água por meio de um sifão, um tubo com ramos desiguais, usado para passar líquidos de um reservatório para outro. Nesse caso, a intenção era fazer a água passar de um vale a outro, por meio de um sifão que precisava subir uma colina de pouco mais de 20 metros.

Os dois lados do sifão foram preenchidos com água e tampados na parte inferior. Quando destampados, esperava-se que a água percorresse o sifão de modo a *evitar a formação de um espaço vazio dentro do sifão*. O procedimento, então, deveria funcionar para o fim desejado, já que a natureza teria “horror ao vazio”. Baliani, no entanto, relatou a Galileu uma surpresa: quando destampados os lados do sifão, a água saiu completamente pelos dois lados. O sifão não funcionou. A água não foi transportada como queriam.

Galileu Galilei respondeu que a água se elevava no sifão porque as porções de matéria tendiam a ficar juntas de forma a evitar o vazio. No entanto, segundo Galileu, havia um ponto crítico — pouco mais de 10 m — no qual a coluna de água se rompia. Assim como uma corda muito esticada se rompia, para Galileu era impossível “esticar” a coluna de água até 20 m de altura.

Baliani não concordou com essa explicação. Para ele, o ar atuava na superfície do reservatório, pressionando a água, forçando-a a subir pelo tubo. No entanto, como a própria água também tinha peso, a pressão do ar conseguia fazer com que ela fosse elevada somente até certa altura limite de cerca de 10 m. Baliani pensava de forma semelhante ao que Beeckman havia sugerido: a água *não* subia para evitar o vazio, mas sim era *empurrada* pelo ar que a pressionava.

Já deve ter dado para notar que Torricelli não era o único a pensar em termos de pressão do ar, nem foi o primeiro. Mas, então, o que Torricelli de fato fez?

Ah... um ponto importante para o próximo texto: Torricelli foi discípulo de Galileu e muito influenciado pelas pesquisas do seu mestre! Sabe aquela questão da coluna de água se “esticar” até certo limite? Segundo Galileu, para cada líquido essa altura variava. Ele parecia estar pensando em testar com líquidos bem mais pesados (densos) que a água normal. Em suas anotações, Galileu teria registrado: tentar com água do mar, com *mercúrio*... Outro ponto importante para a gente se lembrar é uma pergunta central na época: “a natureza permite a formação de espaços vazios?”

O QUE ENTENDEMOS?

O texto cita a concepção do “horror ao vazio”. Tente explicá-la a partir da leitura realizada.

RELACIONANDO AO PRIMEIRO TEXTO

No primeiro texto havia uma citação extraída de livro didático segundo a qual Torricelli: “*supôs então que na parte vazia do tubo havia vácuo*”. Essa citação não explicava a importância que teria para Torricelli a consideração de que no alto do tubo havia vácuo. Considere agora o que acabamos de ler nesse segundo texto. Que importância tinha para Torricelli essa afirmação? De que forma ela se relacionava ao contexto da época?

EM FOCO — VAMOS DISCUTIR

Baliani e Galileu partiram de princípios distintos e discutiram o não funcionamento do sifão. Que princípios foram esses? Quais as explicações dos dois pesquisadores para esse mesmo fenômeno?

MAIS ALGUMAS REFLEXÕES

Quando discutimos sobre o café embalado a vácuo, notamos um barulho quando elas foram abertas.

Considere a afirmação de Isaac Beeckman e tente explicar o que ocorre na abertura dessas embalagens: “*Mostrei que o ar é pesado [...]. [...] as coisas se precipitam com grande poder para um lugar vazio, por causa da grande altura do ar que está acima delas e pelo que daí resulta.*”

Coloque-se, agora, no lugar de um pesquisador do passado e imagine que a natureza tivesse “horror ao vazio”. Tente explicar o que ocorreria na abertura da embalagem, segundo esse outro ponto de vista. O “horror ao vácuo” foi uma concepção científica muito importante no passado, mas não é mais aceita atualmente, isto é, não é mais válida do ponto de vista científico.

RETOMANDO

Vamos voltar a um questionamento que fizemos no texto anterior. Utilize agora elementos desse novo texto em sua reflexão. Será que Torricelli foi mesmo o primeiro a pensar em pressão atmosférica? Será que ele foi o único a pensar a este respeito?

TEXTO 2 (COMENTÁRIOS DE APOIO AO PROFESSOR)

O que entendemos?

Comentário — O conteúdo do segundo texto permite que os alunos expliquem o que seria o “horror ao vácuo”. No processo de mediação, a atuação do professor é essencial para que possíveis dúvidas sejam esclarecidas. Além dos elementos apresentados no texto, o professor pode trazer outros exemplos de interpretações sobre fenômenos físicos à luz do “horror ao vácuo”. Eventualmente, é possível que na primeira etapa da sequência didática tenham surgido concepções alternativas que remontem a visões plenistas e guardem alguma semelhança com o “horror ao vácuo”. Caso essas concepções tenham se manifestado, pode ser interessante que o professor chame a atenção, lembrando-as, ao mesmo tempo em que se refere ao “horror ao vácuo”.

Nesse caso, é necessária habilidade do professor para registrar que, historicamente, houve com o passar do tempo um abandono dessas visões à medida que a ideia de pressão atmosférica foi usada para interpretar fenômenos então associados ao horror ao vácuo.

Relacionando ao primeiro texto

Comentário — No segundo texto, os alunos têm contato com o “horror ao vácuo” e podem perceber que o trabalho de Torricelli se inseria no contexto das discussões sobre o vazio. Podem ser notados indícios de que Torricelli aceitava a existência do vazio. Esse aspecto será retomado no terceiro texto.

Em foco — Vamos discutir

Comentário — As cartas trocadas entre Baliani e Galileu são um exemplo da colaboração entre pesquisadores. Com pontos de vista diferentes, ambos propõem soluções para o problema proposto: Baliani se apoia na ideia de pressão atmosférica, enquanto Galileu se apoia na ideia de que a matéria tende a permanecer unida evitando vazios “internos” extensos. Assim, Galileu explica que há um limite máximo para que a coluna de água se eleve, tal como uma corda ao ser esticada tem um limite. Baliani, por outro lado, afirma que o ar exerce pressão empurrando a coluna de ar até que haja equilíbrio. A ciência é feita de modo individual ou coletivo? Essa temática pode ser explorada pelo professor na mediação com base nesse episódio histórico.

Mais algumas reflexões

Essa questão diz respeito à *aplicação do conhecimento*. Solicita que os estudantes retornem à situação de abertura da embalagem de café e elaborem duas explicações para o que ocorre, cada uma aplicando um ponto de vista: a concepção de Beeckman sobre a pressão atmosférica e a concepção do horror ao vácuo. Para que possam fazê-lo, precisam compreender essas duas concepções e relacioná-las àquilo que discutiram na etapa inicial de problematização. É fundamental a mediação do professor, considerando o grau de sofisticação da proposta, que exige imaginação e criatividade. Outro aspecto que pode ser explorado na mediação diz respeito a comparar essas duas explicações às reflexões da turma na etapa de problematização.

Retomando

Comentário — Voltando à problematização realizada no primeiro texto, os estudantes são, com essa questão, levados à organização dos novos conhecimentos.

TEXTO 3 AFINAL... O QUE TORRICELLI FEZ?

Já tivemos respostas para algumas questões propostas no primeiro texto.

Toricelli não era o único a pensar na pressão do ar. Portanto, ele não a descobriu em seu experimento famoso. Beeckman havia pensado na pressão do ar.

Baliani usou essa ideia na discussão com Galileu. Baliani disse que a água subia pelo sifão ao ser pressionada pelo ar na superfície do reservatório. Como a água tinha peso, o ar conseguia empurrá-la até uma altura limite. O mesmo fenômeno era explicado por Galileu de outra maneira. A coluna de água subia pelo sifão, como se fosse uma corda ao ser esticada. Isso ocorria até uma altura limite. Acima disso a “corda” se rompia. Isso porque as porções de água tendiam a ficar juntas evitando a formação de um vazio extenso. Essa era uma versão do chamado “horror ao vazio”, uma ideia muito aceita na época. Muitos diziam que ao bombear o ar para fora de um tubo, a água seguia pelo tubo para ocupá-lo e impedir a formação do vazio.

A natureza tinha horror ao vazio?

Desde a Antiguidade, os pensadores vinham discutindo sobre se a formação de espaços vazios era possível e se, de fato, espaços vazios existiam. Aristóteles, no século IV a.C., havia negado a existência do vazio. Até a época de Beeckman, Baliani, Galileu e Torricelli, muito já havia se discutido.

E isso tem tudo a ver com a seguinte reflexão proposta em outro texto... Será que Torricelli acordou um belo dia e simplesmente teve a ideia de fazer aquela montagem tão específica?

Poucos anos antes do experimento famoso de Torricelli, em Roma, Gasparo Berti em conjunto com um grupo de pesquisadores realizou uma montagem experimental *para discutir sobre o vazio*. O chamado “experimento de Berti” era feito com água. Os pesquisadores precisaram construir um tubo longo, que chegava até o terceiro andar de um prédio. Isso porque era sabido que uma coluna de água subia em um tubo até 10 metros de altura (justamente o que Baliani e Galileu tentaram explicar).



Fig. 3 — Experimento de Berti. Fonte:

Roberto Martins, “Tratados físicos de Blaise Pascal,” *Cadernos de História e Filosofia da Ciência* 1 (1989): 39.

Não havia como construir um tubo de vidro desse tamanho. Fizeram um tubo de chumbo, com uma torneira de latão na parte inferior, mergulhado em um tonel cheio de água. Na parte superior do tubo foi adaptado um frasco de vidro lacrado por um parafuso (tampa) de latão. Realizaram, então, o seguinte procedimento. Com a torneira inferior fechada, o tubo foi *totalmente* preenchido com água pela entrada do frasco de vidro. Este foi, então, lacrado com o parafuso. Em seguida, abriram a torneira que estava dentro do tonel. A água desceu pelo tubo apenas até a altura esperada e se manteve no mesmo nível no outro dia. Discutiram, então: a região superior do tubo de onde a água havia descido estava vazia?

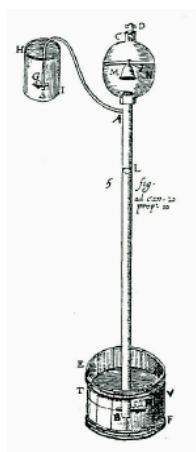


Fig. 4 — Experimento de Berti. Fonte:

Roberto Martins, “Tratados físicos de Blaise Pascal”, 34.

Para Berti, sim! Usando uma torneira lateral acoplada a um reservatório, o grupo preencheu novamente toda a parte superior do tubo acima da coluna de água. Argumentaram o seguinte: só seria possível preencher esse espaço se ele estivesse vazio; portanto, como conseguimos preenchê-lo, é porque acima da coluna de água um espaço vazio havia sido formado no início.

VAMOS REFLETIR

Considerando os antecedentes do experimento de Torricelli e os objetivos do próprio Torricelli ao realizar esse trabalho, explique como ele pode ser inserido no contexto das discussões sobre o horror ao vazio.

EM DESTAQUE: ASPECTOS IMPORTANTES

Nesse texto aparece um experimento que antecedeu e serviu de inspiração para o experimento de Torricelli.

- Que experimento foi esse? Quem o realizou?
- Qual o objetivo desse experimento?
- Quais foram as conclusões do pesquisador? Essas conclusões foram totalmente aceitas? Explique.

Para esse e outros argumentos semelhantes, os oponentes tinham boas respostas: a parte superior do tubo deveria ter poros por onde entrariam substâncias; dessa forma, o alto do tubo, acima da coluna de água, não estava vazio. Não era o foco, nesse caso, discutir o que sustentava a coluna de água. O objetivo era discutir sobre se havia ou não a formação de um espaço vazio.

O experimento chamava a atenção de todos, mas não podia ser transportado com facilidade. O tubo de chumbo era longo e não dava para ver dentro dele... Como resolver esse problema?

Alguém se lembrou da discussão entre Baliani e Galileu! O foco dos dois era diferente do proposto pelo experimento de Berti, mas Galileu havia citado algo que poderia ser interessante: o tamanho da coluna de líquido dependia de qual líquido era usado. Para a água, o tamanho era de 10 m. Que tal usar mercúrio, que era bem mais denso?

Alunos de Galileu, como Vincenzo Viviani e Evangelista Torricelli puseram em prática essa sugestão. Utilizando o mercúrio, foi possível reproduzir o experimento com tubos de vidro, menores, de um metro de comprimento.

Foi, então, *nesse contexto de discussões sobre a existência do vazio, que Torricelli trabalhou, modificando um experimento já existente e partindo de informações que circulavam entre os pesquisadores*. Ou seja, ele não acordou um belo dia e resolveu propor aquela montagem tão específica para descobrir e medir a pressão atmosférica.

COMPARANDO

Que semelhanças e diferenças existiam em relação ao experimento realizado por Torricelli? Que alteração Torricelli realizou e por que ele fez isso? De onde teriam saído as ideias para essas mudanças?

Em carta ao pesquisador Michelangelo Ricci, em 1644, Torricelli relatou o experimento com mercúrio. Ele acreditava que o espaço acima da coluna de mercúrio estivesse vazio. Tal como Berti, encheu o tubo novamente com líquido e argumentou: se o tubo pôde ser preenchido, era justamente porque havia ficado vazio quando o mercúrio desceu inicialmente. Tal como Berti, o argumento de Torricelli foi atacado por oponentes. O tubo talvez tivesse poros. O espaço talvez contivesse vapor de mercúrio. O “horror ao vazio” era a ideia mais forte na época.

Além de discutir sobre a formação ou não do vazio, Torricelli tratou da questão da sustentação da coluna do mercúrio:

Sobre a superfície do líquido que está na bacia repousa o peso de uma [coluna de] altura de cinquenta milhas de ar; então, e se no tubo [...] [o mercúrio] devesse entrar e subir uma coluna alta o suficiente para entrar em equilíbrio com o peso do ar exterior que o força a subir? A água em um tubo similar, embora mais longo, [...] [sobe] tanto mais do que aquilo que o mercúrio sobe, o quanto ele é mais pesado do que a água; de forma a haver um equilíbrio com a mesma causa que atua sobre um e sobre o outro.

Como vimos, essa proposta para a sustentação da coluna de mercúrio não era de Torricelli, mas vinha se desenvolvendo anteriormente a ele. Nem todos a aceitavam, como vimos na discussão entre Galileu e Baliani. Era mais comum considerar que *o líquido era puxado para cima por algo interno ou que seguia para cima por uma intenção de evitar o vazio*. Mas Torricelli estava afirmando que *o líquido era empurrado por algo externo*. Ao expor essa explicação dissidente, Torricelli disse a Ricci: “Sei que surgirão muitas objeções [...]”.

Na mesma carta, Torricelli indicou sua dificuldade ao tentar medir a pressão atmosférica: “Não fui capaz de concretizar minha intenção principal, isto é, reconhecer quando a atmosfera é mais densa e mais pesada e quando é mais sutil e mais leve”.

As discussões se prolongaram por muitos anos. A aceitação da ideia de pressão atmosférica ocorreu aos poucos e não devido exclusivamente ao experimento de Torricelli. Muitas controvérsias ocorreram. Essas ficam para uma próxima conversa...

EM FOCO — VAMOS DISCUTIR

Ao comentar sobre o seu experimento da carta ao pesquisador Michelangelo Ricci, Torricelli trata de discutir dois assuntos:

1) a formação ou não do vazio; 2) a questão da sustentação da coluna do mercúrio.

Sobre a aceitação de suas ideias, qual era a expectativa de Torricelli? Por quê? O que Torricelli argumentou sobre esses dois assuntos?

SEU PONTO DE VISTA

Os três textos em conjunto trazem informações sobre o desenvolvimento e a aceitação do conceito de pressão atmosférica. Que aspectos chamam a sua atenção?

NATUREZA DA CIÊNCIA EM FOCO

Considerando os elementos trazidos pelos três textos, reflita sobre os seguintes temas:

- a) Os pesquisadores podem discordar entre si? Existem controvérsias na ciência?
- b) A ciência é uma construção individual ou coletiva?
- c) O conhecimento científico é permanente ou provisório?

VAMOS REFLETIR

Considerando a interpretação de Torricelli para a sustentação da coluna de mercúrio, relacione o experimento de Torricelli à possibilidade de medir a pressão atmosférica.

TEXTO 3 (COMENTÁRIOS DE APOIO AO PROFESSOR)

Vamos refletir

Comentário — O experimento de Torricelli se insere no contexto de discussões sobre a existência do vazio. Tem como antecedente o experimento de Berti, cujo foco de discussão era justamente o espaço acima da coluna de água: esse espaço estaria vazio ou não? Torricelli, possivelmente seguindo sugestão de Galileu, substituiu a água pelo mercúrio. Argumenta que a porção superior do tubo acima do mercúrio está vazia. Para Torricelli, o líquido era empurrado pelo ar que atuava na superfície do líquido no recipiente. Mantinha uma certa altura pelo equilíbrio com a coluna de ar. Para ele essa explicação funcionava e era suficiente. Não havia, para Torricelli, necessidade de recorrer a outras hipóteses como a ideia de que haveria um “puxão do vazio”. Ele também não achava necessária a hipótese sugerida por Galileu de que a coluna de líquido se mantinha sustentada porque a matéria tendia a permanecer unida, evitando vazios internos extensos. Assim, Torricelli usou a ideia de pressão do ar para explicar a sustentação da coluna de mercúrio. E essa proposta se deu no contexto das discussões do horror ao vazio que era, então, a justificativa mais comum para esse tipo de fenômeno. Assim, espera-se que o professor estimule a percepção de que havia um contexto para o experimento de Torricelli. Traz-se uma visão histórica do desenvolvimento da ciência, caracterizada por problemas que movem os pesquisadores. O experimento de Torricelli não foi simplesmente uma medida da pressão atmosférica.

Em destaque: aspectos importantes

Comentário — Gasparo Berti realizou uma montagem utilizando água, muito semelhante à que posteriormente seria utilizada por Torricelli. Seu objetivo era estudar o espaço aparentemente vazio acima da coluna de água. Berti defendeu que esse espaço estava realmente vazio. Essa conclusão vinha do fato de que o espaço poderia ser preenchido novamente por água com auxílio de uma torneira lateral. O experimento não foi suficiente para convencer os defensores do horror ao vácuo que não aceitaram as conclusões de Berti. É importante que o professor estimule a percepção de que o experimento é sujeito a interpretações, não trazendo, portanto, uma resposta clara e incontestável no contexto das discussões científicas. O episódio histórico pode ser explorado para se contrapor ao empirismo-indutivismo, visão ingênua de ciência que considera que o conhecimento verdadeiro emerge por si próprio dos dados experimentais.

Comparando

Comentário — O experimento de Berti utilizava água e um tubo bastante longo, equivalente a um edifício de dois andares. Como o tubo era longo só podia ser feito de metal, o que impedia a visualização do seu conteúdo. Galileu havia sugerido utilizar mercúrio, que é um líquido mais denso. Galileu considerava que o tamanho da coluna do líquido dependeria da densidade do líquido. Ou seja, o quanto o líquido podia ser “esticado” variava de líquido para líquido. Torricelli seguiu a sugestão de usar mercúrio e, com isso, foi possível usar um tubo menor, de cerca de um metro de comprimento. Ele conseguiu, então, fazer um tubo de vidro, permitindo a visualização do seu conteúdo. Berti teve como objetivo estudar se o espaço acima da coluna de água estava vazio. Torricelli teve o mesmo objetivo em relação ao espaço acima da coluna de mercúrio. Buscou estudar, ainda, o porquê de a coluna de líquido permanecer sustentada.

Em foco — vamos discutir

Comentário — Torricelli acreditava na formação do vácuo. O texto 3 mostra que ele argumentou a Ricci que o espaço acima da coluna de mercúrio podia ser preenchido novamente pelo líquido. Se esse espaço podia ser preenchido, isso significava que ele estava vazio. Essa ideia de Torricelli foi questionada. Prevalcia o “horror ao vazio”. Oponentes disseram, por exemplo, que o espaço acima do mercúrio parecia vazio, mas não estava: continha vapores de mercúrio. Sobre a sustentação da coluna de mercúrio, ele argumentou que o peso do ar externo equilibrava a coluna de mercúrio, sustentando-a. O líquido era empurrado por algo externo. Torricelli esperava que sua interpretação fosse questionada. Eram mais comuns outras interpretações não baseadas na ideia de pressão do ar, tais como: o líquido era puxado para cima por algo interno ou seguia para cima por uma intenção de evitar o vazio. Torricelli não concordava. Para ele, a pressão do ar era suficiente para explicar o efeito. É interessante que o professor-mediador estimule a percepção da pluralidade de interpretações na ciência. Isso se contrapõe à imagem usual transmitida em materiais didáticos de que as ideias são descobertas e aceitas, não estando expostas ao contraditório.

Seu ponto de vista

Comentário — Várias questões podem ser exploradas na mediação de acordo com os elementos trazidos pelos alunos para essa questão de cunho pessoal.

Natureza da Ciência em foco

Comentário — Nessas questões, o professor pode explorar os episódios históricos abordados pelo texto para mediar a discussão contextualizada de visões de ciência.

Vamos refletir

Comentário — Os livros didáticos costumam trazer uma explicação rápida de que o experimento de Torricelli levou à descoberta do barômetro. Em face de um contexto usual de dificuldades dos alunos sujeitos a esse tipo de narrativa em que o entendimento é tomado como óbvio, propõe-se aqui um questionamento final. Tem-se como objetivo perceber se os alunos compreenderam a relação entre a explicação para a sustentação da coluna de mercúrio (segundo a interpretação atual) e a utilidade do equipamento conhecido como “barômetro”.