

Experimentos envolvendo a determinação de densidades de vapor no século XIX e o ensino de química: os casos de Dumas e Meyer

Juliano Araujo Costa de Oliveira¹, Hélio Elael Bonini Viana²

¹Licenciado em Química pela Universidade Federal de São Paulo
Mestrando em Ensino de Ciências da Universidade Federal de São Paulo (UNIFESP/Brasil)

 <https://orcid.org/0000-0002-4273-3734>

²Doutor em Química pela Universidade de São Paulo
Professor da Universidade Federal de São Paulo (UNIFESP/Brasil)

 <https://orcid.org/0000-0001-5958-2242>

Experiments involving the determination of vapor densities in the 19th century and the teaching of chemistry: the cases of Dumas and Meyer

Informações do Artigo

Recebido: 04/06/2021

Aceito: 10/05/2022

Palavras-chave:

História da Química; ensino de química; densidade de vapor; massa atômica; massa molecular.

Key words:

History of Chemistry; chemistry teaching; vapor density; atomic mass; molecular mass.

E-mail:

araujocostadeoliveira.juliano@gmail.com

ABSTRACT

The present work had as objective to construct a didactic material that explored historically the determinations of vapor densities by the methods of Dumas and Victor Meyer and that would be suitable for high school. Aiming to achieve this objective, historiographic research and attempts to adapt the methods were carried out. It was concluded that the didactic material developed can be interesting for discussing important aspects inherent to the nature of knowledge and can also be useful for the (re)construction of ideas related to the determination of atomic masses.

INTRODUÇÃO

A lacuna inevitável, que existe entre as ações e ideias de personagens históricos e as narrativas dessas ações e ideias que chegaram até nós, pode ser preenchida pela reprodução experimental. Nesse contexto, o emprego de experimentos históricos para o ensino de

conceitos científicos e de aspectos pertinentes à natureza da ciência¹ merece destaque (MOURA, 2014; FORS; PRINCIPE; SIBUM, 2016).

Na Educação Científica, cada plano de aula pode propor um problema específico relativo à natureza da ciência, as características da ciência, a partir de narrativas históricas e adaptação de experimentos históricos, fomentando a discussão em sala de aula sobre os problemas da natureza da ciência (TOLVANEN et al., 2014).

A literatura tem mostrado que, no ensino de ciências naturais, o uso de adaptações de experimentos históricos pode ser uma estratégia para contextualizar a construção do conhecimento. Apesar da replicação de experimentos históricos ser considerada por alguns historiadores, como Chang e Hottecke, algo que pode possibilitar o aprendizado científico e o conhecimento das características da ciência, existe um grupo considerável de historiadores, dentre os quais pode-se destacar Greenaway e Beltran, que desconsideram essa reprodução, tendo em vista as diferenças de contextos e de instrumentos pertinentes à cada época. Diante dessas posições, este trabalho se alinha com a última citada, ou seja, não temos aqui a intenção de replicar experimentos e sim de buscar adaptações desses experimentos passíveis de serem realizadas e/ou demonstradas para alunos do ensino médio (HOTTECKE, 2000; GREENAWAY, 2001; PAULA, 2006; MONEIRO; NARDI, 2010; CHANG, 2011; BELTRAN, 2015).

Diante dessas possibilidades, o ensino de química também pode ser beneficiado pelo uso de experimentos históricos. Como grande parte da dificuldade de ensino-aprendizagem desse conteúdo está atrelada à interface entre o macroscópico e o submicroscópico, a utilização de experimentos que promovam essa reflexão deve ser estimulada. Focando nessa transposição, a utilização de adaptações de experimentos históricos, devidamente contextualizadas, pode ser útil para que os discentes consigam superar essa barreira cognitiva. Nesse ínterim, podem ser destacados os experimentos criados por Dumas e Victor Meyer para a determinação da densidade de vapor, realizados em momentos distintos do século XIX, ambos passíveis de serem adaptados para o ensino médio mediante o uso de reagentes e material relativamente comuns em laboratórios didáticos. Atualmente, os experimentos de

¹ O presente trabalho está considerando os aspectos consensuais da natureza da ciência: a ciência é mutável, dinâmica e tem como objetivo buscar explicar os fenômenos naturais; não existe um método científico universal; a teoria não é consequência da observação/experimento e vice-versa; a ciência é influenciada pelo contexto social, cultural, político etc., no qual ela é construída; os cientistas utilizam imaginação, crenças pessoais, influências externas, entre outros para fazer ciência. Apesar de adotar referenciais de Allchin (2013), à primeira vista avesso às ideias de natureza da ciência consensual, acreditamos que o autor recorre aos aspectos consensuais ao defender seus estudos de casos baseados em situações-problemas.

Dumas e Victor Meyer podem ser substituídos por técnicas mais modernas, como, por exemplo, a espectrometria de massas e a análise elementar (CARRILHO et al., 2008; IPR, 2021).

Partindo do propósito de levar o debate sobre a determinação das densidades de vapor e das fórmulas químicas para o ensino médio, o presente trabalho teve como objetivo, a partir de pesquisas historiográficas e de adaptações de experimentos históricos, construir um material didático, com a validação de docentes da rede estadual de ensino de São Paulo, que explorasse historicamente a determinação da densidade de vapor pelos métodos de Dumas e Victor Meyer e que, ao mesmo tempo, tivesse a perspectiva de ser aplicado no ensino médio.

APORTE TEÓRICO/METODOLÓGICO

A primeira parte da pesquisa se baseou em um levantamento de documentos primários e secundários que abordassem os métodos desenvolvidos no século XIX pelos químicos Dumas e Victor Meyer para a determinação das densidades de vapor e das fórmulas químicas, tendo em vista as suas compreensões à luz de suas épocas.

Com a ideia de transpor esses saberes para o ensino médio, foi firmada uma parceria com uma escola brasileira da rede estadual de ensino do Estado de São Paulo localizada na zona leste do município de São Paulo. Por intermédio desse acordo, dois professores de química desse colégio se colocavam à disposição para auxiliar na transposição didática do processo envolvido na determinação das densidades de vapor. Assim, o material produzido foi validado por esses docentes seguindo o instrumento de avaliação de sequências didáticas elaborado por Guimarães e Giordan (2012). De acordo com os professores parceiros, o material construído pode ser empregado a partir do segundo ano do ensino médio, pois, geralmente nesse ano, os educandos já estudaram as propriedades físico-químicas das substâncias.

Nesse contexto, visando a adaptação dos experimentos citados, foram feitos diversos ensaios no laboratório de Química Instrumental da UNIFESP (Campus Diadema). A condição de pandemia de COVID-19 fomentou a elaboração e a busca de vídeos demonstrativos para esses experimentos – no caso do experimento de Victor Meyer já havia sido gravado; já no caso do experimento de Dumas, problemas durante os testes estimularam a busca por um vídeo sobre a temática na internet.

A construção de materiais didáticos com a participação de professores da educação básica vem ganhando destaque como alternativa para formação continuada docente, em razão de sua proximidade com as demandas da realidade escolar, por esta prática contribuir na aproximação do discurso do professor com a sua prática cotidiana. Nesse contexto, é de

suma importância que seja explorada a construção e validação em conjunto – investigadores e professores – de materiais didáticos. Tais materiais, podem conter atividades variadas, como, por exemplo, textos e experimentos (MAZZEU, 1998; TENREIRO-VIEIRA; VIEIRA, 2005).

Seguindo a linha do que foi exposto, o material didático produzido, incorporando as sugestões feitas pelos docentes parceiros no processo de validação, conta com um texto historiográfico – incluindo sugestões para os professores discutirem as questões propostas – e com os dois vídeos experimentais demonstrativos. A narrativa histórica produzida foi inspirada no livro de Allchin (2013), intitulado “*Teaching the Nature of Science: Perspectives and Resources*”. Em linhas gerais, essa obra contém subsídios para discussão sobre a importância da natureza da ciência nas aulas de ciências, trazendo exemplos práticos através de estudos de caso passíveis de serem aplicados em diferentes realidades de ensino. Dentro dessa perspectiva, o autor destaca o emprego de histórias contextualizadas no tempo presente para manter a atenção dos discentes, interrompidas em momentos decisórios, para a promoção da reflexão e discussão de aspectos da natureza científica. Ao final de cada narrativa, o autor retorna às questões propostas nas interrupções, denominadas por ele de *THINKS* (QUESTÕES PARA PENSAR), discutindo as questões inerentes à natureza da ciência peculiares a cada um deles. É importante ressaltar que nossa narrativa não se alinha com todas as características destacadas por Allchin – por exemplo, em razão das características do estudo realizado, preferimos deixar a narrativa no tempo passado. Sendo assim, à guisa de seguir unicamente o estabelecido por Allchin, nos dispomos aqui a construir uma narrativa contextualizada e alinhada com aquilo que os docentes que validaram o material almejam para suas aulas.

DISCUSSÃO

Na sequência será apresentado o texto historiográfico que faz parte do material didático produzido. Os questionamentos do texto historiográfico remetem aos aspectos destacados no próprio texto e/ou que podem ser facilmente pesquisados pelos alunos. Posteriormente, será apresentada uma proposta de discussão dessas questões.

TEXTO: OS CASOS DE DUMAS E VICTOR MEYER NA ELABORAÇÃO DAS FÓRMULAS MOLECULARES

Um dos trabalhos mais importantes da química é a elaboração das fórmulas moleculares, pois uma fórmula molecular apresenta a identidade e a quantidade dos átomos constituintes de uma substância.

Partindo de uma amostra de substância, a primeira providência que um químico deve tomar é purificar a amostra recebida, eliminando as suas impurezas. A segunda etapa é analisar qualitativamente a substância, visando identificar os elementos presentes. A terceira

etapa é realizar uma análise quantitativa da substância, com a finalidade de medir a quantidade dos elementos presentes. Após as análises qualitativa e quantitativa, são obtidas as fórmulas centesimal e empírica.

Após a determinação das fórmulas centesimal e empírica, é necessário fazer uma estimativa da massa molecular. Se a substância analisada for vaporizável, a massa molecular pode ser derivada da densidade de vapor pelo método criado por Jean-Baptiste-André Dumas ou por Victor Meyer.

Jean-Baptiste-André Dumas (1800-1884) foi um farmacêutico, químico e político francês. No que tange à sua carreira política, esta empreitada ocorreu durante o governo de Luís Bonaparte, conclamado Napoleão III após a instauração do 2º Império Francês (1851-1870), período no qual Dumas ocupou cargos de destaque como os de membro da Assembleia Legislativa Nacional, ministro da Agricultura e Comércio, senador e presidente do Conselho Municipal de Paris (HOBBSAWM,1982).

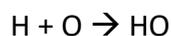
QUESTÃO PARA PENSAR [1]. Você acredita que a atuação política de Dumas interferiu em sua carreira como químico? Justifique.

Durante a sua carreira acadêmica, Dumas manifestou em diferentes momentos interesse pela caracterização da matéria. É importante ressaltar que, nesse período, coexistiam o atomismo físico (tradicionalmente empregado em explicações envolvendo os diferentes estados da matéria) e o atomismo químico (empregados em “combinações químicas” para justificar a “formação de átomos compostos”; os átomos químicos seriam as unidades que caracterizariam as diferentes substâncias). Principalmente na França, o atomismo químico foi vinculado a uma visão instrumentalista – destaca-se aqui o fato da teoria atômica de Dalton ter sido introduzida na Europa Continental a partir da tradução do livro *System of Chemistry*, de Thomas Thomson (1807), feita por Berthollet, um notório antiatomista – fazendo com que o emprego da expressão “equivalentes em massa”, em alusão a lei dos equivalentes² enunciada no início do século XIX pelo berlinense Richter, se tornasse preferencial ao de massas atômicas relativas. Nesse contexto, mesmo entre os químicos que empregavam a hipótese atômica no século XIX estavam presentes diferentes perspectivas: a realista (quando a existência dos átomos é assumida, sendo possível sua indução a partir de resultados experimentais), a heurística (na qual a hipótese atômica se reduz a um instrumento para previsões, sem comprovação real) e a ilustrativa (utilizada para fins didáticos). Veremos na sequência que Dumas apresentava uma perspectiva com um viés

² A lei dos equivalentes de Richter foi concebida com base nas proporções de ácido e base envolvidas nas neutralizações totais e parciais.

heurístico, o qual era costumeiramente empregado na previsão de fórmulas de compostos orgânicos. Em 1821, no trabalho *On the volume of the atom of substances* (Sobre o volume atômico de substâncias), escrito em colaboração com A. Le Royer, apoiou a ideia de que não havia interstícios entre as partículas no estado sólido. Logo, o volume atômico poderia ser calculado a partir da divisão da massa atômica relativa determinada por Berzelius pela densidade relativa (obtida experimentalmente). Em 1826 aderiu ao EVEN (*equal volumes equal number of particles*)³ e à hipótese de Avogadro-Ampère, passando a partir desse ano a se dedicar ao desenvolvimento/aperfeiçoamento da metodologia para a determinação das densidades dos vapores (COLE Jr., 1975; ROCKE, 1978; LUNDGREN, 1992; KOUNELIS, 2000; CAMEL; KOEHLER; FILGUEIRAS, 2009).

A ideia do EVEN ganhou força na Europa com a lei volumétrica dos gases, passando a relacionar as proporções reacionais dos gases, em condições de pressão e temperatura controladas com um número de partículas. Por exemplo, tomando por base a síntese da água, o gás hidrogênio e o gás oxigênio reagem na proporção de 2:1 (ou seja, 2 L de gás hidrogênio reagem com 1 L de gás oxigênio); seguindo o EVEN temos que 2x partículas de gás hidrogênio reagem com x partículas de gás oxigênio (Observe que a proporção é mantida!). Essa constatação experimental contradiz o que havia sido estabelecido pela teoria de Dalton, segundo a qual um átomo de oxigênio deveria se combinar preferencialmente com um átomo de hidrogênio, seguindo o que ele definiu como sendo a regra da máxima simplicidade. Logo, de acordo com Dalton, a equação química da água utilizando uma simbologia moderna seria:



Avogadro e Ampère, de maneira independente, concluíram que a interpretação das proporções volumétricas em termos do rearranjo de átomos em uma transformação química só ocorreria mediante a aceitação da possibilidade de divisão dos átomos e/ou moléculas.

³ Berzelius pontou que a “teoria dos volumes” (de Gay-Lussac) e “teoria corpuscular” (de Dalton) são idênticas, mas prefere a representação da primeira em razão de sua origem empírica (regra da máxima simplicidade de Dalton seria uma “suposição gratuita”). “Não há nenhuma diferença entre a teoria dos átomos e aquela dos volumes, uma representa os corpos no estado sólido, a outra no estado gasoso. No estado atual do nosso conhecimento, a teoria dos volumes tem a vantagem de estar amparada sobre fatores bem constituídos, enquanto a outra foi construída a partir de uma suposição. Na teoria dos volumes é possível conceber a metade de um volume, ao passo que na teoria atômica um meio átomo é um absurdo.” (Berzelius, 1813). Assim, concluiu, a partir de Gay Lussac, que iguais volumes de gases elementares sob condições similares contém iguais número de partículas (EVEN).

Segundo Rocke (1984), Avogadro concebia a síntese da água como sendo expressa pela equação:

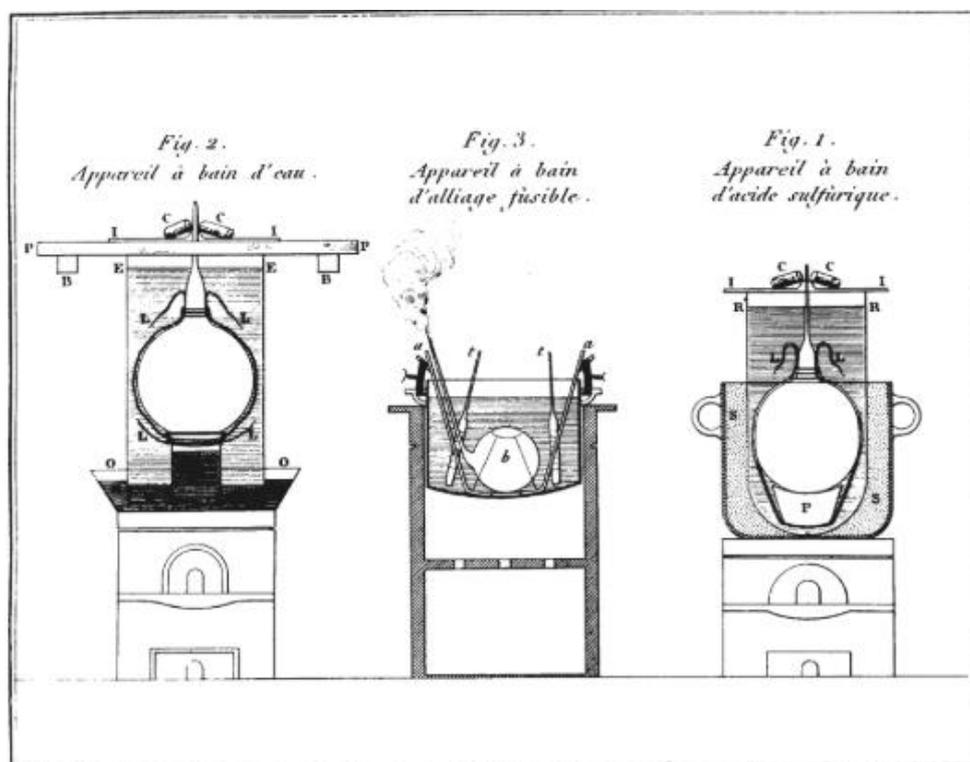


A composição da água (H₂O) foi determinada, com precisão, por Dumas (HORST REMANE, 2021).

QUESTÃO PARA PENSAR [2]. Dalton, Avogadro e Dumas estabeleceram diferentes fórmulas químicas para a mesma substância (água). Por que existiram tantas maneiras de se expressar a fórmula química da água no século XIX?

Em 1826, visando estimar “massas atômicas/moleculares” (massas atômicas relativas para os atomistas ou equivalentes em massa para os antiatomistas) utilizando a hipótese de Avogadro-Ampère, Dumas desenvolveu um método para determinar as densidades de vapor. Os aparelhos utilizados por Dumas estão descritos na figura 1 (os diâmetros das partes centrais dos balões variam de 4 a 5 polegadas). Outro ponto a se destacar é a terminologia empregada por este químico francês: *molécule chimique* – atual átomo; *molécule physique* ou átomo - equivalente à atual molécula.

Figura 1 – Diagramas de aparelhos utilizados por Dumas para determinar a densidade de vapor (*Appareil à bain d'eau*: banho de água. *Appareil à bain d'alliage fusible*: banho de liga metálica fundida. *Appareil à bain d'acide sulfurique*: banho de ácido sulfúrico)



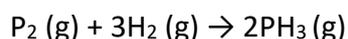
Fonte: Dumas, 1826, p. 449.

Inicialmente, nesse método, colocava-se uma amostra de um líquido vaporizável no interior de um balão de vidro com massa e volume conhecidos. Em seguida, o balão era conduzido até um banho de água aquecida ou de liga metálica fundida ou de ácido sulfúrico para provocar a vaporização da amostra. O vapor produzido expulsava o ar que também estava contido no interior do balão e, logo em seguida, uma parte do vapor também escapava do balão. No momento em que cessava a saída de vapor, a pressão interna do balão era igual a pressão atmosférica ambiente. Quando toda a amostra sofria vaporização, o vapor produzido ficava em equilíbrio térmico com o banho e o balão era retirado para esfriar.

No balão resfriado, o vapor, que estava ocupando todo o volume do balão, sofria condensação. Posteriormente, a massa do balão resfriado era medida para que a massa do vapor condensado fosse determinada. Conhecendo-se a densidade do vapor, a temperatura e a pressão atmosférica ambiente, era possível estimar a “massa atômica/molecular” pela aplicação da hipótese de Avogadro-Ampère.

Dumas determinou densidades de vapor com a ajuda da lei da combinação de volumes difundida por Gay-Lussac. Por exemplo, Dumas determinou a densidade do vapor de fósforo a partir da reação de síntese da fosfina, uma reação em que todos os componentes eram gasosos.

Considerando a fosfina como um composto de 3 volumes de hidrogênio e 1 volume de fósforo, encontrava-se:



$$1,213 \cdot 2 = 2,426 \text{ 2 volumes de fosfina}$$

$$0,0687 \cdot 3 = 0,2061 \text{ 3 volumes de hidrogênio}$$

$$2,426 - 0,2061 = 2,2199 \text{ densidade do vapor de fósforo}$$

Seguindo o raciocínio explicado no parágrafo anterior, Dumas assumiu que um vapor se comportava como um gás e estimou valores de “massas atômicas/moleculares” a partir da aplicação da hipótese de Avogadro-Ampère. Seguindo o estabelecido por Berzelius, Dumas empregou o oxigênio como o padrão para as medidas de massas atômicas relativas (ou equivalentes em massa) (massa atômica: 100). Assim, fazendo uma regra de três simples empregando as densidades de vapor, seria possível estimar a “massa atômica/molecular” (ROCKE, 1978; IHDE, 1984).

Em 1832, Dumas observou que as “massas moleculares” de enxofre, de fósforo, de arsênio e de mercúrio, que foram determinadas a partir do método, eram duas ou três vezes superiores às “massas moleculares” calculadas a partir dos calores específicos e das analogias

químicas. Por exemplo, a “massa molecular” do fósforo, determinada pelo método, era igual a 392, mas a “massa molecular” do fósforo, calculada a partir da analogia química entre o amoníaco (NH₃) e o hidrogênio fosforado (PH₃), era igual a 196. Esta divergência seria resolvida quando se admitisse que nem todas as substâncias simples eram diatômicas. No exemplo anterior, Dumas acreditava que havia determinado a “massa molecular” do difósforo, P₂, mas ele havia determinado a “massa molecular” do tetrafósforo, P₄. Este impasse diante da atomicidade (qual seria o número de átomos por molécula de uma substância simples?) levou ao arrefecimento da crença de Dumas na hipótese do EVEN (BENSAUDE-VINCENT; STENGERS, 1992).

A relação entre massas atômicas relativas e equivalentes em massa remete ao embate sobre a existência dos átomos ao longo do século XIX. Com base nisso, Jean-Baptiste Dumas ponderou:

O que nos resta da excursão ambiciosa que nos permitimos na região dos átomos? Nada ou quase nada [...] Se eu fosse o mestre, apagaria a palavra átomo da ciência, persuadido que ela vai mais longe que a experiência; e na química nunca devemos ir mais longe do que a experiência (DUMAS, 1837 apud BENSAUDE-VINCENT; STENGERS, 1992, p.176).

QUESTÃO PARA PENSAR [3]. Por quais motivos Dumas fez a ponderação acima? O que você acha que ele quis dizer com “ir mais longe do que a experiência”?

Assim como Dumas, Victor Meyer (1848-1897), um químico alemão, também se preocupou com a caracterização da matéria e desenvolveu um método moderno para determinar as densidades de vapor. É importante destacar que Meyer desenvolveu seus trabalhos em uma época na qual os conceitos de mol, ainda sem uma relação com a constante de Avogadro, e molécula já estavam estabelecidos dentro da comunidade química. Nesse período, a equação dos gases ideais já era expressa nos mesmos moldes que na atualidade – August Horstmann (1842-1929), aluno de Clausius, reorganizou as equações existentes na época para $u.p = R.T$ (onde u é o volume molar). Desse modo, seus valores de massas, obtidos a partir das densidades dos vapores (em determinadas condições de temperatura e pressão atmosférica), podiam então ser compreendidos como massas moleculares ou molares – na época considerava-se o oxigênio com massa atômica 16 como sendo o padrão (FITZGEREL; VERHOEK, 1960; JENSEN, 2003).

Quando se fala em Alemanha, é importante ter em mente que a unificação alemã ocorreu somente 1871; antes disso a Alemanha era um conglomerado de reinos, grã-ducados e cidades livres. Contribuiu para a unificação a construção do nacionalismo em decorrência das guerras travadas e de interesses comerciais comuns. A última guerra que antecedeu a formação do Estado alemão foi a Franco-Prussiana (1870-1871).

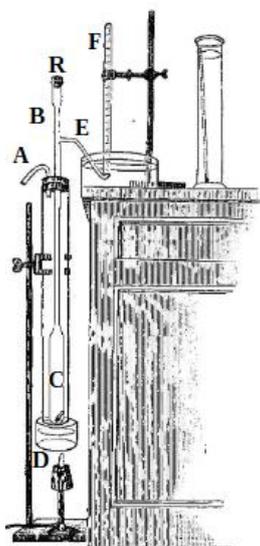
Nesse contexto, Victor Meyer iniciou a sua carreira acadêmica em Heidelberg, no ano de 1865, trabalhando como assistente de Bunsen nas análises das águas minerais de Baden

(na época parte do grão-ducado de Baden). Após cerca de um ano, Bunsen recomendou Meyer para Baeyer, proprietário de um laboratório na *Gewerbeakademie* em Berlim, um dos laboratórios mais famosos da Europa. Meyer passou três anos com Baeyer (1868-1871), iniciando as suas publicações em química orgânica durante esse período. Nesse momento a indústria Bayer, fundada em 1863, já estava em plena expansão e a pesquisa em química orgânica fornecia o subsídio para o desenvolvimento de novos corantes (principalmente corantes e fármacos).

O método de determinação da densidade de vapor, criado por Meyer em três etapas a partir de 1876, foi um produto de suas pesquisas em química orgânica, visto que era necessário elaborar as fórmulas moleculares das substâncias com as quais trabalhava. Meyer queria um método que utilizasse pequenas quantidades de uma substância, pois ele estava trabalhando com novas substâncias que geralmente eram obtidas apenas em pequenas quantidades, e que poderia ser usado em altas temperaturas, pois suas substâncias geralmente possuíam elevadas temperaturas de ebulição (MEYER; JACOBSON, 1903; COSTA, 1981).

Em 1876, ele determinou a densidade do vapor de difenil éter, antraceno, antraquinona, trifenilamina, *p*-dibromobenzeno e *p*-difenilbenzeno. Essas substâncias foram vaporizadas em uma temperatura igual à temperatura de ebulição do enxofre. No ano seguinte, Meyer percebeu que algumas substâncias poderiam ser vaporizadas em temperaturas inferiores à temperatura de ebulição do enxofre. Finalmente, em 1878, ele apresentou sua terceira e mais conhecida modificação. O volume do vapor de uma substância densa deslocava um igual volume de ar, que por sua vez era medido por meio de uma bureta (figura 2) (COSTA, 1981).

Figura 2 – Aparelho de Victor Meyer para a determinação da densidade de vapor



Fonte: Cohen, 1910, p. 29.

O aparelho de Victor Meyer, descrito na figura 2, era constituído por uma entrada *A*, um tubo *B*, um recipiente *C*, um reservatório *D*, um tubo lateral *E*, uma bureta *F* preenchida com água líquida ou mercúrio líquido e emborcada sobre uma cuba preenchida com o mesmo líquido (água ou mercúrio) e uma rolha *R*.

Inicialmente, colocava-se um pouco de água (ou outro líquido) em *A* para ela ser armazenada em *D*. Posteriormente, a água em *D* era aquecida por uma fonte de calor. Em seguida, *R* era removido para a inserção de uma massa da amostra de substância desconhecida em *B* e, logo em seguida, *B* era vedado novamente com *R*. A amostra, ao atingir *C*, sofria vaporização ao ser aquecida pelo banho de água quente em *D*. Quando toda a amostra sofria vaporização, o vapor produzido ficava em equilíbrio térmico com o banho de água quente.

O volume do vapor produzido empurrava um volume de ar igual ao seu próprio, que escapava por *E* e era recolhido em *F*. Funcionando como barômetro, *F* permitia conhecer a pressão atmosférica ambiente.

Exemplo 1 - O seguinte resultado foi obtido com uma substância composta por 0,0742g de carbono, 0,0155 g de hidrogênio e 0,0247 g de oxigênio: 0,1144 g deram 36,3 cm³ em 11°C e 752 mmHg (COHEN, 1910).

Exemplo 2 - O seguinte resultado foi obtido com uma substância composta por 0,0951g de carbono, 0,0093 g de hidrogênio e 0,0184 g de nitrogênio: 0,1228 g deram 31 cm³ em 7,5°C e 750 mmHg (COHEN, 1910).

Conhecendo-se a densidade do vapor, a temperatura, a pressão atmosférica ambiente e a fórmula centesimal, era possível estimar a massa molecular pela aplicação da hipótese de Avogadro-Ampère e determinar a fórmula molecular.

Em 1883, Meyer empregou o seu método de determinação da densidade de vapor para caracterizar um novo composto, que foi isolado de uma amostra do alcatrão de hulha, que contém benzeno. A fórmula molecular do novo composto foi definida como sendo C_4H_4S , que recebeu o nome de “tiofeno” devido à presença de enxofre e devido à semelhança com o benzeno e seus derivados (CAMERON, 1949).

Após a descoberta do tiofeno, alguns testes que detectavam a substância passaram a ser empregados, pois o tiofeno ocorria como um contaminante nos hidrocarbonetos aromáticos comerciais. Desses testes, pode-se citar o teste de Baeyer, que consiste em adicionar isatina e ácido sulfúrico ao tiofeno para formar um produto colorido. Além do teste de Baeyer, pode-se citar também o teste de Liebermann, que consiste em reagir o tiofeno com o ácido nitroso para produzir cor. Em 1883, Meyer pôde dizer que todas as moléculas que apresentavam grupos carbonila adjacentes ligados a um anel aromático produziam cor quando eram reagidas com o tiofeno (CAMERON, 1949).

O período de 1885 a 1888 foi o mais proveitoso na investigação do tiofeno. Durante esse período, os métodos de síntese foram descritos e muitos derivados foram preparados (CAMERON, 1949).

O trabalho de Meyer sobre o tiofeno chegou ao auge quando ele publicou a sua monografia “*Die Thiophengruppe*” (“O grupo tiofeno”) em 1888. Nesse livro, ele apontou as semelhanças entre as reações do tiofeno e as reações do benzeno. Durante a sua pesquisa sobre o tiofeno, Meyer estava procurando por um derivado de importância comercial, e enviou amostras de muitos derivados do tiofeno para Heinrich Caro, diretor da *Baden Aniline and Soda Company* (Empresa de Anilina e Soda de Baden). Entretanto, nenhum derivado foi usado. Somente em 1905, o químico Paul Friedländer preparou um derivado do benzotiofeno, o tioindigo, que passou a ser usado como corante (CAMERON, 1949).

QUESTÃO PARA PENSAR [4]. Qual foi a influência de interesses econômicos e industriais sobre o direcionamento da pesquisa de Meyer?

PROPOSTA DE DISCUSSÃO DAS QUESTÕES PARA PENSAR

QUESTÃO PARA PENSAR 1. Você acredita que a atuação política de Dumas interferiu em sua carreira como químico? Justifique.

Sim, pois a ciência é influenciada pelo contexto social, cultural, político etc., no qual ela é construída e os cientistas utilizam imaginação, crenças pessoais, influências externas, entre outros para fazer ciência.

QUESTÃO PARA PENSAR 2. Dalton, Avogadro e Dumas estabeleceram diferentes fórmulas químicas para a mesma substância (água). Por que existiram tantas maneiras de se expressar a fórmula química da água no século XIX?

As diferentes fórmulas químicas refletem o processo de construção de uma ideia científica, repleta de “idas e vindas”. Pensar sobre o porquê da fórmula da água pode estimular a metacognição discente, estimulando o ensino crítico ao invés da mera aceitação de dogmas.

QUESTÃO PARA PENSAR 3. Por quais motivos Dumas fez a ponderação acima? O que você acha que ele quis dizer com “ir mais longe do que a experiência”?

A ponderação de Dumas reflete as incertezas dele acerca das fórmulas químicas, isto é, das composições químicas das diferentes partículas. Diante desse cenário, Dumas prefere o concreto (experimento) em detrimento do abstrato (especulações sobre a natureza da matéria). Daí a importância da utilização de modelos para o ensino de conceitos abstratos. Novamente pode-se perceber que a ciência não é uma verdade absoluta, além de ser um empreendimento coletivo (diversos outros químicos da época estavam envolvidos nos estudos referentes à composição das substâncias químicas).

QUESTÃO PARA PENSAR 4. Qual foi a influência de interesses econômicos e industriais sobre o direcionamento da pesquisa de Meyer?

Durante a sua pesquisa sobre o tiofeno, Meyer estava procurando por um derivado de importância comercial, e enviou amostras de muitos derivados do tiofeno para Heinrich Caro, diretor da *Baden Aniline and Soda Company* (Empresa de Anilina e Soda de Baden).

VÍDEOS SOBRE AS ADAPTAÇÕES DOS EXPERIMENTOS DE DUMAS E VICTOR MEYER

Na sequência estão indicados dois vídeos que abordam as adaptações experimentais. Um dos vídeos é de autoria própria e o outro foi produzido pela *North Carolina School of Science and Mathematics* (Escola de Ciências e Matemática da Carolina do Norte). O professor pode utilizar esses vídeos para demonstrar os experimentos, mas é necessário que ele tenha conhecimento da língua inglesa para poder explicar o vídeo selecionado na internet.

GOOGLE FOTOS. [Site]. Juliano Araujo Costa de Oliveira. Disponível em: <<https://photos.app.goo.gl/RtAM24iiUf181qDx7>>. Acesso em: 23 jan. 2020.

NORTH CAROLINA SCHOOL OF SCIENCE AND MATHEMATICS. [Site]. *Dumas Molar Mass Lab*. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=0UJXa9Hd88I>>. Acesso em: 24 jun. 2021.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo deste trabalho era construir uma proposta didática que explorasse a determinação da densidade de vapor, por Dumas e Victor Meyer no século XIX e que, ao mesmo tempo, fosse passível de ser implementado no ensino médio de uma escola da rede estadual de ensino de São Paulo. Para isso, foram realizadas pesquisas historiográficas e tentativas de adaptações dos experimentos de Dumas e Victor Meyer.

O texto historiográfico produzido mostra que os valores das massas atômicas relativas, para os atomistas, ou dos equivalentes em massa, para os antiatomistas, que eram derivados das densidades de vapor, ajudavam a determinar as composições de substâncias desconhecidas. Dumas, ao comentar que “apagaria a palavra átomo da ciência”, se aproximou do antiatomismo e na época de Victor Meyer, toda a comunidade química era atomista, pois os conceitos de átomo e molécula estavam consolidados.

É importante salientar que a análise realizada atualmente para determinar a composição de uma substância é diferente da análise que era empregada no século XIX. Atualmente, os métodos de Dumas e Victor Meyer podem ser substituídos por métodos mais modernos, como a espectrometria de massas e a análise elementar.

Os dois vídeos, um de autoria própria e o outro selecionado na internet, apresentam adaptações dos experimentos de Dumas e Victor Meyer. Enquanto a adaptação do experimento de Victor Meyer, projetada para determinar a densidade do gás carbônico, aceita apenas o gelo seco como reagente, a adaptação do experimento de Dumas aceita uma quantidade maior como, por exemplo, o etanol, a acetona, o hexano ou o ciclohexano.

Os professores parceiros sugeriram a presença, no material didático, de questões que façam o aluno pensar. Isso evidencia que os docentes estão alinhados com o ensino de ciências defendido por Allchin.

Portanto, o material didático, validado por docentes e retificado segundo suas sugestões, poderá fomentar o debate epistemológico sobre a elaboração das fórmulas químicas e, em razão disso, contribuir com o ensino de química.

Referências

ALLCHIN, D. *Teaching the Nature of Science: Perspectives & Resources*. Saint Paul: Ships Education Press, 2013. 310 p.

BELTRAN, M. H. R. História da ciência e ensino no laboratório: considerações sobre experimentação, visão de ciência e replicação de experimentos históricos no ensino de química. In: X ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 2015, Águas de Lindóia. **Anais...** [recurso eletrônico]. Disponível em: <www.abrapecnet.org.br/enpec/x-enpec/anais2015/resumos/R0225-1.PDF>. Acesso em: 18 ago. 2021.

BENSAUDE-VINCENT, B.; STENGERS, I. A análise face aos átomos. In: _____. **História da química**. 1. ed. São Paulo: Instituto Piaget, 1992. p. 163-180.

BERZELIUS, J. *Essay on the Cause of Chemical Proportions, and on some Circumstances relating to them: together with a short and easy Method of expressing them*. **Annals of Philosophy**, London, v. 3, p. 51-62, 1813.

CAMEL, T. de O.; KOEHLER, C. B. G.; FILGUEIRAS, C. A. L. A química orgânica na consolidação dos conceitos de átomo e molécula. *Química Nova*, São Paulo, v. 32, n. 2, p. 543-553, jan. 2009.

CAMERON, M. D.. *Victor Meyer and the thiophene compounds*. **Journal of Chemical Education**, Washington, D.C., v. 26, n. 10, p. 521-524, out. 1949.

CARRILHO, E. et al. Seqüenciamento de peptídeos usando espectrometria de massas: um guia prático. **Química Nova**, v. 31, n. 3, p. 669-675, 2008. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0100-40422008000300034>>. Acesso em: 01 set. 2021.

CHANG, H. *How Historical Experiments Can Improve Scientific Knowledge and Science Education: The Cases of Boiling Water and Electrochemistry*. **Science & Education**, v. 20, p. 317-341, mar. 2011. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s11191-010-9301-8>>. Acesso em: 17 ago. 2021.

COHEN, J. B.. *Determination of molecular weight*. In: _____. **Practical organic chemistry**. 2. ed. London: Macmillan, 1910. p. 28-46.

COLE Jr., T. M. *Early atomic speculations of Marc Antoine Gaudin: Avogadro's hypothesis and the periodic system*. **Ísis**, Chicago, v. 66, n. 3, p. 334-360, set. 1975.

COSTA, A. B.. Meyer, Victor. In: GILLISPIE, C. C. (ed.). **Dictionary of scientific biography**. 1. ed. New York: Charles Scribner's Sons, 1981. p. 354-358.

DUMAS, J. B. A.. *Mémoire sur quelques points de la théorie atomistique*. **Annales de chimie et de physique**, Paris, v. 33, p. 337-391, dez. 1826.

FISHER, N. W. *Organic classification before Kekulé*. **Ambix**, v. 20, n. 2, p. 106-131, 1973. Disponível em: <<http://tandfonline.com/doi/abs/10.1179/amb.1973.20.2.106>>. Acesso em: 11 mai. 2021.

FITZGEREL, R. K.; VERHOEK, F. H. *The Law of Dulong and Petit*. **Journal of Chemical Education**, Washington DC, v. 545, n. 37, p. 545-549, 1960.

FORS, H.; PRINCIPE, L. M.; SIBUM, H. O. *From the Library to the Laboratory and Back Again: Experiment as a Tool for Historians of Science*. **Ambix**, v. 63, n. 2, p. 85-97, mai. 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/00026980.2016.1213009>>. Acesso em: 19 nov. 2018.

GREENAWAY, F. *A personal encounter with French chemistry: the 1950 French Scientific Instrument Exhibition at the Science Museum*. In: **FRENCH CHEMISTRY**, 2001, Londres. **Anais...** [recurso eletrônico].

Disponível em: https://archive.is/20080101100444/http://www.ambix.org/SHAC_Events_French_Chemistry.htm. Acesso em: 17 ago. 2021.

GUIMARÃES, Y. A. F.; GIORDAN, M. Instrumento para construção e validação de sequências didáticas em um curso a distância de formação continuada de professores. **VIII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências**, 2012.

HOBBSAWM, E. J. **A era do Capital**. Curitiba, PR: Paz e Terra, 1982. 339 p. Disponível em: www.educadores.diaadia.pr.gov.br/arquivos/File/2010/sugestao_leitura/sociologia/era_capital.pdf. Acesso em: 16 jul. 2021.

HOTTECKE, D. *How and What Can We Learn From Replicating Historical Experiments? A Case Study*. **Science & Education**, v. 9, p. 343-362, 2000. Disponível em: <https://doi.org/10.1023/A:1008621908029>. Acesso em: 17 ago. 2021.

IHDE, A. J. *The period of problems*. In: _____. **The development of modern chemistry**. 2. ed. New York: Dover Publications, 1984. p. 140-160.

JENSEN, W. B. *The Universal Gas Constant R*. **Journal of Chemical Education**, Washington DC, v. 80, n. 7, p. 731-732, jul. 2003.

KAPOOR, S. C.. Dumas, Jean-Baptiste-André. In: GILLISPIE, C. C. (ed.). **Dictionary of scientific biography**. 1. ed. New York: Charles Scribner's Sons, 1981. p. 242-248.

KOUNELIS, C. *Atomism in France: Chemical Textbooks and Dictionaries, 1810-1835*. In: LUNDGREN, A. (Ed.) et al. **Communicating Chemistry – Textbooks and their audiences (1789- 1939)**. Canton: Science History Publications, 2000. p. 207-232.

LUNDGREN, A. *Berzelius, Dalton, and the Chemical Atom*. In: MELHADO, E. M. (Ed.); FRÄNGSMYR, T. (Ed.). **Enlightenment Science in the romantic era: the chemistry of Berzelius and its cultural setting**. Cambridge: Cambridge University Press, 1992. p. 85-106.

MAZZEU, F. J. C. Uma proposta metodológica para a formação continuada de professores na perspectiva histórico-social. **Caderno Cedes**, v. 19, n. 44, p. 59-72, abr. 1998. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0101-32621998000100006>. Acesso em: 05 jul. 2021.

MEYER, V; JACOBSON, P. **Lehrbuch der Organischen Chemie**. Leipzig: Verlag von Veit & Comp., 1903. 1 735 p.

MONEIRO, M. A.; NARDI, R. Experimentos históricos na Educação Científica: explorando algumas potencialidades do Bico de Bunsen. In: XV ENCONTRO NACIONAL DE ENSINO DE QUÍMICA, 2010, Brasília. **Anais...** [recurso eletrônico]. Disponível em: <http://www.sbgq.org.br/eneq/xv/resumos/R0527-1.pdf>. Acesso em: 30 jul. 2021.

MOURA, B. A. O que é natureza da Ciência e qual sua relação com a História e Filosofia da Ciência?. **Revista Brasileira de História da Ciência**, v. 7, n. 1, p. 32-46, jan./jun. 2014. Disponível em: <https://www.sbh.org.br/arquivo/download?ID_ARQUIVO=1932>. Acesso em: 07 jan. 2021.

PARTINGTON, J. R.. Dumas. In: _____. **A history of chemistry**. 3. ed. London: Macmillan, 1964. p. 337-340.

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

ROCKE, A. J. *Atoms and Equivalents: The Early Development of the Chemical Atomic Theory*. **Historical Studies in the Physical Sciences**, v. 9, p. 225-263, 1978. Disponível em: <<https://doi.org/10.2307/27757379>>. Acesso em: 16 jul. 2021.

ROCKE, A. J. *Gay-Lussac and Dumas: adherents of the Avogadro-Ampère hypothesis?* **Ísis**, Chicago, v. 69, n. 4, p. 595-600, dez. 1978.

ROCKE, A. J. **Chemical Atomism in the Nineteenth Century: From Dalton to Cannizzaro**. Columbus: Ohio State University Press, 1984. 404 p.

TENREIRO-VIEIRA, C.; VIEIRA, R. M. Construção de práticas didático-pedagógicas com orientação CTS: impacto de um programa de formação continuada de professores de ciências do ensino básico. **Ciência & Educação**, v. 11, n. 2, p. 191-211, ago. 2005. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S1516-73132005000200004>>. Acesso em: 05 jul. 2021.

TOLVANEN, S. et al. *How to Use Historical Approach to Teach Nature of Science in Chemistry Education?* **Science & Education**, v. 23, n. 8, p. 1-36, ago. 2014. Disponível em: <<http://link.springer.com/article/10.1007/s11191-013-9646-x>>. Acesso em: 19 nov. 2018.

HORST REMANE. **[Site]**. Jean-Baptiste André Dumas. Disponível em: <https://uol.de/f/5/inst/chemie/ag/didaktik/download/Jean-Baptiste_Andre_Dumas.pdf>. Acesso em: 10 ago. 2021.

INSTITUTO DO PETRÓLEO E DOS RECURSOS NATURAIS - IPR. **[Site]**. Análise Elementar. Disponível em: <<https://www.pucrs.br/ipr/servicos/analise-elementar/>>. Acesso em: 02 set. 2021.

NORTH CAROLINA SCHOOL OF SCIENCE AND MATHEMATICS. **[Site]**. *Dumas Molar Mass Lab*. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=0UJXa9Hd88I>>. Acesso em: 24 jun. 2021.

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo construir um material didático que explorasse historicamente as determinações das densidades de vapor pelos métodos de Dumas e Victor Meyer e que fosse adequado para o ensino médio. Visando atingir esse objetivo, realizou-se pesquisas historiográficas e tentativas de adaptações dos métodos. Concluiu-se que o material didático elaborado pode ser interessante para discussão de aspectos

importantes inerentes à natureza do conhecimento e também pode ser útil para a (re)construção das ideias relacionadas à determinação das massas atômicas.

Palavras-chave: História da Química; ensino de química; densidade de vapor; massa atômica; massa molecular.

RESUMEN

El presente trabajo tuvo como objetivo construir un material didáctico que explorara históricamente las determinaciones de las densidades de vapor por los métodos de Dumas y Victor Meyer y que fuera apto para el bachillerato. Con el objetivo de lograr este objetivo, se llevaron a cabo investigaciones historiográficas e intentos de adecuación de los métodos. Se concluyó que el material didáctico desarrollado puede ser interesante para discutir aspectos importantes inherentes a la naturaleza del conocimiento y también puede ser útil para la (re)construcción de ideas relacionadas con la determinación de masas atómicas.

Palabras clave: Historia de la química; enseñanza de la química; densidad del vapor; masa atómica; masa molecular.