

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS  
FACULDADE DE EDUCAÇÃO  
CECIMIG

RONALDO GONÇALVES PIRES

**RELAÇÕES ENTRE HISTÓRIA E FILOSOFIA DA CIÊNCIA E O  
ENSINO POR INVESTIGAÇÃO:  
Utilização de Experimentos Históricos no Ensino de Química**

BELO HORIZONTE

2010

RONALDO GONÇALVES PIRES

**RELAÇÕES ENTRE HISTÓRIA E FILOSOFIA DA CIÊNCIA E O  
ENSINO POR INVESTIGAÇÃO:  
Utilização de Experimentos Históricos no Ensino de Química**

Monografia apresentada ao Curso de Especialização do ENCI- Ensino de Ciências por Investigação / FaE / UFMG, como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Ensino de Ciências.

Orientadora: Dra. Rosária da Silva Justi

Leitor Crítico: Msc. Vinícius Catão de Assis Souza

BELO HORIZONTE

2010

Pires, Ronaldo Gonçalves

Relações entre história da ciência e o ensino por investigação: utilização de experimentos históricos no ensino de química. / Ronaldo Gonçalves Pires. Belo Horizonte. 2010. 52f.

Orientadora: Dra. Rosária da Silva Justi  
Monografia (especialização) – Universidade Federal de Minas Gerais, Faculdade de Educação.

1. Ensino de Ciências. 2. História da ciência. 3. Experimentos históricos. 4. Filosofia da Ciência. I. Justi, Rosária da Silva. II. Universidade Federal de Minas Gerais. III. Título.

Ronaldo Gonçalves Pires

**RELAÇÕES ENTRE HISTÓRIA E FILOSOFIA DA CIÊNCIA E O ENSINO POR  
INVESTIGAÇÃO:  
Utilização de Experimentos Históricos no Ensino de Química**

Monografia apresentada ao Curso de Especialização do ENCI- Ensino de Ciências por Investigação / FaE / UFMG, como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Ensino de Ciências.

---

Rosária da Silva Justi (Orientadora) – UFMG

---

Vinícius Catão de Assis Souza – UFV

Belo Horizonte, 18 de dezembro de 2010.

## **AGRADECIMENTOS**

À professora Rosária, por seus conselhos e orientações que me ajudaram a encontrar caminhos para a realização deste trabalho. Sou grato por ter se disposto a me orientar mais uma vez, restabelecendo uma parceria que se iniciou na minha graduação.

Ao amigo e colega de magistério Leonardo Gomes, pelas aulas de História que lecionou, muitas vezes sem perceber, durante as caronas até a FUNEC Contagem, e que contribuíram com elementos importantes para esta produção.

Aos professores, colegas de trabalho e aos milhares de alunos para os quais lecionei nesses 12 anos de magistério, que me fizeram compreender o valor da profissão de educador e, muitas vezes, o valor da amizade e do companheirismo. Este trabalho carrega um pouco de mim e um universo de todos vocês.

*"Deus vos concedeu sentidos firmes e eficientes, não para estudar os escritos de uns poucos homens, mas para estudar os céus e a terra, obra de Deus."*

*Francis Bacon, Redargutio Philosopharum.*

## **RESUMO**

Neste trabalho apresentamos, inicialmente, uma revisão bibliográfica que procura articular as estratégias do ensino por investigação e a incorporação de aspectos de História, Filosofia e Sociologia da Ciência no ensino de Ciências. A partir das conexões estabelecidas entre as duas estratégias, nós apontamos consensos e aparentes obstáculos criados nessa inter-relação e discutimos meios de superação desses obstáculos. Buscamos elementos na teoria das revoluções científicas de Thomas Kuhn, para a caracterização de contextos históricos relevantes no ensino de ciências. Enfatizamos ainda a contribuição do uso dos experimentos históricos como estratégia que alia investigação e história da ciência. Todos os argumentos apresentados são exemplificados a partir da discussão do caso histórico do horror ao vácuo e da apresentação dos experimentos de Francis Bacon, Evangelista Torricelli e Robert Boyle em um formato que favorece a utilização dos mesmos no ensino de Ciências.

Palavras-chave: Ensino de Ciências. História da Ciência. Filosofia da Ciência. Experimentos históricos.

## **ABSTRACT**

In this study, we present a review that aims at joining together the following teaching approaches: the Science Teaching through Investigation and the Use of History and Philosophy of Science in Science Teaching. From the relationships established between both approaches, we identify consensus issues as well as apparent obstacles, and discuss ways to overcome such obstacles. In order to characterise historical contexts that are relevant to Science teaching, we use elements from Thomas Kuhn's theory of scientific revolutions. We also emphasise how the use of historical experiments – as a teaching approach that merges investigation and History of Science – can contribute to Science teaching. All the arguments presented in this study are exemplified from both the discussion of the historical case “The horror of vacuum” and the presentation of the experiments proposed by Francis Bacon, Evangelista Torricelli, and Robert Boyle. Such experiments are presented in a way that favours their use in Science teaching.

Key words: Science teaching, History of Science, Philosophy of Science, Historical experiments.



## SUMÁRIO

<b>1 HUMANIZAR PARA ENSINAR "EM" E "SOBRE" CIÊNCIAS</b>	10
1.1 O Ensino de Ciências por investigação	10
1.2 História da ciência no Ensino de Ciências	11
1.3 Associando as duas abordagens através do uso de experimentos históricos	13
<b>2 EXPERIMENTOS HISTÓRICOS NO CONTEXTO INVESTIGATIVO</b>	15
2.1 Experimentos históricos: como e para quê?	15
2.2 Obstáculos a serem superados	16
2.3 Desafios na implementação de experimentos históricos na sala de aula de Ciências	17
2.4 Qual experimento? Qual história da ciência?	19
<b>3 ANÁLISE DE CASO HISTÓRICO: O HORROR VACUI – DA GRÉCIA ANTIGA À INGLATERRA DO SÉCULO XVII</b>	20
3.1 O caso histórico	22
3.1.1 <i>As primeiras teorias da "existência dos seres"</i>	22
3.1.2 <i>Aristóteles e sua cosmologia: crítica ao atomismo</i>	23
3.1.3 <i>Aristóteles revisitado: os Minima Naturalia</i>	25
3.1.4 <i>Paracelso e Bacon: bases para uma nova filosofia da natureza</i>	26
3.1.5 <i>A nova filosofia experimental: estudos sobre o ar e o vácuo</i>	27
3.1.6 <i>Robert Boyle e sua nova teoria corpuscular</i>	32
3.2 Os experimentos históricos	35
3.2.1 <i>Experimento sobre o espírito do vinho, de Francis Bacon</i>	35
3.2.2 <i>O tubo invertido na cuba com mercúrio, de Torricelli</i>	36

<i>3.2.3 Experimento sobre a compressibilidade do ar, de Robert Boyle</i>	37
<b>3.3 Os experimentos apresentados num contexto de ensino</b>	39
<i>3.3.1 Os experimentos e sua relação com o caso histórico</i>	39
<i>3.3.2 Reprodução e adaptações dos experimentos na sala de aula</i>	40
<i>3.3.3 Aplicabilidade da proposta</i>	45
<b>4. CONCLUSÕES DO TRABALHO</b>	47
<b>4.1 Apontamentos para a continuidade desse trabalho</b>	49
<b><i>REFERÊNCIAS</i></b>	50

## **1. HUMANIZAR PARA ENSINAR "EM" E "SOBRE" CIÊNCIAS**

Diversos trabalhos sobre ensino de Ciências têm chamado atenção para a necessidade de se combater o "mar de falta de significação" (MATTHEWS, 1995) que caracteriza a maioria das aulas de Ciências na educação básica, marcadas pela memorização de conceitos e teorias desvinculadas de seu contexto social, cultural e histórico.

O distanciamento entre a ciência praticada na escola e aquela praticada pelos cientistas tem contribuído para reforçar uma visão desumanizada da ciência, na qual o aluno não é levado a estabelecer conexões entre o que é aprendido na sala de aula e a vida cotidiana. O resultado dessa prática é a formação, por alunos e professores, de uma visão reducionista de ciência (KOSMINSKI e GIORDAN, 2002), que desconsidera aspectos como a relação entre o cientista e sua comunidade, o processo de aquisição de conhecimento e a própria relação entre os fatos experimentais e as teorias.

Diante desse quadro, pesquisadores da área de Ensino de Ciências têm defendido um ensino através de atividades investigativas e a incorporação de aspectos de História, Filosofia e Sociologia da Ciência, entre outras estratégias, como abordagens que podem favorecer a compreensão de elementos da cultura científica, contribuindo para que os alunos consigam estabelecer conexões entre ciência, tecnologia e sociedade.

Notadamente marcadas pela busca de uma ciência escolar mais humanizada, que leva em conta os conhecimentos já consolidados, o diálogo entre os pares acerca das teorias estabelecidas e a consideração dos aspectos sociais, culturais e políticos, essas duas abordagens guardam entre si semelhanças e desafios na sua implementação.

### **1.1. O Ensino de Ciências por Investigação**

No Brasil, o Ensino de Ciências por Investigação consolidou-se como abordagem de ensino a partir da década de 1980, época na qual houve um aparente consenso entre os pesquisadores sobre as características desse tipo ensino, o que permitiu diferenciá-la de outras práticas como o "ensino como investigação" (RODRIGUES e BORGES, 2008). Este último, também conhecido como "ensino pela prática", pressupunha que o estudante deveria aprender os conceitos e práticas próprios da ciência por meio de investigações. O ensino por investigação procura contemplar tanto o aspecto do aprendizado dos conceitos e práticas

quanto aquilo que Schwab chama de "conceito científico semântico" (MUNFORD e LIMA, 2007), ou seja, os aspectos de negociação coletiva e de construção do saber científico.

A importância dessa maneira de ensinar ciência reside na perspectiva de que a aprendizagem é mais efetiva quando os alunos trazem suas experiências pessoais para a sala de aula e realizam investigações que possibilitam confrontar essas experiências com aquelas próprias da pesquisa científica. Através das atividades investigativas, os alunos

“... envolvem-se com a sua aprendizagem, constroem questões, levantam hipóteses, analisam evidências e comunicam os seus resultados. Os professores deixam de ser os únicos a fornecerem conhecimento e os estudantes deixam de desempenhar papéis passivos de meros receptores de informação.” (MAUÉS e LIMA, 2006 *apud* SÁ et al, 2007)

MUNFORD e LIMA (2007), em sua defesa de um ensino de Ciências por investigação, afirmam que o mesmo propõe

"... um ensino mais dialógico, interativo e baseado em atividades capazes de persuadir os alunos a admitirem as explicações científicas para além dos discursos autoritários, prescritivos e dogmáticos". (MUNFORD e LIMA, 2007, p. 22)

Diante desse novo cenário, os alunos passariam a ver a ciência como fruto de uma prática sócio-cultural.

É importante ressaltar que as atividades investigativas às quais nos referimos não são necessariamente atividades experimentais. Entretanto, várias atividades experimentais podem ser utilizadas no ensino por investigação, desde que as mesmas possibilitem transitar entre um sistema abstrato de definições, leis e fórmulas, o conhecimento prévio dos alunos e os resultados do experimento, além de incorporar uma reflexão sobre o erro e a incerteza na ciência. Ou seja, as atividades experimentais investigativas permitem muito mais do que a mera verificação da teoria através de atividades fechadas, cujas conclusões parecem implícitas, como se observa nas atividades experimentais do ensino tradicional.

## **1.2. História da ciência no Ensino de Ciências**

A preocupação em tratar das questões históricas no ensino de Ciências se tornou mais marcante a partir das reformas curriculares americanas da década de 1960 e surgiu como uma

resposta à necessidade de se integrar, nas aulas de Ciências, os aspectos técnicos (ou práticos) e a natureza, estrutura, processos sociais e epistemológicos do aprendizado de Ciências.

Se nossa perspectiva se volta, como dissemos inicialmente, para a humanização da ciência escolar, é importante considerarmos os aspectos históricos e filosóficos da ciência, sob pena de produzir uma ciência escolar distorcida e fragmentada, que despreza o pensamento divergente e o conflito de opiniões (estes dois últimos, inerentes a qualquer atividade humana).

As contribuições dessa abordagem de ensino encontram-se ricamente relatadas na literatura (MURTA, 2008; MATTHEWS, 1995; GONÇALVES, 2009; SILVA et al, 2008; PAULA, 2006 e CASTRO e CARVALHO, 1992, entre outros). Estes trabalhos fazem apontamentos semelhantes ao afirmar que a abordagem histórica:

- a. fornece elementos que estimulam o estudante a pensar, levantar hipóteses e confrontar ideias;
- b. possibilita a discussão crítica do papel e do poder exercido pela ciência;
- c. media a relação indivíduo-conceito;
- d. conscientiza sobre o funcionamento da investigação científica;
- e. traz o conteúdo para mais perto do aluno, e também do próprio homem, que antes de conhecer cientificamente, constrói historicamente o que conhece.

SILVA et al (2008) fazem apontamentos semelhantes àqueles do ensino de Ciências por investigação, ao apresentar subsídios para o uso da história da ciência no ensino: conscientizar os alunos sobre o funcionamento da investigação científica, possibilitar o estabelecimento de relações com o contexto político, social, econômico e cultural onde a ciência é praticada, além de desmistificar as figuras preconceituosas atribuídas à ciência e ao cientista. Além disso, vários autores defendem a ideia de que os obstáculos cognitivos que os estudantes apresentam ao confrontar suas ideias sobre situações problema se assemelham aos obstáculos dos próprios cientistas num determinado momento histórico, guardadas suas respectivas peculiaridades. Considerando a perspectiva construtivista, na qual é essencial considerar-se as ideias prévias dos alunos no processo de ensino, essa possível semelhança aponta um motivo a mais para que o professor tenha conhecimentos sobre história da ciência e os utilize em suas aulas.

Nessa abordagem, as atividades experimentais também se mostram importantes, pois podem oportunizar a compreensão da dimensão empírica da ciência e sua relação com as teorias em ciência – dimensão muitas vezes suprimida ou caricaturada sob a roupagem do "falso método científico" (PAULA, 2006). Os experimentos aos quais nos referimos são os

chamados "experimentos históricos", isto é, aqueles que, em um dado contexto histórico, tiveram um papel significativo na discussão de um determinado problema, podendo ser experimentos realizados empiricamente ou pensados pelos cientistas (experimentos mentais).

### **1.3. Associando as duas abordagens através do uso de experimentos históricos**

Tendo em vista que o ensino por investigação e a abordagem histórica nas aulas de Ciências contribuem para o alcance de um ensino "em e sobre Ciências", ou seja, que incorpore os conceitos e uma compreensão da natureza da ciência, consideramos importante pensar na associação destas abordagens, buscando potencializar seus objetivos. Nesse sentido, entendemos que utilizar experimentos históricos no ensino é uma maneira de aliar essas duas perspectivas.

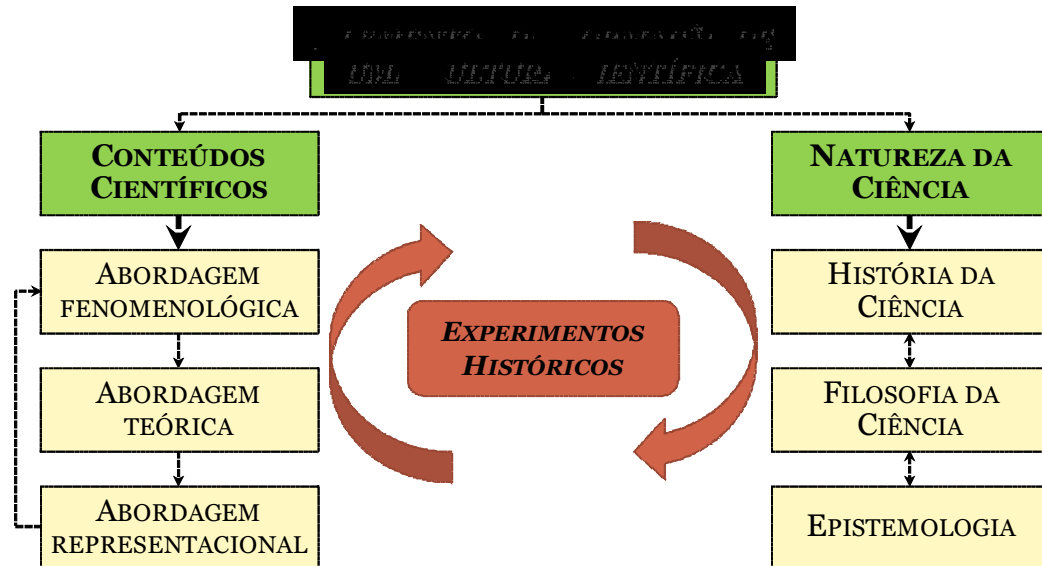
Não é nossa intenção, ao lançar mão de experimentos históricos nas aulas de Ciências, a mera apresentação/repetição do experimento da mesma maneira que ele foi realizado pelo cientista, pois, se assim fosse, estaríamos ignorando todo o processo de construção histórica que culminou na realização do mesmo. Trata-se de nos apropriarmos dos mesmos obstáculos conceituais, condições e da realidade vivida naquele momento como meio para promover o aprendizado sobre ciência na sala de aula, mostrando que a evolução da ciência é resultado da conjunção de diversas dimensões do saber: a apropriação de outros conhecimentos, discussões na comunidade científica, questionamento de concepções anteriores, articulação entre diversos interesses e motivações etc.

Na figura 1, apresentamos nossa compreensão dessa associação de abordagens através de um diagrama extraído e adaptado dos trabalhos do grupo de pesquisa em Ensino de Ciências da Universidade de Brasília, coordenado pelo professor Cássio Costa Laranjeiras (PAULA, 2006).

Nesse diagrama, as abordagens fenomenológica, teórica e representacional representam, respectivamente, os fenômenos de interesse da ciência, os modelos, explicações e teorias que incluem entidades abstratas e informações inerentes à linguagem da ciência como fórmulas e equações.

A utilização de atividades experimentais investigativas possibilita que essas abordagens adquiram significado para o aluno à medida que o mesmo transita entre elas ao encarar o fenômeno, confronta suas ideias e as de outros colegas e lança mão dos conhecimentos adquiridos para representá-lo e, finalmente, debruça-se novamente sobre o

fenômeno, propondo alterações e novos rumos de investigação, ou seja, vai além da evidência e imagina novas possibilidades.



**Figura 1.** Diagrama representativo dos elementos envolvidos na articulação das estratégias de ensino por investigação e abordagem histórica nas aulas de Ciências. (Adaptado de PAULA, 2006).

É importante ressaltar que, numa abordagem tradicional, teríamos um processo unidirecional no qual os conceitos e representações seriam aplicados diretamente ao fenômeno, ignorando que, muitas vezes, o fenômeno é encarado por aquele que já possui suas hipóteses a serem validadas.

Por outro lado, e expandindo nossa compreensão da formação de uma cultura científica nas aulas de Ciências, o conhecimento científico não pode ser adquirido independentemente, pois esta construção é histórica, depende de conhecimentos anteriores e é inseparável do sujeito e da cultura na qual este se insere. Uma vez que a história se encontra no conjunto dos elementos da aquisição de uma cultura científica, incluímos também a Filosofia e a Epistemologia, que são indissociáveis entre si nesse processo.

Como dissemos, é importante a inclusão da história da ciência no ensino. Mas, qual história da ciência? Quais aspectos da história da ciência? Como incluir esta história da ciência nos programas de ensino? A busca por uma resposta a essas questões deve levar em conta não apenas os aspectos históricos, mas ainda os filosóficos e epistemológicos, sob pena de tratarmos de uma história muito pobre, tendenciosa, quase uma ideologia.

Nesse quadro, os experimentos históricos aparecem como uma possibilidade de articulação desses elementos, isto é, servindo como uma maneira de reunir, numa perspectiva comum, o ensino por investigação e a abordagem histórica nas aulas de Ciências.

## **2. EXPERIMENTOS HISTÓRICOS NO CONTEXTO INVESTIGATIVO**

### **2.1. Experimentos históricos: como e para quê?**

Apesar de considerarmos como válidos os benefícios da associação entre história da ciência e ensino por investigação, é necessário levar em conta as potencialidades e os obstáculos ou dificuldades relatados na literatura e colhidos a partir de nossa observação do cotidiano escolar e da prática pedagógica dos professores.

Como dissemos, parece haver um aparente consenso de que a utilização dos experimentos históricos no ensino pode contribuir para tornar as aulas de Ciências mais significativas para os alunos (GONÇALVES, 2009; MORTIMER, 1995; PESSOA JR., 1996; RUDGE & HOWE, 2007; entre outros). Embora não possamos confirmar a efetividade desse instrumento com base em resultados de pesquisas, acreditamos que os experimentos históricos possam contribuir para uma maior clareza do processo de construção e desenvolvimento da ciência, se introduzidos no ensino com este objetivo.

Fato importante a ser considerado é a relativa facilidade de montagem de alguns aparatos experimentais e a possibilidade de fazer adaptações para torná-los mais baratos. Alguns poderiam pensar que a utilização de aparatos antigos já seria mais barata do que lançar mão dos modernos equipamentos utilizados na ciência moderna. Entretanto, é preciso considerar a inexistência de aparatos antigos, principalmente no contexto escolar.

Um olhar sobre os livros didáticos de Ciências da atualidade revela que esses experimentos, quando apresentados, são citados como simples fato ou curiosidade, não proporcionando nenhuma reflexão a respeito da natureza da ciência (VIDAL e PORTO, 2008). Para servir aos interesses do ensino por investigação, a abordagem histórica deve possibilitar uma discussão mais profunda do experimento e uma maior riqueza de detalhes sobre o momento histórico no qual o mesmo se insere: fatos, personagens, ideias.

Nessa perspectiva, parece-nos mais eficaz que o experimento histórico surja dentro de um "caso histórico", conforme propõem METZ e STINNER (2006). Assim, seriam



apresentados aos estudantes contextos históricos relacionados entre si por uma ideia unificadora. A narrativa histórica apresentaria elementos considerados importantes no processo de desenvolvimento da ideia central e, nesse bojo, o experimento histórico passaria a ser encarado não como fato isolado, mas como representante da dimensão empírica desse processo de construção de conhecimento.

## 2.2. Obstáculos a serem superados

Falaremos aqui dos obstáculos epistemológicos relatados na literatura quando da introdução de atividades investigativas e de história da ciência no contexto de ensino, deixando a discussão dos obstáculos encontrados pelos professores na prática de sala de aula para outro tópico.

Primeiramente, é preciso levar em conta a impossibilidade de uma história objetiva, uma história real. Todo relato histórico serve a um objetivo, está diretamente ligado à exposição de uma ideia defendida por quem relata ou apresenta uma visão parcial deste, o que levaria à produção de uma *quasi*-história: um relato parcial da história ou mesmo uma modificação desta buscando adequá-la ao assunto tratado nas aulas de Ciências (MATTHEWS, 1995). Este tipo de relato poderia produzir falsas ideias sobre o funcionamento das Ciências e, ainda, uma visão fragmentada da história das Ciências, sendo esta última consequência tão prejudicial quanto o próprio desconhecimento dos aspectos históricos. Por exemplo, seria impossível conceber que Newton tenha chegado às leis da gravitação universal apenas observando a queda de uma maçã. Existiram inúmeros outros elementos que contribuíram de forma mais significativa do que essa observação (se é que ela realmente ocorreu) como seu conhecimento de outros trabalhos científicos, sua habilidade matemática, suas convicções religiosas e sua capacidade de ir além do observável.

Por isso, é importante que a história da ciência esteja intimamente relacionada com a filosofia e a sociologia, pois, como diz Matthews, "se a filosofia da ciência é vazia sem a história, então a história da ciência, sem a filosofia, é cega." (MATTHEWS, 1995, p. 21). É preciso reconhecer a influência das visões sociais, contextuais, psicológicas e religiosas sobre o relator e sobre os próprios personagens históricos.

Em segundo lugar, ao se trabalhar com atividades experimentais (e os experimentos históricos não fogem a essa noção), há que se levar em conta que nem todo conhecimento científico surge da observação de um fenômeno natural e observável (aliás, o verdadeiro papel

da ciência é ir além do mundo observável). Além disso, muitas vezes a mera observação e/ou investigação de um fenômeno nem sempre conduz a teorias adequadas, capazes de produzir explicações coerentes.

As ideias atomistas, por exemplo, encontraram grande resistência para serem aceitas por aqueles que defendiam a concepção aristotélica dos quatro elementos. Durante muito tempo, apenas os atomistas "viam o átomo" em seus experimentos, enquanto os outros se esforçavam por adaptar as observações experimentais dos atomistas às suas concepções de constituição da matéria. Aliás, a gênese do pensamento aristotélico estava ancorada na observação e na experiência, o que contribuía com maior força para que este pensamento se impusesse aos demais.

O que queremos dizer com isso é que, na maioria das vezes, o cientista encara o experimento com o olhar impregnado de teorias e não o contrário (constrói teorias a partir da investigação do experimento). Por isso, é importante que as atividades investigativas não procurem construir um saber a partir da mera observação, pois assim estaríamos caminhando na mão contrária à do pensamento científico construído historicamente.

Outra questão a ser levantada quando da utilização de um experimento histórico seria a crença no experimento como um episódio isolado na construção do conhecimento científico, ou seja, a crença de que novas teorias são validadas através de um único experimento – o que sabemos não ocorrer no desenvolvimento do conhecimento científico.

Acreditamos que todas as questões levantadas trazem à tona nossa proposição inicial de que a utilização de atividades experimentais investigativas (históricas ou não) deva surgir num contexto que aborde os diversos aspectos da construção do conhecimento, sem a supervalorização do empirismo. Os experimentos históricos, principalmente, devem ser trabalhados dentro de uma narrativa histórica que evoque esses aspectos sendo, portanto, uma narrativa ampla, capaz de focar, ao longo de um processo histórico, o conhecimento a ser aprendido pelo aluno.

### **2.3. Desafios na implementação de experimentos históricos na sala de aula de Ciências**

Apesar de não ser discussão recente, respostas práticas que possam orientar o professor sobre como fazer uso da abordagem histórica ainda são bastante tímidas (CASTRO e CARVALHO, 1992). Há mais de trinta anos, BRUSH (1978) já defendia a incorporação de estudos em História e Filosofia da Ciência na formação dos professores de Química, pois,

segundo ele, uma das dificuldades encontradas na incorporação dessa perspectiva é a resistência do próprio professor em incorporá-la à sua prática devido ao seu quase desconhecimento dessas temáticas.

Além disso, essa resistência é decorrente de uma concepção de que o ensino de Ciências deveria enfatizar aspectos meramente técnicos e práticos, em detrimento de uma formação mais humanizada das Ciências. Os próprios livros didáticos de Química examinados no Programa Nacional do Livro Didático do Ensino Médio de 2007 (PNLEM 2007), segundo um levantamento de VIDAL e PORTO (2008), tratam dos aspectos históricos como mera curiosidade, sem o objetivo de propiciar nenhuma utilização efetiva dessas informações para o ensino.

Apesar da pouca ênfase dada à utilização de História e Filosofia da Ciência (HFC) no ensino de Ciências, acreditamos que a chave para reverter esse quadro está na formação inicial e continuada dos professores. Apesar das poucas iniciativas didáticas nesse sentido, existem diversos bons livros e artigos sobre história da ciência (não didáticos). Talvez faltem apenas trabalhos que relacionem a ciência moderna com suas raízes históricas e que sejam coerentes com o conteúdo a ser desenvolvido nas aulas de Ciências. Tais trabalhos seriam um excelente ponto de partida para que os professores pudessem propor atividades como experimentos históricos. Isto também favoreceria, ao professor, o desenvolvimento de um conhecimento crítico de sua disciplina, o que poderia contribuir para uma maior reflexão dos rumos do ensino de Ciências na atualidade.

Na implementação dos experimentos históricos no contexto de ensino, é preciso considerar também a possibilidade de adaptações nos experimentos originais, pois, apesar da aparente simplicidade da maioria dos experimentos mais antigos, praticamente não é possível reconstituir os mesmos em seus mínimos detalhes.

RUTHERFORD (1964) propõe um método para abordagem histórica no ensino a partir da construção de experimentos derivados dos trabalhos científicos originais (réplicas históricas). Durante a construção do aparato, que deve ser o mais próximo possível do original, são evocados os aspectos históricos inerentes à realidade vivida pelo cientista e, num momento final, são evocadas questões culturais, filosóficas, sociais, tecnológicas e políticas. Acreditamos que este tipo de abordagem torna o experimento mais difícil de ser reproduzido no contexto de ensino, embora isso não torne essa abordagem menos efetiva.

Num contraponto a essa estratégia, METZ e STINNER (2006) apresentam a narrativa histórica como foco central de sua proposta de abordagem, abrindo a possibilidade de o experimento poder sofrer adaptações de modo a torná-lo mais simples e mais barato (desde

que estas sejam enfatizadas e sua necessidade discutida junto ao aluno). Esta estratégia também favorece a abordagem pelo professor que, talvez, teria alguma dificuldade em preparar o experimento a partir do trabalho original, que traz linguagem própria da época e, algumas vezes, de difícil entendimento.

#### **2.4. Qual experimento? Qual história da ciência?**

Qualquer experimento histórico pode ser utilizado nas aulas de Ciências? Como selecionar um experimento histórico para um dado contexto de ensino, de maneira a possibilitar uma maior discussão sobre a natureza da ciência? Quais aspectos históricos devem ser enfatizados? A busca por respostas a estas questões pode ser favorecida pela consideração das ideias de Thomas Kuhn sobre a estrutura das revoluções científicas.

KUHN (1962) acredita que a ciência avança por meio de revoluções, nas quais uma antiga teoria é substituída por outra, incompatível com esta. Ou seja, numa revolução científica há uma "mudança de paradigmas" na qual uma nova teoria rompe com a unanimidade sobre os critérios de interpretação de um fenômeno e torna-se impossível estabelecer adaptações entre a nova teoria e a anterior. Segundo este autor, paradigmas são

"... as realizações científicas universalmente reconhecidas que, durante algum tempo, fornecem problemas e soluções modelares para uma comunidade de praticantes de uma ciência." (KUHN, 1962, p.13)

Diante da revolução, a comunidade científica se vê dividida, uns trabalhando para aperfeiçoar ("salvar") a antiga teoria, outros procurando meios de impor a nova forma de pensar e apontar imperfeições na teoria anterior. Em alguns casos, ambas as teorias convivem durante muito tempo, enquanto a comunidade não se vê suficientemente amadurecida para reconhecer o novo paradigma.

Ao contrário do que a palavra "revolução" possa deixar transparecer, Kuhn acredita que a maioria dos paradigmas são restritos a temas específicos e incorporam apenas alguns grupos de cientistas. Sendo assim, é possível descrever a revolução apenas a partir da análise da interação entre esses grupos. Na batalha entre um paradigma novo e um velho são utilizados argumentos racionais. Entretanto, esses são insuficientes para o consenso, que aparece apenas após a revolução, quando a comunidade científica se dá conta de todo o processo. Segundo Kuhn, é essa revolução que permite à ciência amadurecer como tal.

O próprio Kuhn inicia seu trabalho defendendo a necessidade de um olhar histórico sobre a ciência. Não como o olhar da maioria dos materiais de divulgação científica, nos quais a ciência parece evoluir pela simples acumulação de ideias, fatos e teorias, mas pela interação entre as pessoas e os aspectos que as influenciam (como suas crenças, sua cultura e seus erros, por exemplo).

Acreditamos ser importante que os experimentos históricos a serem abordados no contexto de ensino estejam diretamente ligados a essas revoluções por dois motivos. Primeiro, porque o próprio processo de aprendizagem em ciência requer que o estudante "abandone" (ou reconheça o lugar de) suas concepções anteriores (baseadas no empirismo e em suas convicções próprias) e incorpore o modo de pensar do cientista. De fato, o próprio processo de aprendizagem se assemelha ao processo de desenvolvimento da ciência ao longo dos tempos, ou como diria o próprio Kuhn: "A ontogenia cognitiva recapitula a filogenia científica" (KUHN, 1962, p.84).

Em segundo lugar, durante uma revolução, há uma ênfase maior no pensamento divergente (novo paradigma a se impor) e no fato de como ele é recebido por aqueles que defendem as teorias antigas. Isto parece mostrar ao aluno que existe um "processo de negociação" na ciência e que a mesma não pode ser fruto dos esforços individuais de um ou outro cientista. Além disso, esse processo passa por diversos momentos históricos ao longo dos quais os grupos envolvidos procuram se posicionar e expressar suas teorias (ou adaptações da teoria gênese da revolução científica). Um exemplo foi o debate entre atomistas e não-atomistas que se arrastou desde a Grécia Antiga até o século XVIII que, a propósito, será o caso histórico a ser apresentado na sequência deste trabalho.

### **3. ANÁLISE DE CASO HISTÓRICO:**

#### **O *HORROR VACUI* – DA GRÉCIA À INGLATERRA DO SÉCULO XVII**

Admitir a existência, ou não, do vazio na matéria é uma discussão que se arrastou por séculos de história da ciência e na qual tomaram parte muitos dos filósofos e cientistas mais conhecidos. Entretanto, e ao contrário do que possa parecer, essa discussão ainda se faz presente hoje nas salas de aula. MORTIMER (1995), por exemplo, afirma que nem todos os estudantes concebem a matéria com base em um modelo descontínuo.

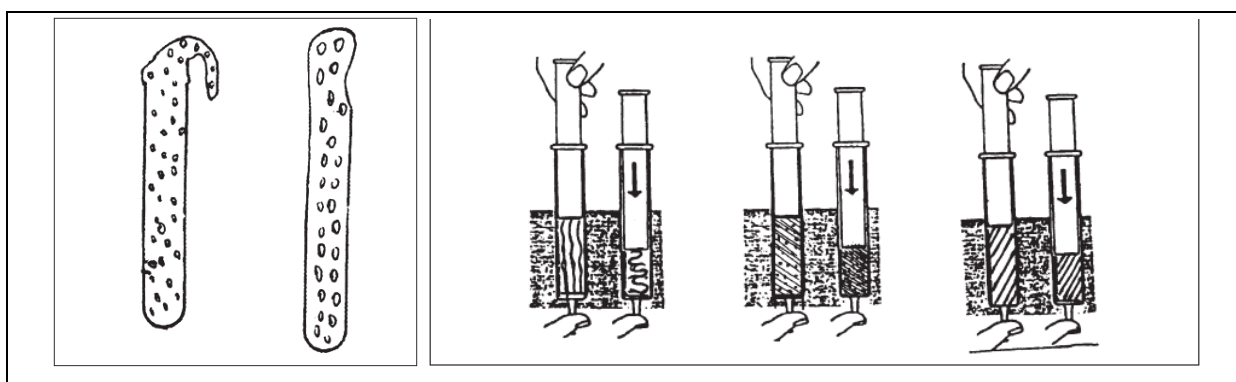
Aliás, mesmo aqueles que concebem a existência de partículas para explicar a matéria, negam que haja vazio entre estas partículas, atribuindo-lhe outro significado (presença de ar

ou outra substância, por exemplo). MORTIMER (1995) também ressalta que o horror ao vazio não se manifesta apenas na visão de estudantes que estão se iniciando no estudo da Química, mas também entre alunos que já foram submetidos ao ensino de modelos atômicos no ensino médio e entre estudantes universitários.

O caso histórico a ser apresentado aqui, além de apresentar uma discussão muito rica e que contribuiu para o estabelecimento da Química enquanto campo da ciência, mostra também profundas semelhanças com os obstáculos enfrentados pelos alunos quando tem de admitir a existência do vazio enquanto ideia-chave para compreender as ideias atomistas.

A discussão em torno do *horror vacui* mostra uma tensão entre duas teorias que procuram explicar a existência dos materiais, ambas oriundas de discussões filosóficas. Por um lado a teoria atomista proposta por Demócrito, na qual a matéria é composta por átomos e vazio e, por outro, a teoria substancialista de Aristóteles que admitia a existência dos mínimos naturais, ou seja, as propriedades do material são as propriedades de seus mínimos e não admitem o vazio.

Ideias semelhantes às apresentadas aparecem frequentemente na sala de aula quando os estudantes se veem diante de fenômenos envolvendo dilatação e compressão de gases. MORTIMER (1995) apresenta a produção de alguns alunos que teriam de representar o ar em um sistema composto por um tubo de ensaio e um balão acoplado, quando submetidos a aquecimento sob chama. Algumas dessas representações são mostradas na figura 2.



**Figura 2.** Representações dos estudantes para o ar comprimido e dilatado (MORTIMER, 1995, p. 24).

Uma análise das representações mostra que os estudantes frequentemente associam às partículas as mesmas propriedades associadas ao material. Na primeira representação percebemos que, após a dilatação, as partículas que representam o ar também dilataram.

Na segunda representação da figura 2, as propriedades do ar são semelhantes às de uma mola ao se comprimir a seringa, logo o ar é representado como uma mola (da mesma

forma que, como veremos a seguir, Robert Hooke acreditava). É importante notar que a maioria das representações deixa transparecer uma aparente negação da existência do vazio, principalmente pelo fato de o vazio não ter uma "natureza empírica", ou seja, não se pode inferir essa característica a partir da observação do fenômeno.

Dessa maneira, acreditamos que as discussões envolvendo o atomismo na sala de aula seriam enriquecidas pela apresentação desse caso histórico, pois:

1. A apresentação do desenvolvimento da concepção atomista na história da ciência poderia auxiliar os alunos a compreender melhor a ideia de átomo, pois os mesmos podem traçar um paralelo entre suas concepções e aquelas apresentadas pelos cientistas.
2. Alguns experimentos associados ao caso histórico são de simples realização podendo ser aproveitados no contexto de sala de aula. Os experimentos que apresentaremos são os seguintes:
  - 2.1. A dilatação do líquido de uma garrafa, por Francis Bacon.
  - 2.2. O experimento do tubo de mercúrio invertido numa cuba, por Torricelli.
  - 2.3. A compressão do ar no tubo em "J", por Robert Boyle.
3. Alguns preconceitos em torno do trabalho do cientista e do desenvolvimento da ciência podem ser superados pois, como veremos, os experimentos apresentados estão associados a uma nova forma de o cientista encarar o mundo dos fenômenos e decorrente da nova filosofia experimental, consolidada na Inglaterra do século XVII.

### **3.1. O caso histórico**

#### **3.1.1. As primeiras teorias da "existência dos seres"**

O interesse em explicar a existência e, ao mesmo tempo, a multiplicidade das coisas remonta aos tempos antigos. Antes mesmo que a ciência se estabelecesse como tal, os filósofos antigos estavam envolvidos em questões que procuravam explicar a existência do ser.

Sabe-se que os filósofos pré-socráticos Parmênides e Heráclito, cerca de 500 a.C., debatiam em torno do seguinte dilema: como explicar o ser humano enquanto verdadeiro, porque idêntico a si mesmo, e, simultaneamente a diferença, o movimento e a transferência das coisas, também verdadeiras?

Esses dois filósofos defendiam concepções completamente opostas. Parmênides acreditava que nada na natureza muda e as transformações que vemos à nossa volta pertenciam apenas ao mundo dos sentidos, pois a razão não poderia conceber que algo mudasse e, de certa maneira mantivesse a mesma existência. Heráclito confiava nos seus sentidos ao afirmar que todas as coisas "fluem" e que os sentidos seriam a bússola que possibilitaria compreender essas transformações.

Animados por essas discussões, Leucipo e Demócrito de Abdera, em sua cosmologia apresentam a primeira teoria atômica, ao afirmar: "Tudo que existe são átomos e o vazio" (ZATERKA, 2004, p.67). Para estes filósofos da escola da pluralidade estes átomos seriam eternos, imutáveis e infinitos, não possuindo características qualitativas, apresentando apenas formas, tamanhos e arranjos diferentes nos vários tipos de corpos.

Com algumas diferenças em relação à ideia das sensações (áspero, liso, "cortante"...), podemos dizer que Leucipo e Demócrito foram seguidos por Epicuro e Lucrecio que mantiveram a ideia de átomo e vazio. Numa carta a Heródoto, Epicuro afirmou que, para ele, o átomo era infinito em extensão, o movimento dos átomos era linear no vazio e vibratório nos corpos.

Os átomos de Demócrito, Leucipo, Epicuro e Lucrecio juntamente com a ideia de vazio estavam constantemente associados à ideia de movimento, pois sem espaço vazio não havia possibilidade de movimento. No seu *Rerum Natura*, Lucrecio afirmou que o vazio é o local do nascimento dos átomos e "se o espaço estivesse pleno de matéria, o movimento contínuo de existência comprovada, seria impossível" (LUCRÉCIO, 1922, I).

Entretanto, na visão de alguns filósofos, o átomo era uma figura estéril, incapaz de explicar as diferentes sensações manifestadas no mundo dos sentidos, pois os átomos não justificavam as características dos corpos, apresentando apenas diferenças de formatos e tamanhos. Como, então, explicar um objeto áspero e outro liso, ou um material gasoso e outro líquido se não havia diferenças qualitativas entre os átomos de um e de outro?

### **3.1.2. Aristóteles e sua cosmologia: crítica ao atomismo**

Para Aristóteles (384 a.C. – 322 a.C.) o atomismo só é capaz de explicar as mudanças que ele chamou de "acidentais", ou seja, aquelas ocorridas sem alteração nas propriedades; não há como explicar as mudanças que ocorrem com alterações na natureza dos corpos, aquelas mudanças percebidas com os sentidos.



Toda a filosofia de Aristóteles é permeada por um eixo central: para ele o mundo material é o único que existe, ou seja, o mundo percebido com os sentidos; tudo que estiver além de nossa experiência sensível não é nada. Seu pensamento também deixa transparecer uma crítica à filosofia de Platão, que acreditava na existência do mundo real (dos sentidos) e o mundo das ideias (da razão).

Aristóteles foi um dos primeiros filósofos a elaborar uma cosmologia eficiente contra as ideias atomistas e, como veremos, suas ideias e seus trabalhos passaram a fazer parte do roteiro de estudos das escolas latinas, estendendo-se até o século XVII, onde iremos encontrar o ponto final de nossa exposição: a nova filosofia experimental de Robert Boyle.

Em sua cosmologia, Aristóteles afirma ser impossível a existência apenas da matéria, como afirmavam os atomistas, pois a matéria adquiria suas propriedades sensíveis quando recebia uma forma. Por exemplo:

“O que é uma cama? A resposta a isso não pode ser: é madeira. Como afirma Aristóteles, um monte de madeira é uma cama somente potencialmente: ou seja, a madeira é de tal natureza que poderia ser transformada em cama por um artesão competente. Para ser uma cama, a madeira tem que ter de fato a forma imposta a ela.” (LEAR, 1994, p. 32)

Dessa maneira, a existência seria composta por matéria e forma, sendo esta última um princípio que determina as propriedades da matéria e do todo. A forma é a essência da coisa, seu princípio interno de mudança. Aristóteles também se sentiu confortável em incorporar a teoria de Empédocles, segundo a qual todas as coisas seriam misturas de terra, ar, fogo e água, mas em proporções variadas.

Dentre os principais pontos de discussão em torno da teoria de Aristóteles estaria, em primeiro lugar, a noção de forma. Esta, aliás, tema de inúmeras controvérsias entre os comentadores medievais, modernos e contemporâneos de Aristóteles, pois este apenas esboçou sua teoria no trabalho *Da Geração e Corrupção*.

Aristóteles afirmava que todas as coisas são dotadas de forma, sendo esta um "ser" (suas propriedades) e um "vir a ser" (suas possíveis transformações)<sup>1</sup>. Dessa maneira, a natureza abomina o vazio, pois o vazio representa o "não ser". Admitir a existência do vazio seria admiti-lo como "ser". Para o filósofo não há como admitir algo que possa, ao mesmo tempo, "ser" e "não ser". Este argumentava que os atomistas não tinham como comprovar a

---

<sup>1</sup> Sendo esta uma definição um pouco simplista para o conceito de forma. Entretanto essa discussão foge ao escopo deste trabalho.

existência do vazio. Além do que, em sua filosofia, o "não ser" simplesmente não tem lugar, pois não pertence ao mundo dos sentidos.

Um outro ponto, porém não menos importante, na cosmologia aristotélica seria o substancialismo, a noção de que cada constituinte possuía as mesmas características do todo. Assim,

“...os constituintes não entram no todo sem alteração. Entrando, eles sofrem uma mudança interna por meio da qual eles se tornam condicionados por este todo. A natureza da mudança que os constituintes devem sofrer é determinada pela natureza do todo. Isto implica que os constituintes que são capazes de se unir num dado todo possuem uma natureza que é intrinsecamente capaz de se unir a esse todo, (...) isto é, o todo vem a ser a partir dos constituintes.” (VAN MELSEN, 1952, p.40)

### 3.1.3. Aristóteles revisitado: os *Minima Naturalia*

Ao compararmos a teoria atômica de Demócrito com a teoria das formas de Aristóteles, temos que elas coincidem apenas em um único ponto: ambos pensaram em partículas minúsculas para a constituição dos materiais. E, apesar de Aristóteles não admitir o corpuscularismo, vemos nos trabalhos do filósofo que o mesmo admitia a existência de um mínimo além do qual a matéria perdia sua forma e, assim, não poderia mais existir enquanto ser sensível.

A teoria dos mínimos, ou *Minima Naturalia*, é derivada das teorias de Aristóteles, porém surgiu quando as teorias do filósofo foram revisitadas por seus comentadores medievais. As escolas latinas dos séculos XII e XIII passaram a difundir os trabalhos de Aristóteles, publicando-os e anexando comentários dos estudiosos gregos e árabes. Os escolásticos acabaram por reinterpretar e, até mesmo, supervalorizar o conceito de forma, concebendo os *Minima Naturalia*, como a menor porção da matéria capaz de reter a forma em sua essência.

Os filósofos e cientistas que se seguiram passaram a adotar uma das teorias que apresentamos como ponto de apoio de seus trabalhos, porém uma tendência se consolidava: a teoria atômica era mais enfatizada por aqueles que lidavam com o mundo físico (como Galileu e Espinosa) enquanto a teoria das formas parecia se adaptar melhor ao mundo dos fenômenos e transformações (como considerado por Boyle, Sennert e os diversos alquimistas), pois era dotada de um caráter mais qualitativo.

Como veremos adiante, a história da ciência não caminhou para um triunfo de uma teoria sobre a outra, mas para um processo de negociação a partir do qual ambas se superpuseram.

Mas, antes de apresentarmos o cenário final de nossa exposição (a Inglaterra do século XVII), é necessário apresentarmos a figura de Paracelso, que também exerceu influência sobre aqueles que seriam os primeiros cientistas de uma química que começava a se consolidar como ciência.

### **3.1.4. Paracelso e Bacon: bases para uma nova filosofia da natureza**

Aureolus Philippus Theophrastus Bombastus von Hohenheim, embora inicialmente alquimista, relatou em suas obras que se achava um "normal", desprovido do dom alquímico reservado apenas para os escolhidos. Essa afirmação pode traduzir um indivíduo modesto, porém deve ser encarada como uma crítica às práticas alquímicas e aos supostos dons apresentados por aqueles que se dedicavam à alquimia e esta, justamente no século XVI, transportara-se do Islã para a Europa.

Paracelso era um indivíduo extremamente presunçoso, e afirmava que os rumos da pesquisa alquímica não deveriam centrar-se na busca da pedra filosofal, mas na cura das doenças e dos males obtidas a partir da natureza. Nessa busca, que ele mesmo empreendeu, afirmava que usava sua própria experiência para ler o Livro da Natureza.

O filósofo e iatroquímico (como ficou conhecida sua nova ciência) também foi um crítico do saber escolástico ao enfatizar que a experiência seria a chave para o conhecimento e não o debruçar-se sobre o conhecimento antigo. Também chegou a propor uma cosmologia ao afirmar que a matéria era composta de uma parte tangível e uma intangível, que ele chamou de espírito.

Ao contrário do que possa transparecer da expressão acima, o "espírito" de Paracelso era composto de partículas com poderes que permitiriam à matéria admitir vários arranjos. Esse poder só era manifestado quando se revelava o fenômeno e, segundo ele, não se relacionava com as propriedades do todo. Ele foi mais adiante ao afirmar que não era necessário conhecer os espíritos, mas o conhecimento dos seus efeitos já produziria ações práticas. Esta afirmação, acreditamos, coloca Paracelso como um dos contribuintes para o surgimento da teoria atômica moderna. Apesar disso, ele não admitia o vazio, apenas partículas com o poder de "raridade".

O século XVI também mostra uma intensa produção científica, em parte, estimulada pela nova forma de ver o mundo, introduzida pelos filósofos de inclinação puritana. Segundo esta filosofia, o trabalho científico deveria ser encarado como um meio de glorificar a Deus, aproximar-se dEle e, ao mesmo tempo, buscar o bem estar dos homens.

Claro que o avanço da ciência nessa época se deveu a inúmeros outros fatores como a troca de saberes entre os filósofos-cientistas. Também não podemos nos furtar das contribuições do catolicismo, sobretudo na primeira metade do século XVII. Entretanto, um levantamento das produções científicas na história das ciências mostra que os séculos XVI e XVII apresentaram um volume muito maior de trabalhos do que os séculos anteriores.

A figura central no surgimento daquela nova filosofia, a filosofia experimental, foi Francis Bacon que, no seu trabalho denominado *Novum Organum*, afirmou que a ciência deveria ser encarada como uma forma de o homem reaproximar-se de Deus pois o ser humano, a partir do pecado original, perdeu seu conhecimento da natureza, necessitando "re"conhecê-la.

Este reconhecimento da natureza, segundo Bacon, não poderia ser obtido pelo saber escolar, caracterizado por uma ciência meramente contemplativa, que apenas reproduzia e observava a natureza, baseada nas ideias de Aristóteles e não naquelas adquiridas pela experiência. Dessa maneira, Bacon se propôs a trocar os livros antigos pelas coisas, a biblioteca pelo laboratório (já bem desenvolvido a partir das práticas alquímicas), o domínio dos argumentos pelo domínio dos fenômenos. No item seguinte apresentaremos um experimento proposto por Bacon que ilustra bem suas ideias.

Apesar de evocar a crença cristã em seus trabalhos, Bacon procurou, de início, separar a teologia de sua filosofia experimental, pois, segundo ele, o estudo das coisas sensíveis e materiais não poderia ter como resultado o divino, mas puramente a observação da ordem da natureza, buscando sempre o bem estar dos homens.

Influenciado por Bacon e Paracelso, Robert Boyle desenvolveu sua filosofia experimental, lançando as bases para uma nova teoria que apresentava elementos de negociação entre o atomismo e o minimismo.

### **3.1.5. A nova filosofia experimental: estudos sobre o ar e o vácuo**

Até então, os filósofos e cientistas não tinham uma compreensão plena das propriedades dos gases e de sua participação em inúmeros processos químicos. As

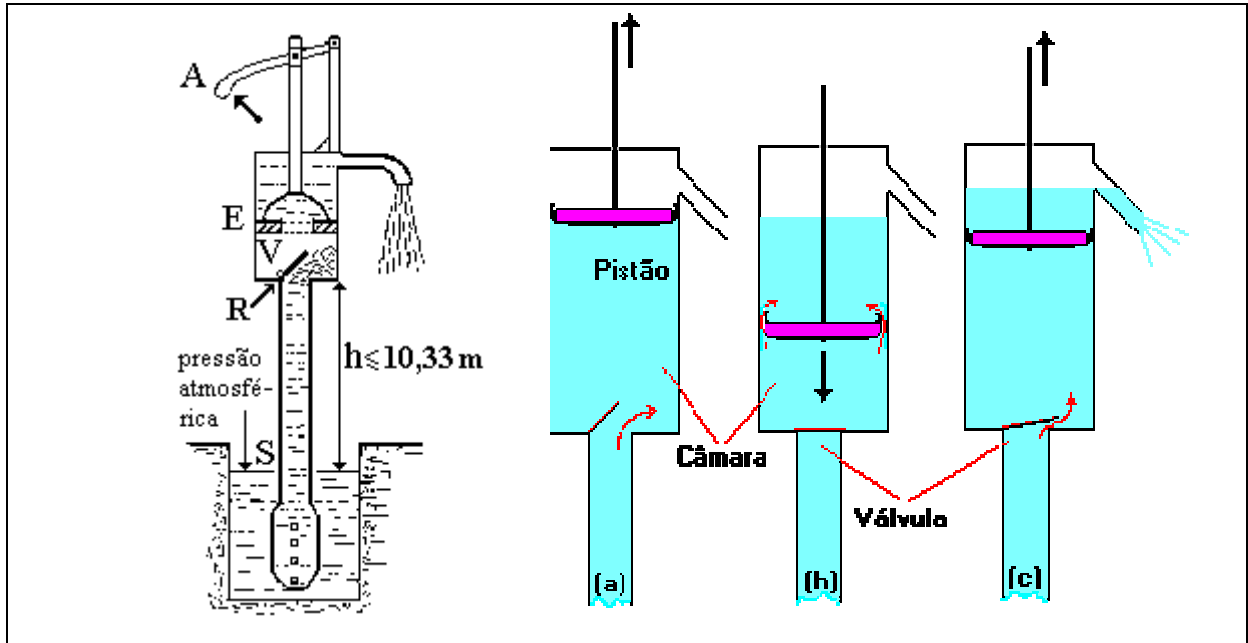
compressões e dilatações começaram a se tornar campo de estudo dos cientistas através de experimentos.

Aqui também vemos uma característica importante da nova filosofia experimental: os cientistas passaram a criar experimentos que servissem à investigação. Nas palavras do próprio Robert Boyle, era necessário construir uma história experimental das coisas, pois a natureza não devia ser observada passivamente, mas perturbada, comandada.

Ao estudar o ar, os cientistas se viam constantemente diante da ausência dele. Galileu, em seu *"Diálogos Referentes a Duas Novas Ciências"*, apresentou uma observação que o levou a crer que a natureza, apesar de abominar o vazio, admitia-o em algumas situações extremas:

“Vi uma vez uma cisterna na qual tinha sido instalada uma bomba. O braço da bomba puxava seu êmbolo e a válvula para a parte superior, de tal maneira que a água se elevava por atração. Essa bomba trabalhava perfeitamente, enquanto a água da cisterna se mantivesse acima de determinado nível; mas, abaixo daquele nível, a bomba deixava de trabalhar. Quando primeiro observei esse fenômeno, pensei que a bomba tinha se desarranjado, mas o operário chamado para repará-la disse-me que o defeito não estava na bomba, mas na água (nível), que tinha caído muito baixo para poder ser elevada em toda aquela altura; e acrescentou que não era possível, seja para uma bomba, seja para qualquer outra máquina que trabalhasse pelo princípio da atração, elevar a água um fio de cabelo a mais do que dezoito cúbitos (cerca de 10 metros); seja a bomba grande ou pequena, este era o limite extremo de elevação.” (Galileu, 1636, fragmento)

Historicamente, acreditamos que Galileu estivesse se referindo às cisternas construídas pelo Grão-Duque de Toscana para irrigar seus jardins. As cisternas tinham cerca de 15 metros de profundidade, porém os funcionários encarregados da montagem da bomba de sucção verificavam que a água subia apenas à altura de dez metros. Depois disso, por mais que se ajustasse a bomba, a água era incapaz de ultrapassar essa marca. Um esquema da bomba e da cisterna a que nos referimos encontra-se apresentado na figura 3.



**Figura 3.** Uma cisterna com uma bomba de sucção acoplada e os sistemas de admissão e retirada de água através da movimentação do pistão.

De acordo com as teorias substancialistas, a água subia quando o pistão se deslocava para cima (figura 3a), pois o horror da natureza ao vazio acarretava a subida da água, a fim de preencher imediatamente o espaço deixado pelo movimento de subida do pistão. No seu trabalho, Galileu, que se achava bastante à vontade com as teorias atomistas em sua física mecanicista, pontuou que se a natureza tivesse mesmo um horror ao vazio, este horror sucumbia diante de algumas situações extremas como numa cisterna de altura maior do que dez metros.

Entretanto, ainda não estava provada empiricamente a existência do vazio, como exigiam alguns defensores das teorias aristotélicas. Refletindo sobre as colocações de Galileu, Torricelli interessou-se pela questão. De fato, Evangelista Torricelli era um estudioso de Galileu e seu discípulo. Nos últimos meses da vida de Galileu, Torricelli serviu-o como amanuense (uma espécie de escrevente).

Sobre a polêmica da bomba de sucção, Torricelli acreditava que era possível a existência do vácuo e que, na verdade, a explicação do seu funcionamento não estaria no horror ao vácuo, pois a natureza não poderia apresentar limites de tolerância, ou seja, a natureza não poderia exprimir vontades.

Toricelli acreditava na existência de uma força que empurraria a água, sendo esta força a pressão exercida sobre a superfície livre da água (que ficava fora do tubo de sucção). Procurando realizar seus estudos sem a necessidade de cisternas, Torricelli imaginou que o

mercúrio (14 vezes mais denso do que água) poderia reproduzir uma cisterna de dez metros de altura em apenas 76 centímetros, ou seja, 14 vezes menor.

O experimento proposto por Torricelli (descrito mais detalhadamente no próximo tópico) mostrava exatamente isso: um tubo de 1 metro, totalmente preenchido com mercúrio, ao ser colocado em uma cuba com mercúrio com sua extremidade aberta voltada para baixo produzia uma coluna de exatos 76 centímetros. E, como não poderia haver ar dentro do tubo, que antes estava completamente preenchido por mercúrio, Torricelli argumentou que ali só poderia existir o vácuo. O vácuo formado era decorrente da pressão externa exercida sobre o mercúrio na cuba de vidro, insuficiente para elevá-lo à altura do tubo.

Além de demonstrar a existência do vazio, o ponto mais importante da chamada experiência de Torricelli foi a proposição de que a atmosfera era finita, pois a pressão exercida era exatamente aquela decorrente do peso do ar. Blaise Pascal efetuou diversas "medidas" com a coluna de Torricelli, e as fez realizando o experimento repetidas vezes à medida que subia uma montanha. Assim, ele demonstrou que, à medida que a altitude se tornava maior, menor era a altura da coluna de mercúrio. Tal ideia constitui-se no princípio de funcionamento do barômetro.

A aceitação da existência do vazio e a possibilidade de produzi-lo passou a fazer parte do cotidiano dos cientistas e, inclusive, das pessoas comuns que assistiam de forma interessada aos "demonstradores de experimentos", viajantes que iam de cidade em cidade mostrando o seu trabalho. Embora não fosse um demonstrador, Otto von Guericke era bastante conhecido por uma exibição pública dos seus "Hemisférios de Magdeburg".

Nessa demonstração, ilustrada na figura 4, von Guericke retirava o ar de uma esfera oca e composta por duas metades que se encaixavam perfeitamente. Em seguida, prendia cada uma das metades a 12 cavalos e ordenava que os mesmos tentassem separar as duas metades. Apesar dos esforços de todos os 24 cavalos e cavaleiros, aquilo não aconteceu. Em seguida, a esfera era inflada com ar e os hemisférios eram separados nas mãos de von Guericke. Este experimento indicava a existência de uma pressão externa à esfera (no caso, a pressão atmosférica) que mantinha a mesma unida. Quando o ar era injetado no interior da esfera, as pressões interna e externa se igualavam e a esfera podia ser separada.



**Figura 4.** Os hemisférios de Magdeburg e a demonstração pública de Otto von Guericke.

De fato, o vácuo começou a despertar o interesse das autoridades e dos cientistas, e a bomba de vácuo (conhecida na época como "bomba de ar") se tornou cada vez mais difundida nos laboratórios. A partir dela, os cientistas passaram a compreender melhor as propriedades do ar, na medida em que podiam realizar experimentos na presença e na ausência do mesmo.

A figura 5 apresenta uma pintura do século XVIII que ilustra um desses experimentos. O quadro mostra um pássaro aprisionado numa cuba na qual é feito vácuo por uma "bomba de ar". Este tipo de experimento era muito comum e, nele, os cientistas procuravam compreender a importância do ar e suas propriedades.

Uma propriedade do ar que passou também a ser pesquisada pelos cientistas foi a sua compressibilidade. Desde o século XVI já havia experimentos sobre a expansão do ar<sup>2</sup>, porém sua compressão ainda era motivo de muita controvérsia. Alguns cientistas chegavam a afirmar que a compressão do ar não era perfeita, proporcionando diferentes máximos de compressão quando ele era submetido sucessivas vezes à força de um êmbolo num sistema fechado.

Robert Hooke acreditava que o ar se comportava como uma mola, apresentando um valor constante para sua compressão. Robert Boyle, que havia tido Hooke como seu assistente durante alguns anos, também acreditava na compressibilidade do ar, mas procurava uma forma de poder medir a força de compressão aplicada sobre o êmbolo que comprimia o ar.

<sup>2</sup> Como experimentos, me refiro aqui aos realizados sob a perspectiva da nova filosofia experimental, pois aqueles frutos da mera observação humana remontam à antiguidade.





**Figura 5.** "An Experiment of a Bird in the Air Pump", obra pintada por Derby no século XVIII.

### 3.1.6. Robert Boyle e sua nova teoria corpuscular

Robert Boyle, sendo discípulo da filosofia experimental de Francis Bacon e um admirador dos trabalhos de Paracelso, também era um crítico das teorias aristotélicas do *horror vacui* e do substancialismo. No prefácio introdutório de uma obra perdida, provavelmente escrita nos anos de 1650, Boyle afirmou:

“... observei muitas coisas em minhas viagens que eram totalmente ininteligíveis a partir da teoria de Aristóteles, que está fundada apenas sobre aparências óbvias e superficiais para alcançar ou todos ou os efeitos mais abstrusos da Natureza... o que quer que se considere a respeito das teorias gerais de Aristóteles ou outros filósofos a respeito das qualidades, desejamos claramente que se deva construir sobre elas uma teoria sólida e útil, quer dizer, uma história experimental delas.” (BOAS-HALL, M. 1966, p. 177)

Na sua obra de 1686, intitulada "Uma investigação livre na noção vulgar de natureza", Boyle apresentou uma extensa crítica ao *horror vacui*. No nível epistemológico, Boyle afirmou que não era correto supor a natureza com vontade e sentimento próprio, sendo seu comportamento meramente mecânico. No nível teológico, o "cristão virtuoso" (como se auto declarava) afirmou a soberania de Deus no estabelecimento das leis do universo, sendo o único ser capaz de operar "vontades" sobre a natureza.

Apesar de ser um crítico tão feroz das teorias minimistas, não é correto dizer que Boyle era completamente avesso às mesmas. Ele tinha também uma extensa produção alquímica, que não será objeto do nosso estudo, mas que nos faz crer que também se valia da teoria dos quatro elementos para apoiar suas práticas. De fato, apoiado nas pesquisas e no conhecimento compartilhado entre vários de seus contemporâneos (entre os quais merecem destaque Sennert e Hooke), Boyle caminhou para uma reinterpretação das teorias aristotélicas, superpondo a estas algumas características do atomismo.

Novamente aqui é necessário desmistificar alguns erros muito comuns inferidos a partir da análise das críticas do cientista. Primeiro, Robert Boyle (assim como a maioria dos cientistas que operava no mundo dos fenômenos químicos) não era atomista. Ele sequer utilizava as expressões átomo ou atomismo em suas obras, optando por corpúsculo. Porém, é exatamente a partir de sua vivência e de seu conhecimento das teorias dos mínimos naturais e dos quatro elementos que Boyle construiu sua crítica.

Em segundo lugar, não nos parece correto atribuir a Boyle o resgate do atomismo grego como teoria reinante na ciência química que começava a surgir no século XVII, pois, como veremos, a teoria de Boyle traz um conceito completamente novo e diferente do átomo estéril de Demócrito e Leucipo, e oriundo de uma reinterpretação das teorias de Aristóteles. Aliás, nem o concebemos aqui como o "pai da Química" conforme afirmam alguns livros didáticos, mas sim como participante de grande contribuição para o estabelecimento da Química como ciência, entre muitos outros.

Retornando às críticas de Boyle às teorias minimistas, no seu trabalho "O Químico Cético", o cientista criticou o entendimento da noção de forma proposta a partir de Aristóteles, afirmando que aquilo que vinha sendo entendido pelos filósofos como forma era, na verdade, o que ele chamava de textura. A forma, afirmava ele, era inerente às partículas e era uma propriedade completamente distinta da textura, propriedade sequer conhecida, pois não podia ser percebida com os sentidos. A textura, sim, era uma propriedade inerente aos aglomerados de corpúsculos.

Assim, um único corpúsculo não teria cheiro, pois o cheiro era uma textura e um corpúsculo sozinho não implicava uma textura. Boyle também afirmava a existência do vazio como meio para a formação dos aglomerados. Dessa maneira, estava alicerçada em sua obra a sua grande contribuição à ciência moderna: a transcendência do paradigma físico-mecânico na ciência química (ou, como explicar os fenômenos sem uma abordagem qualitativa?), instituindo em seu lugar uma abordagem físico-química que abarcava simultaneamente as

noções mecânicas e corpusculares e aquelas mais qualitativas e referentes às propriedades sensíveis dos materiais.

Para encerrar esta exposição histórica, retornemos brevemente ao experimento realizado por Boyle que estávamos prestes a discutir no subitem anterior.

Buscando uma maneira de provar a perfeita compressibilidade do ar, ou seja, a possibilidade de o ar ser comprimido várias vezes e exibindo o mesmo comportamento, Boyle lançou mão de sua nova teoria para apoiar suas observações experimentais.

Ele mandou produzir um tubo em forma de "J" com uma das extremidades fechadas (a apresentação em detalhes do experimento será feita no tópico seguinte). Então, adicionou mercúrio a partir da extremidade aberta, permitindo que uma parcela de ar ficasse aprisionada na parte fechada do tubo. A partir daí, aumentou a coluna de mercúrio no tubo, propiciando uma forma de relacionar a altura da coluna de mercúrio com a pressão exercida para comprimir o ar. Disso resultou a observação de que o mesmo era comprimido proporcionalmente à altura da coluna.

Em seu "Novos Experimentos Físico-mecânicos Concernentes à Mola do Ar", o cientista procurou explicar o comportamento do ar com base em sua teoria corpúsculo-qualitativa:

“O que quero dizer com mola de ar é o seguinte: nosso ar consiste de partes. (...) Podemos explicar essa noção imaginando o ar composto de um amontoado de pequenos corpos, como um monte de lã crua. (...) Diferentemente de uma esponja, a lã não é um corpo inteiro, mas uma porção de corpos combinados, mas soltos. Os pelos de lã apertados com a mão podem ser reunidos em um espaço menor do que aquele que ocupava antes. Porém, abrindo um pouco a mão, esta se dilata tanto quanto a pressão aplicada a ela permitir (...). Assim, não importa se as partículas de ar têm forma ou estrutura de molas ou qualquer outra forma, uma vez que seu poder elástico não advém de sua forma ou estrutura, mas de seu movimento, sem o qual estes corpos aéreos não permaneceriam separados e esticados.” (BOYLE, R., 1672, p.79)

Acreditamos que fica claro aqui o alcance da nova teoria da matéria proposta por Boyle e da versatilidade que o mesmo teve de combinar elementos mecânicos e qualitativos às partículas.

Em seu estudo, Boyle apresentou diversas medidas da compressão do ar em função de diversas pressões aplicadas. Ele afirmou também que não era seu interesse postular uma teoria matemática e nem mesmo explicar o porquê de o ar se comportar como uma mola. Ou seja, a relação que hoje se conhece por "Lei de Boyle" foi, na realidade, proposta por Henry Power e

Richard Towneley em 1660, verificada acuradamente por Hooke (1661), testada novamente por Boyle e por ele publicada em 1662 (dois anos após a publicação de seus estudos) e, finalmente, formulada matematicamente por Edme Mariotte (1684).

### **3.2. Os experimentos históricos**

Neste tópico apresentaremos uma descrição dos três experimentos históricos que consideramos relevantes e passíveis de adaptação para sala de aula, relacionados com o caso histórico que acabamos de descrever. Procuramos descrever o experimento da mesma forma como relatam traduções fiéis dos trabalhos e das publicações dos filósofos-cientistas.

Dessa maneira, enfatizamos que iremos meramente descrever o experimento original, deixando as discussões e possíveis alterações no experimento para o tópico seguinte. A única alteração aqui apresentada foi a da linguagem, adaptada para favorecer a compreensão dos alunos.

#### **3.2.1. Experimento sobre o espírito do vinho de Francis Bacon**

Francis Bacon propôs vários experimentos na sua obra *Novum Organum* como forma de ilustrar sua nova filosofia experimental. O experimento que se segue pretendia descobrir a proporção entre os corpos pneumáticos e os tangíveis:

1. Tome uma ampola de vidro de cerca de 30 mL de capacidade, aproximadamente. (O recipiente escolhido é pequeno para conseguir evaporação de um líquido com pouco calor.)
2. Coloque-se quase até o gargalo de vinho, líquido escolhido por ser um corpo mais rarefeito (mais volátil) e o que contém menos quantidade de matéria (menos denso) e anote-se cuidadosamente o peso.
3. Depois disso, pegue-se uma bexiga (na época, uma bexiga animal) e retire-se todo o ar possível da bexiga, até que os seus dois lados se toquem em todas as partes. Antes a bexiga deve ter sido untada com azeite para tapar todos os poros.
4. A seguir, coloque-se a boca da bexiga em torno do gargalo da ampola, amarrando-o bem de maneira a obter a melhor vedação.

5. Depois disso, aqueça-se o frasco sobre carvões, em um pequeno forno. Observa-se que a evaporação do vinho, dilatado e tornado pneumático pelo calor, começa a inchar lentamente a bexiga por todos os lados.
6. A seguir, retire-se o frasco do fogo, colocando-o sobre um tapete, para que o resfriamento rápido não o quebre. Depois disso, desamarre-se a bexiga e pese-se o espírito restante na ampola.
7. Compare-se o peso atual da ampola com o inicial, computando-se quanto se transformou em vapor ou se tornou pneumático. Compare-se também o volume da substância, quando em estado de espírito do vinho, com o espaço que ocupou na forma de vapor. Dessa maneira, pode-se ver que a substância transformada adquiriu um volume e ocupou um espaço cem vezes maior que o volume inicial.

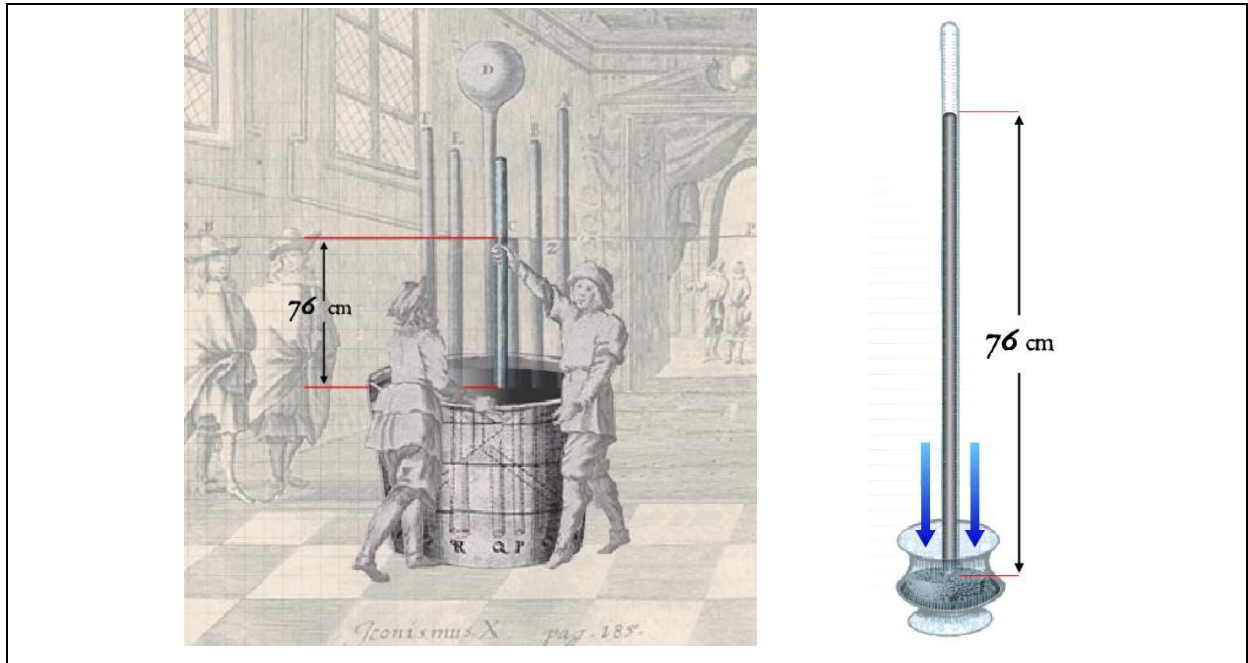
### **3.2.2. O tubo invertido na cuba com mercúrio de Torricelli**

Este experimento foi apenas idealizado por Torricelli e realizado por seu colega Vincenzo Viviani em 1643. Ele não fez parte de nenhuma publicação de Torricelli, mas encontra-se descrito numa carta do cientista ao seu amigo Michelangelo Ricci datada de 1644.

Nessa carta, Torricelli relata seu interesse nos resultados do experimento:

"Tem-me chamado atenção certos experimentos filosóficos que estou desenvolvendo relativos ao vácuo, não necessariamente para produzir vácuo, mas para produzir um instrumento que irá exhibir mudanças na atmosfera. (...) Muitos têm discutido sobre a inexistência do vácuo, outros declaram que o mesmo existe apenas quando há uma dificuldade maior do que a repugnância da natureza; eu sei que nenhum deles reconhece a fácil existência do vazio sem a resistência da natureza." (Torricelli, 1644, fragmento)

A experiência de Viviani foi realizada com o auxílio de um tubo de vidro de cerca de seis pés de comprimento, que foi fechado em uma das extremidades. Encheu-se o tubo mercúrio, vedando a extremidade aberta com o dedo. O tubo foi então invertido e colocado com a extremidade vedada pelo dedo mergulhada em uma tina aberta de mercúrio, conforme as ilustrações da figura 6.



**Figura 6.** Montagem do experimento idealizado por Torricelli e executado por Viviani.

Retirando-se o dedo, o mercúrio desceu lentamente pelo tubo para uma altura de cerca de 30 polegadas acima da superfície do mercúrio da tina. Como nenhum ar podia ter entrado no tubo, o espaço livre acima da coluna de mercúrio ficou conhecido como "vácuo de Torricelli".

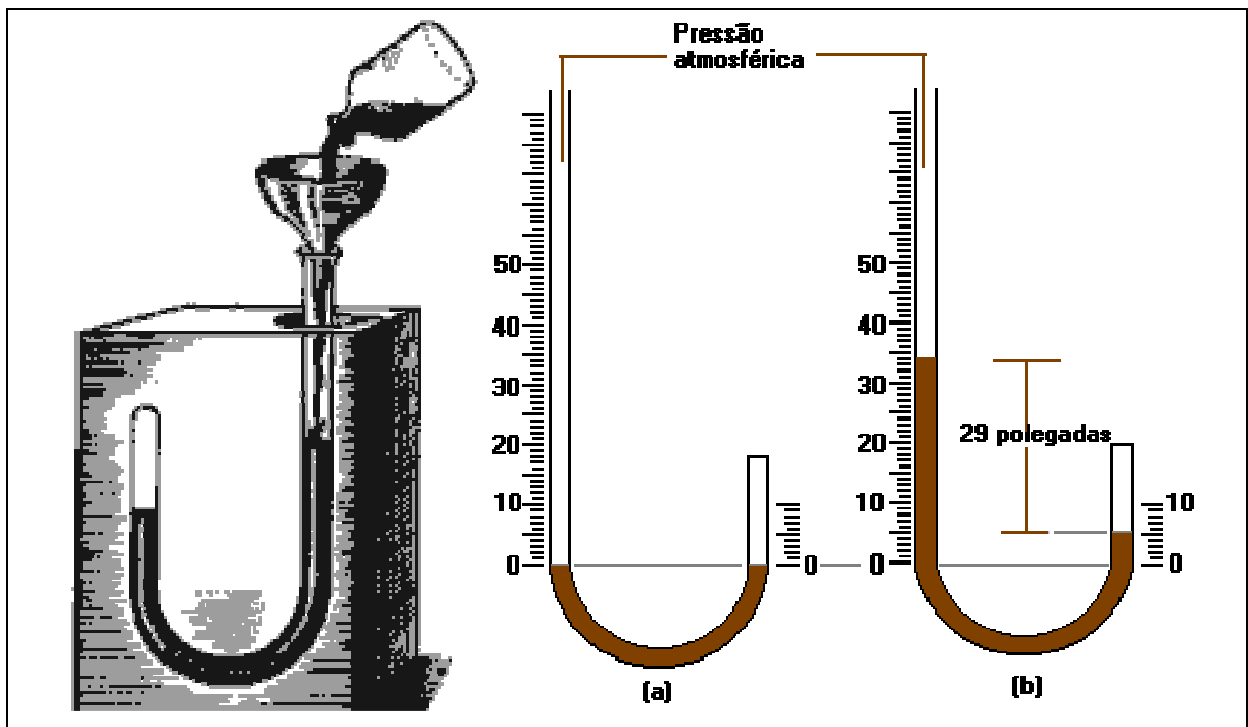
Uma animação em flash deste experimento encontra-se disponível em "<http://objetoseducacionais2.mec.gov.br/bitstream/handle/mec/14752/Torricelli.swf>".

### 3.2.3. Experimento sobre a compressibilidade do ar, de Robert Boyle

O experimento realizado por Boyle encontra-se descrito no capítulo V do seu "Novos experimentos físico-mecânicos concernentes à mola do ar":

Utilizou-se um tubo de vidro longo que foi encurvado e dobrado por um vidreiro (preparado especificamente para o experimento), de forma que a parte voltada para cima estava quase paralela ao resto do tubo formando um "J", e a abertura desta perna menor do sifão hermeticamente fechada; o comprimento desta parte menor foi subdividido em polegadas (divididas por sua vez em oito partes) com uma tira de papel que continha estas divisões, e que foi colada ao longo desta parte do tubo, conforme mostrado na figura 7.

Colocou-se então o mercúrio na parte curva em quantidade suficiente para que ele atinja a base do papel com divisões de um lado do tubo e até a mesma altura ou linha horizontal no outro. Tomando o cuidado de inclinar o tubo várias vezes para que o ar passasse por cima do mercúrio livremente, de um lado para o outro (tivemos, como disse, cuidados), de maneira que o ar aprisionado no cilindro mais curto ficasse com a mesma tensão que o ar em volta.



**Figura 7.** O experimento de Robert Boyle e suas verificações experimentais.

Depois disso, derramou-se mercúrio na perna mais longa do sifão, que, com seu peso [do mercúrio] pressionou o mercúrio da perna mais curta, estreitando assim o ar aprisionado. Continuou-se a derramar o mercúrio até que o ar da perna mais curta, por condensação [contração], tomasse a metade do espaço que possuía inicialmente (digo possuía, não ocupava). Ao observar a perna mais comprida do vidro, sobre a qual estava colado um papel dividido em polegadas e partes, e observamos que o mercúrio no tubo maior estava 29 polegadas acima do mercúrio da parte menor.

### **3.3. Os experimentos apresentados num contexto de ensino**

#### **3.3.1. Os experimentos e sua relação com o caso histórico**

Acreditamos que os experimentos históricos propostos no tópico anterior, se utilizados em sala de aula, podem permitir ao estudante refletir sobre a existência do vázio na matéria. Historicamente, os experimentos de Torricelli e Boyle estiveram realmente relacionados com a crença desses cientistas no vázio.

O experimento de Francis Bacon, realizado quase um século antes daqueles propostos por Boyle e Torricelli, não procurava compreender o vázio. Porém, o que chama a atenção é, ao mesmo tempo, a simplicidade de sua realização e a possibilidade de o mesmo ser utilizado com o fim de refletir sobre a existência do vácuo, se reproduzido e discutido num contexto de ensino.

As obras de Francis Bacon tiveram, sem dúvida, grande influência sobre os trabalhos de Boyle, que apresentavam o mesmo rigor metodológico e descrição detalhada do experimento à maneira de Bacon, possibilitando a reprodução do mesmo por outros cientistas.

Interessante também nesses trabalhos é a nova forma de pensar a aplicação do experimento na ciência: o papel do cientista não se restringia a observar passivamente uma ocorrência, mas a produzir situações que colocavam suas teorias à prova. Este tipo de postura se identifica com a estratégia de ensino por investigação, na medida em que os estudantes se sentem mais livres para opinar, explicitar suas percepções sobre o experimento, discutir e comparar diferentes pontos de vista sobre o fenômeno.

Em algumas atividades investigativas, o estudante tem a possibilidade de propor alterações no experimento de maneira a testar se suas concepções são, de fato, válidas. Aliás, em atividades investigativas consideradas abertas, é o próprio estudante que aponta os rumos da pesquisa, norteado apenas por um tema inicial mais geral. Todas essas características aproximam o aluno de uma ciência mais real e o tornam mais apto a compreender o modo pelo qual a ciência se produz.

Outro aspecto que torna essa discussão extremamente rica e proveitosa para a sala de aula é o fato de os experimentos históricos surgirem a partir da narrativa histórica que propusemos, contribuindo, assim, para desmistificar o possível embate entre atomistas e minimistas. Não queremos dizer, com isto, que as discussões em torno da constituição da matéria não produziram polêmicas e discussões acaloradas entre os envolvidos. O que afirmamos é que não houve uma disputa na qual venceria a melhor concepção sobre a



matéria, mas uma dinâmica de negociação interna da ciência, na qual cada uma das teorias foi sendo incorporada e reinterpretada dentro da própria comunidade de filósofos e cientistas. Ao longo desse processo, uma teoria se superpôs à outra de maneira a ser compreendida como uma nova forma de encarar os fenômenos.

Essa característica pode permitir ao estudante compreender a importância de explicitar suas opiniões, respeitar a opinião divergente e procurar um caminho de consenso nas discussões desencadeadas pelas atividades investigativas em sala de aula.

Por fim, cabe ainda ressaltar outro ponto que também julgamos importante: a abordagem histórica não pode pretender forçar o estudante a aceitar a existência do vazio em suas concepções. Esse tipo de postura, aliás, distanciaria a prática da dinâmica proposta pelo ensino por investigação. É interessante notar que o uso de experimentos históricos, a narrativa histórica e a estratégia do ensino por investigação são complementares entre si no contexto a que nos propomos.

### **3.3.2. Reprodução e adaptações dos experimentos na sala de aula**

Discutir sobre a reprodução do experimento histórico na sala de aula não é tarefa fácil por vários motivos. Primeiro, devido às múltiplas realidades apresentadas nas salas de aula.

Cada escola e cada professor tem sua realidade própria, de maneira que se torna difícil apontar diretrizes para a reprodução do experimento. Sendo assim, o que nos propomos nesse item seria discutir a aplicabilidade e possíveis alterações dependendo das alternativas de abordagem a critério do professor.

Segundo, conforme discutido anteriormente, é impossível reproduzir o experimento, por mais simples que o mesmo seja, exatamente como no contexto original. É preciso compreender até que ponto essas adaptações não influenciam os próprios objetivos do experimento ou não empobrecem as discussões sobre seus resultados.

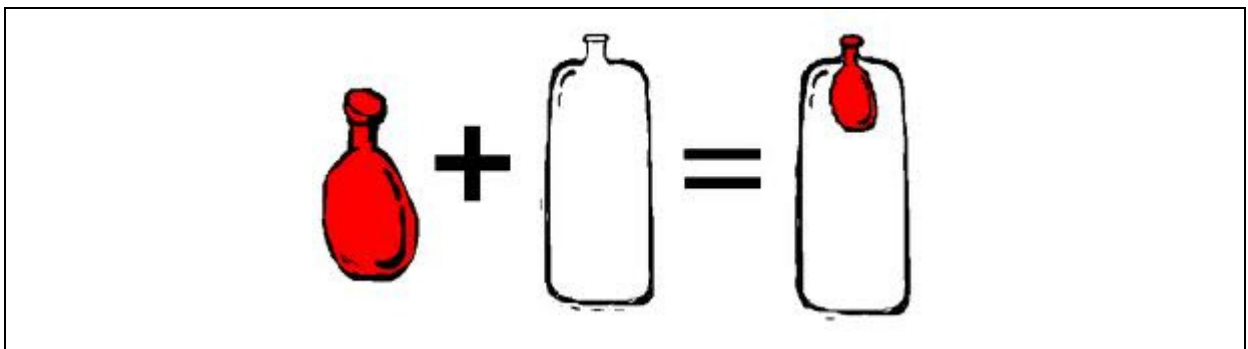
Reafirmamos aqui a importância da narrativa histórica como chave na realização do experimento. Ainda que se façam alterações, estas devem ser explicitadas quando da apresentação do experimento histórico na narrativa, inclusive levando o aluno a refletir sobre o impacto dessas alterações. A seguir discutimos questões de reprodução e adaptação de cada um dos experimentos históricos na prática de sala de aula.

### 3.3.2.1. Experimento de Francis Bacon

Ao acompanhar a descrição de Bacon sobre seu próprio experimento, notamos alguns pontos passíveis de adaptação. Primeiro, o cientista usou o vinho como líquido para evaporação justificando (em seu trabalho original) sua utilização por ser um líquido rarefeito, porém não cavernoso. Acreditamos que Bacon se referia à facilidade de conseguir evaporação desse líquido com baixo aquecimento. Ele não discutiu sobre a composição do líquido, pois o fenômeno a ser observado é a evaporação e consecutiva dilatação do gás a partir do aquecimento. Nas salas de aula, poderíamos lançar mão de líquidos mais voláteis como éter, acetona ou o próprio álcool.

Em virtude de serem os líquidos inflamáveis e de se realizar o aquecimento dos mesmos, uma forma mais segura seria dissolver o líquido em água. Dessa forma, a combustão seria dificultada sem se perder o incremento na evaporação resultante do uso dos líquidos que citamos.

Outro ponto no qual é aparente a necessidade de adaptação seria a preparação da bexiga, que no caso de Bacon é realmente uma membrana e no nosso contexto um balão de festa. Como o objetivo do cientista é retirar todo o ar possível da bexiga, poderíamos colocá-la no gargalo de uma garrafa (que substituiria a ampola de vidro) de forma invertida, como mostra a figura 8.



**Figura 8.** Uma bexiga acoplada ao gargalo de uma garrafa no qual se introduziu um líquido, uma adaptação possível ao experimento de Francis Bacon.

É interessante seguir a recomendação do próprio Bacon para se usar um recipiente pequeno e cheio do líquido, o que facilita a evaporação e o preenchimento da bexiga.

Ressaltamos que não nos referimos às adaptações acima como meras escolhas do professor antes de realizar o experimento. Acreditamos ser importante discutir essas adaptações junto aos alunos à medida que se faz o estudo do texto histórico. Insistimos que é

exatamente a narrativa histórica o guia para compreensão do contexto no qual o experimento histórico se insere e, sem esta, o experimento histórico seria apenas um experimento investigativo.

Por outro lado, para que o experimento não seja apenas histórico, mas adaptado à estratégia do ensino por investigação, é necessário levar o estudante a refletir e fazer propostas dentro do contexto imposto pelo experimento histórico, ou seja, a abordagem investigativa requer uma problematização.

Algumas questões importantes que devem ser levantadas quando da realização desse experimento seriam:

1. *Que quantidade de líquido evaporou ou, na linguagem da época, tornou-se pneumático?* Pela descrição do cientista, nota-se uma preocupação com a verificação dos pesos do recipiente antes e depois como fator de comparação.

2. *Seria possível verificar a constatação do cientista de que a quantidade de líquido evaporado ocuparia um volume 100 vezes maior?* No experimento não se encontra demonstrado como poderia ser obtida tal constatação, porém a afirmação do cientista levaria os estudantes a buscar formas de medir os volumes do líquido evaporado (por exemplo, "graduando" o recipiente utilizado) com aquele volume ocupado pelo próprio vapor.

3. *Como poderíamos determinar o volume ocupado pelo vapor?* Este volume poderia ser obtido com uma adaptação ao experimento: ao invés de simplesmente retirar o vapor da bexiga, o volume da mesma poderia ser determinado por empuxo. Este procedimento certamente levaria a diferenças experimentais devido, principalmente, a um fator apontado pelo cientista: o vapor recém-formado pode condensar, ocupando menor volume.

4. *Por que a preocupação de Bacon em retirar todo o ar da bexiga?* Como estamos no contexto da discussão do horror ao vácuo, que culmina com a discussão das propriedades do ar, é interessante que, a partir do experimento, os estudantes iniciem a discussão de propriedades como o peso e o volume ocupado pelo ar. Seria interessante pedir aos estudantes que representem o vapor na bexiga à semelhança do que faz MORTIMER (2002) para o aquecimento do ar num tubo acoplado a uma bexiga.

### **3.3.2.2. Experimento de Torricelli**

Uma dificuldade aparente na realização deste experimento (e também daquele proposto por Boyle) é, sem dúvida, o uso do mercúrio. Primeiro devido à sua periculosidade,

o que acarretaria a necessidade de que o experimento fosse realizado de forma demonstrativa. Entretanto, a demonstração algumas vezes representa um entrave na proposição, pelo estudante, de alterações no experimento a fim de "colocar suas ideias à prova".

Uma tentativa de alterar o líquido a ser usado no tubo nos levaria a outra constatação: a maioria dos líquidos altamente densos como o bromofórmio ( $d \sim 2,89 \text{ g/cm}^3$ ), iodeto de metileno ( $d \sim 4,00 \text{ g/cm}^3$ ) e o próprio mercúrio ( $d \sim 14 \text{ g/cm}^3$ ) são todos líquidos tóxicos. Em nossos estudos, tentamos utilizar uma mistura de glicerina e açúcar. Porém a densidade ainda era muito pequena e a pressão atmosférica ainda era capaz de manter o líquido elevado à altura do tubo.

Entretanto, há inúmeros vídeos e animações disponibilizados na web que poderiam ser exibidos, apresentando a realização do experimento. Essa alternativa resolveria um segundo problema associado ao uso do mercúrio: seu preço. Em orçamento realizado em maio de 2010, 50mL de mercúrio custavam cerca de R\$ 700,00 o que representa, sem dúvida, um complicador para escolas que não contam com laboratório, material adequado e verba para compra de reagentes.

Na realização do experimento, algumas questões importantes devem ser discutidas após a leitura do texto histórico e realização/demonstração do mesmo:

*1. De que é composto o espaço que surgiu após retirar-se o dedo do tubo? Em sua carta, Torricelli demonstra apreensão pela forma como tão facilmente havia conseguido obter vácuo, percebendo que a natureza não possuía horror a ele como se imaginava. É importante que os estudantes reconheçam a impossibilidade da existência de ar no interior do tubo e, caso afirmem sua existência, sejam levados a refletir sobre a origem desse ar. Nossa vivência tem nos mostrado que a discussão entre os pares, nesse momento, leva a um envolvimento maior dos alunos na discussão, pois eles próprios constroem argumentos para derrubar a ideia do surgimento de ar, tornando mais fácil admitir o vazio.*

*2. É realmente necessário utilizar um tubo de um metro de altura? Se, ao invés de mercúrio, utilizássemos água, qual seria a altura necessária para o tubo? Este tipo de questionamento procura levar o estudante a comparar o experimento de Torricelli com a questão de Galileu sobre a cisterna do Grão-Duque de Toscana. Percebe-se que Torricelli se baseou na proporcionalidade entre as densidades desses dois líquidos, o que possibilitou a observação do fenômeno de uma forma mais simplificada, ou seja, sem a necessidade de uma cisterna.*

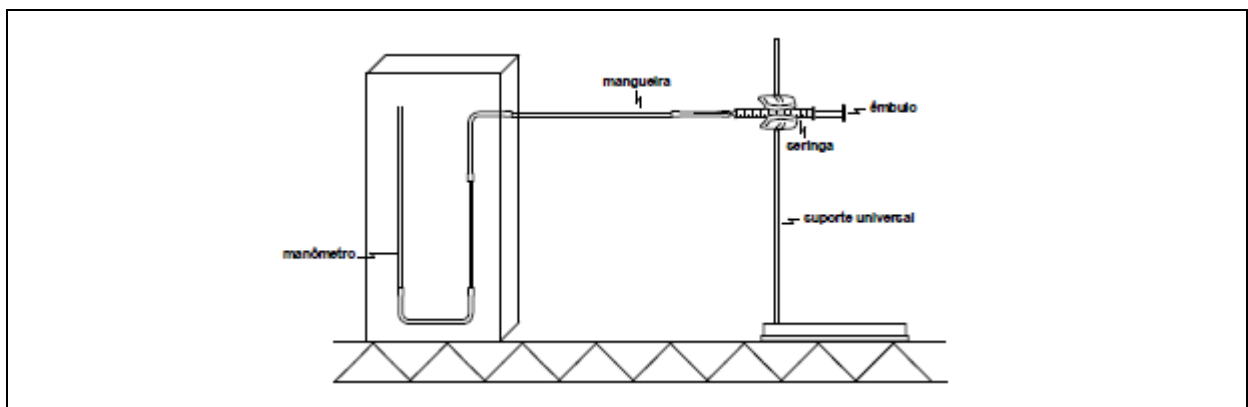
*3. O que ocorre com a parte do tubo que fica vazia à medida que realizamos o experimento repetidas vezes, subindo uma montanha, como o fez Blaise Pascal? Apesar de o foco da discussão ser o vácuo, acreditamos ser importante que o aluno reconheça o vácuo aqui como*

um efeito da "incapacidade" da pressão atmosférica de empurrar o líquido tubo acima. Ou seja, o vácuo é apenas o resultado e não a causa da observação experimental.

### 3.3.2.3. O experimento de Robert Boyle

No caso do experimento proposto por Boyle, as dificuldades relatadas com o mercúrio nos parecem mais fáceis de serem contornadas. Realizamos o experimento utilizando apenas água e um tubo de cerca de 30 cm de altura. Embora a compressão do ar observada na extremidade fechada do tubo em "J" tenha sido pequena, ela ainda foi perfeitamente possível de ser detectada.

Além da substituição de mercúrio por água, são possíveis outras adaptações ao experimento. A primeira seria conectar a extremidade do tubo a uma mangueira de nível (à semelhança daquela utilizada na construção civil). Isso possibilitaria um incremento na coluna de ar e permitiria ao estudante verificar quantitativamente a compressão, variando a altura da coluna de água. Outra ideia seria acoplar a extremidade aberta e totalmente preenchida com água a um êmbolo preenchido também com água, à semelhança do que propõe o Grupo de Pesquisa em Ensino de Física da Universidade Estadual de Goiás, cuja montagem experimental encontra-se apresentada na figura 9.



**Figura 9.** Representação esquemática da adaptação proposta para o experimento de Boyle sobre a compressibilidade do ar. (Experimentos de Física da UEG, aula 2, p. 2. [www.fisica.ueg.br](http://www.fisica.ueg.br))

No experimento proposto, a pressão pode ser medida com o auxílio de um manômetro. Entretanto (e como já afirmava Boyle), nos parece interessante apenas verificar a compressibilidade do ar e sua relação com a pressão em termos qualitativos. Além disso, em

conformidade com o caso histórico, interessa-nos primeiramente conceber a ideia de vazio para explicar essa compressibilidade.

Devido à riqueza e originalidade do experimento, são muitas as questões que podem ser levantadas para estudar a ocorrência experimental. As que julgamos mais representativas seriam:

1. *De que maneira é possível a compressão do ar?* Essa reflexão é de fundamental importância, sobretudo porque nesse caso o ar é comprimido por um líquido, o que torna interessante comparar as diferenças (em termos de partículas) entre o líquido e o ar (gás). A proposição de modelos enseja também uma discussão muito rica e que possibilitaria evocar a ideia de vazio na composição da matéria. É interessante, nesse momento, que os estudantes ainda não tenham tido contato com as explicações de Robert Boyle e que estas sejam apresentadas apenas depois da discussão, possibilitando-lhes confrontar suas ideias com aquelas explicitadas pelo cientista.

2. *Existe algum limite à compressibilidade? Por que o ar oferece resistência à compressão?* No mesmo trabalho em que Boyle relata seu experimento, ele apresenta uma dificuldade encontrada: a resistência do vidro à pressão exercida pelo ar dentro do tubo, ocasionando a quebra do mesmo. Esta discussão possibilitaria refletir sobre o movimento e a pressão exercida pelas partículas do ar no interior do tubo.

3. *Por que Boyle simplesmente não comprimiu o ar utilizando um êmbolo comum, preferindo utilizar a coluna de líquido como parâmetro?* Questões envolvendo possíveis adaptações no experimento podem favorecer a reflexão do aluno sobre as escolhas do cientista ao realizar o experimento original (nesse caso, a possibilidade de fazer uma mensuração da pressão aplicada sobre o ar e decorrente do experimento de Torricelli).

4. *Que diferenças seriam observadas nos resultados utilizando dois líquidos diferentes: água e mercúrio?* Este tipo de questionamento segue a mesma linha de raciocínio explicitada na questão anterior.

### **3.3.3. Aplicabilidade da proposta**

Tomando como base nossa perspectiva inicial, pela qual a narrativa histórica é o foco do trabalho e não o experimento histórico em si, faz-se necessário enfatizar algumas considerações acerca da metodologia de aplicação da proposta na sala de aula.

A introdução do caso histórico, a nosso ver, deve ser iniciada com a apresentação e discussão das primeiras teorias de constituição da matéria, dos filósofos gregos. Esta apresentação deve se ater aos fundamentos de cada teoria, sem a preocupação (e sem a intenção) de ressaltar a supremacia de uma sobre outra. É interessante que o aluno não adquira a pré-concepção de que o atomismo é o certo e o substancialismo o errado. Isto por vários motivos, mas, acima de tudo, por caracterizar uma concepção inadequada da natureza da ciência.

Ao invés disso, é preciso que o aluno compreenda que ambas as teorias foram válidas e úteis em certa extensão e, como se trata de um modelo, não há como dizer qual está mais de acordo com a realidade do mundo. É importante que o estudante reconheça a importância do atomismo para a física mecanicista e para os fenômenos que não envolvem transformações, por um lado, e o substancialismo como teoria que buscava explicar as "qualidades", sendo igualmente útil aos químicos e alquimistas.

A partir daí, os experimentos históricos devem ser apresentados e discutidos com os estudantes, possibilitando que os mesmos investiguem o experimento e seus resultados ou, como diria Boyle, "perturbar" o experimento, construir uma "história experimental" dele.

É importante, quando da abordagem dos experimentos históricos, que o estudante não tenha acesso antecipado à discussão do cientista e, dessa maneira, se sinta obrigado a reconhecer a posição do mesmo como a correta. Defendemos, sim, que as conclusões do cientista sejam usadas como parâmetro para que os estudantes possam comparar suas discussões com aquelas desencadeadas historicamente.

A proposta de uso do caso histórico, como dissemos em tópicos anteriores, tem um caráter facilitador, pois apenas o uso dos experimentos não possibilitaria ao aluno perceber com quais discussões aquele experimento está relacionado, em que contexto o mesmo se desenvolveu. O caso histórico é, ao mesmo tempo, facilitador, fomentador da discussão e guia dos aspectos sociológicos (que condições sociais, tecnológicas, interesses estavam envolvidos) e epistemológicos (como o saber foi construído) associados ao tema central.

Além disso, ainda que o professor seja bom conhecedor da história da ciência, é necessário que este conhecimento se aplique de forma articulada, favorecendo o aprendizado, e não correndo o risco de se tornar uma divagação sobre diversos temas sem um objetivo comum. Aqui a narrativa histórica é vista com seu caráter integrador. As discussões e a explicitação dos pontos de vista são uma característica marcante da estratégia de ensino por investigação, que se mostra facilitada nessa proposta devido ao tema ser extremamente controverso.

Por fim, a abordagem tem seu custo de produção minimizado, pois o estudante trabalharia apenas com os textos da narrativa histórica e os experimentos seriam realizados a partir das adaptações necessárias para tornar sua montagem mais simples e mais reproduzível em diversas realidades de sala de aula (desde escolas com melhor estrutura até aquelas que não possuem laboratório ou reagentes mais sofisticados).

#### **4. CONCLUSÕES DO TRABALHO**

A utilização de experimentos históricos nas aulas de Ciências sob a perspectiva do ensino por investigação se mostra uma estratégia bastante eficiente no sentido de propiciar a discussão dos mecanismos de construção do saber nas ciências, do papel do cientista, e dos elementos consolidação, contribuindo para humanizar as aulas de Ciências.

Parece-nos interessante notar que, apresentando os experimentos dentro de um caso histórico, procuramos superar os obstáculos apresentados no início deste trabalho.

Se buscássemos a ideia de descontinuidade da matéria em pontos desconexos da história estaríamos reforçando a ideia de uma ciência que se desenvolve por meio de iniciativas individuais e não estabeleceríamos relações importantes entre os diversos filósofos e cientistas, suas culturas e os fatores que motivaram a discussão. Assim, mostramos que os cientistas não estavam envolvidos em uma discussão sobre a descontinuidade da matéria, mas que esta discussão surgiu da forma como esses cientistas viam o mundo e das diversas influências que sofreram.

A partir da narrativa histórica, fica aparente que Boyle não concluiu a descontinuidade da matéria a partir da realização de um experimento isolado, como poderia parecer se tivéssemos discutido apenas o experimento. Ao contrário, influenciado pelas ideias de Bacon, Paracelso, sua experiência alquímica e também sua nova "história experimental" das coisas propõe um novo paradigma para a compreensão dos fenômenos. Esta não é uma conclusão simples de se chegar para um aluno do ensino médio, mas acreditamos que esse tipo de abordagem pode fornecer caminhos para que o estudante compreenda esses elementos de construção do saber.

Outro ponto que reforça a validade da nossa proposta é o fato de os experimentos poderem ser realizados com aparatos simples e, de acordo com a realidade, serem feitas adaptações que não desvirtuam a proposta do mesmo.



A narrativa histórica também contribui para o planejamento da aula por parte do professor. Como dissemos anteriormente, muitas vezes o professor não dispõe de tempo e fontes de pesquisa (como trabalhos originais dos cientistas e publicações) adequadas para elaborar abordagens históricas para os diversos conceitos que trabalha em suas aulas ou, quando dispõe, encontra dificuldade em transpor a História da Ciência para o contexto de sala de aula.

A partir do levantamento bibliográfico que realizamos, notamos que há uma preocupação em utilizar a HFC no contexto de ensino. Apesar disso, nos deparamos com a inexistência de abordagens como esta, nas quais a narrativa histórica é o eixo central. Seria interessante que produções como a deste trabalho fossem incentivadas, de maneira a apontar outros caminhos e outros conceitos cujo aprendizado seria facilitado e/ou aprofundado a partir de uma abordagem histórica na sala de aula de Ciências.

Enfatizamos aqui a necessidade de colaboração entre os pesquisadores e a necessidade de se introduzir discussões sobre o uso da HFC no contexto de ensino nos cursos de formação de professores. Essa postura poderia contribuir para a produção de outros materiais e, também, para uma melhoria na formação do próprio professor enquanto conhecedor da disciplina que leciona.

Este trabalho empreendeu quase um ano de pesquisa, a leitura de diversas fontes de História da Ciência (muitas em língua inglesa), entre as quais os trabalhos originais de alguns dos cientistas envolvidos, a necessidade de compreender aspectos da História Geral da humanidade e de outras ciências. Dessa maneira, acreditamos que consolidar o uso da HFC no contexto do ensino por investigação poderia se dar de forma muito mais efetiva pelo caminho da colaboração entre pesquisadores na área, do que pelos esforços individuais de alguns.

É importante ressaltar que, para o professor pesquisador, este trabalho contribuiu bastante para sua compreensão da ciência e para abandonar algumas concepções incorretas sobre o desenvolvimento da ciência relacionadas às discussões entre atomistas e minimistas ao longo da história. Acreditamos que muitas dessas concepções permanecem mesmo após a formação do professor nos cursos universitários, o que reforça ainda mais nossa proposta de que HFC seja incorporada aos cursos de formação inicial e continuada de professores.

Outro caminho do qual a abordagem de experimentos históricos no ensino por investigação poderia se apropriar seria o uso das novas tecnologias da informação e comunicação. Existem vários museus de ciência e grupos de pesquisa que disponibilizam animações e simulações de experimentos históricos à semelhança do que faz PAULA (2006) com o plano inclinado, e do Museu de História da Ciência em Florença que disponibiliza um

site sobre o horror vacui com informações sobre experimentos e cientistas. Essa perspectiva poderia contribuir para suplantarmos a falta de material para a realização de alguns experimentos históricos mais elaborados e com os quais não possamos fazer simplificações e adaptações.

#### **4.1. Apontamentos para a continuidade desse trabalho**

Acreditamos que a efetividade de nossa proposta depende de sua aplicação em sala de aula e do acompanhamento dessa aplicação de maneira a propor alterações na mesma, a partir das dificuldades encontradas.

Apesar de ser um valioso material para a preparação de uma aula envolvendo os experimentos históricos, este trabalho não se constitui em um módulo didático. Mais tempo seria necessário para a produção de material para utilização direta pelo professor no contexto de ensino.

Interessa-nos saber, ainda, da compreensão dos alunos a partir da utilização da HFC nas aulas, pois, como dissemos, são raras as propostas práticas nesse sentido em Ciências e quase inexistentes as que procuram se articular com o ensino de ciências por investigação.

## REFERÊNCIAS

- BOAS-HALL, M. **Robert Boyle on natural philosophy, an essay with selections from his writings**. Bloomington and London: Indiana University Press, 1966.
- BOYLE, R. **Novas experiências físico mecânicas concernentes à mola do ar e seus efeitos**. 1660. Tradução disponível em [www.if.usp.br](http://www.if.usp.br).
- \_\_\_\_\_, R. **The works of the honourable Robert Boyle**. Ed. Thomas Birch. London, 1672, v. 2, reimpressão Hildesheim, G. Olms, 1976.
- BRUSH, S. G. **Why chemistry needs history - and how it can get some**. *Journal of College Science Teaching*, v. 7, p. 288-291, 1978.
- CASTRO, R. S.; CARVALHO, A. M. P. **História da Ciência: investigando como usá-la num curso de segundo grau**. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, Florianópolis, v. 9, n. 3, p. 225-237, dez. 1992.
- DUARTE, M. C. **A história da ciência na prática de professores portugueses: implicações para a formação de professores de Ciências**. *Ciência & Educação*, v. 10, n. 3, p. 317-331, 2004.
- GALILEI, G. **Duas novas ciências**. São Paulo: Nova Stella, 1988.
- GIL, F. B. **Museus de ciência: preparação do futuro, memória do passado**. *Revista da Cultura Científica*, n 3, p. 72-89, 1988.
- GONÇALVES, P. W. **História e Ensino de Ciências: Projetos e Debates**. Notas de aula. Disponível em [www.ige.unicamp.br/site/aulas/119/](http://www.ige.unicamp.br/site/aulas/119/). Acesso em julho de 2009.
- GUERRA, A.; REIS, J. C. e BRAGA, M. **Uma Abordagem Histórico-Filosófica para o Eletromagnetismo no Ensino Médio**. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 21, p. 224-248, 2004.
- KOSMINSKI, L.; GIORDAN, M. **Visões de Ciências e sobre cientista entre estudantes do Ensino Médio**. *Química Nova na Escola*, São Paulo, n. 15, p. 11-18, 2002.
- KUHN, T. S. **A Estrutura das Revoluções Científicas**. 7 ed. São Paulo: Perspectiva, 2003. 262 p. Tradução Beatriz Vianna Boeira e Nelson Boeira. Título original: *The Structure of Scientific Revolutions*. Data de publicação original: 1962.
- LEAR, J. Aristóteles. Madrid: Alianza Editorial, 1994.
- LUCRECIO, T. C. **De rerum natura**. Ed. C.Bailey. Oxford: Oxford University Press, 1922.
- MATTHEWS, M. R. **História, Filosofia e Ensino de Ciências: a tendência atual de reaproximação**. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, v. 12, n. 3, p. 164-214, 1995.

MEDEIROS, L. I. **As contribuições de Robert Boyle à Química face a uma visão interdisciplinar com a geografia.** *Holos*, Ano 21, p. 112-119, 2005.

METZ, D.; STINNER, A. **A role for historical experiments: capturing the spirit of itinerant lectures of the 18th century.** *Science & Education* 2006. Disponível em: [www.springerlink.com/index/lh0341026k9w5865.pdf](http://www.springerlink.com/index/lh0341026k9w5865.pdf). Acesso em fevereiro de 2010.

MORTIMER, E. F. **Concepções Atomistas dos Estudantes.** *Química Nova na Escola*, v. 1, n. 1, p. 23-26, 1995.

MORTIMER, E. F.; MACHADO, A. H. **Química para o Ensino Médio – volume único.** São Paulo: Editora Scipione, 2002.

MUNFORD, D.; LIMA, M. E. C. C. E. **Ensinar Ciências por investigação: Em que estamos de acordo?** Ensaio. *Pesquisa em Educação em Ciências*, v. 9, p. 20, 2007.

NEVES, L. S.; FARIAS, R. F. **História da Química: um livro-texto para graduação.** São Paulo: Átomo, 2008.

NIAZ, Mansoor. **How to Facilitate Student's Conceptual Understanding of Chemistry? – A History and Philosophy of Science Perspective.** *Chemical Education International*, v. 6, n.1, 2005.

PAULA, R. C. O. **O uso de experimentos históricos no ensino de física: integrando as dimensões histórica e empírica da ciência na sala de aula.** 2006. 140f. Dissertação (Mestrado Profissionalizante em Ensino de Ciências) – Instituto de Física e Química, Universidade de Brasília, Brasília.

PESSOA JR., O. **Quando a abordagem histórica deve ser usada no ensino de Ciências?** *Ciência & Ensino*, v.1, 1996.

RODRIGUES, B. A.; BORGES, A. T. . O ensino de Ciências por investigação: reconstrução histórica. In: XI ENCONTRO DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA, Curitiba, 2008.

RODRIGUES, B. A.; BORGES, T. **O Ensino de Ciências por Investigação: Reconstrução Histórica.** In: XI ENCONTRO DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA, Curitiba, 2008.

RUDGE, David Wýss.; HOWE, Eric Michael. **An explicit and reflective approach to the use of History to promote understanding of the nature of science.** *Science & Education*, 2007. Disponível em <[www.springerlink.com/content/q00t6u803px61611/fulltext.html](http://www.springerlink.com/content/q00t6u803px61611/fulltext.html)> Acesso em agosto de 2009.

RUTHERFORD, J. F. **The Role of Inquiry in Science Teaching.** *Journal of Research in Science Teaching* 2(2), 80-84, 1964.

SÁ, E. F. et al. **As características das atividades investigativas segundo tutores e coordenadores de um curso de especialização em Ensino de Ciências.** In: VI Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, Florianópolis, 2007. Anais do VI ENPEC, Belo Horizonte: ABRAPEC, 2007.

SILVA, C. P. *et al.* **Subsídios para o uso da história das Ciências no ensino: exemplos extraídos das geociências.** Ciênc. educ. (Bauru), Bauru, v. 14, n. 3, 2008.

**The Scientific Method: Historical Experiments in Chemistry.** Wikibooks – Open books for an open world. Disponível em <[en.wikibooks.org/wiki/The\\_Scientific\\_Method/Historical\\_Experiments\\_in\\_Chemistry](http://en.wikibooks.org/wiki/The_Scientific_Method/Historical_Experiments_in_Chemistry)> Acesso em agosto de 2009.

**Toricelli's Biography.** School of Mathematical and Computational Sciences. University of St Andrews. Disponível em: <http://www-groups.dcs.st-and.ac.uk/~history/Biographies/Toricelli.html>. Acesso em julho/2010.

VAN MELSEN, A. G.; **From atoms to atom: The History of the Concept Atom.** Pittsburg, Duquesne University Press, 1952.

VIDAL, P. H. O.; PORTO, P. A. **A História da Ciência e os Livros Didáticos de Química do PNLEM 2007.** In: XI ENCONTRO DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA, Curitiba, 2008.

VILLANI, A. **Filosofia da Ciência e Ensino de Ciência: uma analogia.** Ciência & Educação, v. 7, n.2, p. 169-181, 2001.

WIKIPÉDIA. Os pré socráticos, Aristóteles e o racionalismo.

ZATERKA, L. **A Filosofia Experimental na Inglaterra do Século XVII: Francis Bacon e Robert Boyle.** São Paulo: Associação Editorial Humanitas / FAPESP, 2004. 300 p.