

Ana Paula Bispo da Silva
Breno Arsioli Moura
(*Organizadores*)

**OBJETIVOS HUMANÍSTICOS, CONTEÚDOS
CIENTÍFICOS: CONTRIBUIÇÕES DA HISTÓRIA
E DA FILOSOFIA DA CIÊNCIA PARA O ENSINO
DE CIÊNCIAS**



eduepb

Campina Grande-PB
2019

Copyright © **EDUEPB**

A reprodução não-autorizada desta publicação, por qualquer meio, seja total ou parcial, constitui violação da Lei nº 9.610/98.

EDITORA DA UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA

Diretor

Luciano do Nascimento Silva

Design Gráfico e Editoração

Erick Ferreira Cabral

Jefferson Ricardo Lima Araujo Nunes

Leonardo Ramos Araujo

Revisão Linguística

Elizete Amaral de Medeiros

Antonio de Brito Freire

Divulgação

Danielle Correia Gomes

Depósito legal na Biblioteca Nacional, conforme Lei nº 10.994, de 14 de dezembro de 2004.
FICHA CATALOGráfICA ELABORADA HELIANE MARIA IDALINO SILVA - CRB-15ª/368

-
- 011 Objetivos humanísticos, conteúdos científicos: contribuições da história e da filosofia da Ciência para o ensino de Ciências. [Livro eletrônico]. Ana Paula Bispo da Silva, Breno Arsoli Moura (Organizadores). –Campina Grande: EDUEPB, 2019.

ISBN 978-85-7879-578-8 (E-book)

ISBN 978-85-7879-579-5 (Impresso)

1. Ciências – Estudo e Ensino. 2. História da Ciência. 3. Filosofia da Ciência. 4. Historiografia da Ciência. 5. Ciência – Teoria e Filosofia. I. Silva, Paula Bispo da (Orga.). II. Moura, Breno Aarsoli. (Org.).

21. ed. CDD 507

EDITORA DA UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA

Rua Baraúnas, 351 - Bairro Universitário - Campina Grande-PB - CEP 58429-500

Fone/Fax: (83) 3315-3381 - <http://eduepb.uepb.edu.br> - email: eduepb@uepb.edu.br

SUMÁRIO

Apresentação	7
---------------------------	----------

Ana Paula Bispo da Silva

Breno Arsioli Moura

Aspectos apriorísticos da ciência: Lavoisier e a lei da conservação da massa em reações químicas	11
---	-----------

Roberto de Andrade Martins

Magnetismo e condução de calor no trabalho de Seebeck: desafios da ciência experimental	53
--	-----------

Ana Paula Bispo da Silva

"Newton is right, Newton is wrong. No, Newton is right after all."	89
---	-----------

Pierre J. Boulous

Aspectos da Teologia Natural na Química de William Prout	131
---	------------

José Otavio Baldinato

Paulo Alves Porto

Historical inquiry cases in a Brazilian context	179
--	------------

Douglas Allchin

Educação Científica numa abordagem histórico-cultural da ciência ...	205
---	------------

Andreia Guerra

ASPECTOS APRIORÍSTICOS DA CIÊNCIA: LAVOISIER E A LEI DA CONSERVAÇÃO DA MASSA EM REAÇÕES QUÍMICAS

Roberto de Andrade Martins

A lei de conservação da massa (ou de conservação da matéria) é um dos mais importantes princípios da ciência. Ela é geralmente associada ao nome de Antoine-Laurent de Lavoisier (1743-1794), sendo mencionada como “lei de Lavoisier”; ou, algumas vezes, ao de Mikhail Vasilyevich Lomonosov (1711-1765). A atitude mais comum dos professores de ciência em relação a esta lei (e também em relação a qualquer outra) é de considerá-la como *verdadeira*, assumindo que ela foi *provada* por uma série de *experimentos*. Como geralmente é atribuída a Lavoisier, costuma-se pensar que esse pesquisador (ou, talvez, Lomonosov) foi quem a provou; e essa interpretação popular é tornada ainda mais convincente quando se fornece uma data específica para tal evento histórico.

Essa é uma visão equivocada e ingênua, transmitida por muitos livros didáticos e por obras populares que se referem à lei de conservação da massa. Ela transmite uma interpretação empirista sobre a natureza da ciência, que não é correta e que prejudica a compreensão dos estudantes (e do público em geral) a respeito do que é a pesquisa científica.

Mesmo sem examinar detalhes sobre sua história, pode-se perceber que é impossível proporcionar uma *prova experimental* de que a massa (ou peso, ou matéria) se conserva de forma exata em todos os tipos de sistemas fechados que puderem ser examinados. A única coisa que pode ser estabelecida experimentalmente é

que para alguns sistemas que foram examinados, e que foram considerados isolados, não houve uma variação significativa de massa (ou peso, ou matéria) nas reações químicas que foram estudadas, dentro de certa margem de erro experimental. De fato, uma das mensagens mais importantes sobre a natureza da ciência é que as leis científicas nunca são *provas* e que elas sempre são provisórias, pois podem ser *refutadas*.

Por outro lado, sob o ponto de vista histórico, todos os historiadores da ciência que analisaram cuidadosamente o desenvolvimento dessa lei concluíram que Lavoisier nunca tentou provar ou mesmo testar essa lei – ele simplesmente a enunciou e utilizou. Mesmo a afirmação mais fraca de que Lavoisier *descobriu experimentalmente* a lei de conservação da massa é igualmente falsa.

O filósofo da ciência polonês-francês Émile Meyerson (1859-1933) defendeu a ideia de que esta e outras leis de conservação possuem uma fundamentação apriorística (ou seja, independente de observações ou experimentos) que as tornam facilmente aceitáveis; e que ela só foi submetida a testes experimentais no final do século XIX e início do século XX. Embora a análise de Meyerson sobre o princípio¹ de conservação da massa tenha sido escrita mais de um século atrás, minha opinião é que sua descrição histórica e sua análise epistemológica sobre o tema ainda não foram superadas. Por essa razão, o texto aqui apresentado segue de forma bastante próxima de sua interpretação.

Este trabalho aborda a história e o *status* epistemológico da lei da conservação da massa, focalizando especialmente a obra de Lavoisier. Assim, discutiremos especialmente se tal lei é um princípio *a priori* (puramente racional, independente da experiência) ou *a posteriori* (empírico, ou seja, proveniente de observações e experimentos). Um trabalho mais antigo sobre o assunto (MARTINS; MARTINS, 1993) abordou vários aspectos

1 Neste trabalho vamos utilizar os termos “lei” e “princípio” como sinônimos, embora tenham conotações distintas.

dessa história, que não podem ser repetidos aqui, por limitações de espaço. Assim, haverá frequentes menções àquele artigo (que é fácil de localizar na Internet), cuja leitura complementar a do presente trabalho.

Considerando a importância científica desse princípio e o modo equivocado pelo qual ele é apresentado no ensino, acreditamos que uma exposição mais cuidadosa desse episódio pode proporcionar uma contribuição educacional significativa.

A versão mais popular: “demonstração experimental”

Na época em que este estudo está sendo publicado, a Internet já se transformou em uma fonte de informações muito popular, consultada por estudantes e professores; e a *Wikipédia* é um dos *sites* mais frequentemente acessados por eles, em busca de informações sobre as ciências. Alguns de seus artigos têm uma alta qualidade – principalmente na versão em inglês – mas isso não ocorre no caso da descrição sobre a conservação da massa, que contém informações históricas equivocadas².

Historicamente, a conservação da massa foi demonstrada nas reações químicas, independentemente, por Mikhail Lomonosov; e depois redescoberta por Antoine Lavoisier no final do século XVIII. [...]

Durante o século XVIII o princípio de conservação da massa nas reações químicas foi amplamente utilizado e era uma suposição importante durante os experimentos, mesmo antes que fosse estabelecida formalmente uma definição, como pode ser visto nas obras de Joseph Black, Henry Cavendish e Jean Rey. O primeiro a esboçar o princípio foi Mikhail

2 Neste trabalho, fizemos uso de trechos da *Wikipédia* em inglês, justamente porque essa versão costuma ser mais correta do que em outros idiomas.

Lomonosov, em 1756. Ele o demonstrou através de experimentos e discutiu o princípio antes de 1774 em sua correspondência com Leonhard Euler, embora sua alegação sobre esse assunto seja algumas vezes criticada. Uma série mais refinada de experimentos foi realizada posteriormente por Antoine Lavoisier que exprimiu sua conclusão em 1773 e popularizou o princípio de conservação da massa. As demonstrações do princípio tornaram obsoletas as teorias alternativas, como a teoria do flogisto que alegava que a massa poderia aumentar ou diminuir em processos térmicos e de combustão³.

A versão da *Wikipédia* enfatiza a ideia de *demonstração* através de experimentos, seja por Lomonosov⁴ ou por Lavoisier, indicando os anos em que eles teriam apresentado o princípio. Tanto em livros didáticos antigos quanto nos mais recentes, encontramos afirmações semelhantes sobre a *demonstração experimental* (ou prova) da lei por Lavoisier:

Usando balanças precisas, Lavoisier foi capaz de demonstrar aquilo que outros pesquisadores haviam suspeitado: a quantidade de matéria não muda durante uma reação química. Essa é a lei de conservação da massa [...] (SIBRING; SCHAFF, 1980, p.34).

Os primeiros experimentos que demonstraram conclusivamente a conservação da massa foram realizados por Antoine Lavoisier, um químico francês, um pouco antes da

3 Conservation of mass. Disponível em <https://en.wikipedia.org/wiki/Conservation_of_mass>. Acesso em 17 de agosto de 2018.

4 Não discutiremos aqui a contribuição de Lomonosov. As pessoas interessadas no assunto podem consultar os trabalhos de Philip Pomper (1962) e Henry Leicester (1975). Ver também o livro de Steven Usitalo (2013) sobre Lomonosov.

Revolução Francesa. [...] Lavoisier proporcionou a primeira prova quantitativa do importante princípio de conservação da massa (MARION, 2014, p.27).

Temos a impressão de que esses e outros autores de livros didáticos reconstruíram o passado sem se dar o trabalho de consultar fontes históricas relevantes – pois nunca citam nenhuma referência historiográfica. Se uma pessoa acredita que as leis científicas podem ser provadas experimentalmente e se a lei de conservação da massa está associada ao nome de Lavoisier, parece plausível que esse cientista teria sido quem proporcionou a prova experimental da lei. Assim, a maior parte das pessoas aceita isso, sem duvidar, tanto por causa de sua visão empirista da ciência quanto por causa do epônimo “lei de Lavoisier”.

Infelizmente, quando se olha para o passado através dos olhos da ciência atual e de uma visão equivocada sobre a natureza da ciência, a história se torna inevitavelmente opaca. Uma pessoa só vê aquilo que ela quer ver, não o que realmente aconteceu. Essa é a principal causa da pseudo-história (ALLCHIN, 2004), incluindo tantos relatos equivocados e puramente inventados sobre muitas descobertas científicas.

Outra versão popular: “descoberta experimental”

Em vez de “demonstração por experimentos”, alguns autores se referem a uma *descoberta experimental*: “Medindo cuidadosamente o peso de cada substância, Lavoisier descobriu que a matéria não é criada nem destruída durante uma reação química. Ela pode mudar de uma forma para outra, mas sempre pode ser encontrada ou explicada” (HAVEN, 2007, p.47). “Lavoisier descobriu experimentalmente, em torno de 1785, a lei da conservação da massa” (PATY, 1999, p.614).

Podemos notar que a suposta associação entre experimentos e a *descoberta* da lei da conservação da massa por Lavoisier é uma

versão aceita por vários filósofos da ciência. Nesses casos, parece que os autores estão também reconstruindo o passado a partir de suas crenças epistemológicas –porém, como eles sabem que não se pode *provar experimentalmente* uma lei científica, adotam a versão mais branda da *descoberta experimental*, aceitando que, no contexto da descoberta, os experimentos podem proporcionar uma sugestão indutiva para uma lei geral.

Os experimentos acima não estabelecem a alegada universalidade de h_2 [hipótese 2 = conservação da massa], pois se referem [apenas] às ocorrências particulares do par mercúrio-oxigênio; e, afinal, a conservação da massa poderia ser uma idiossincrasia desse par. Lavoisier, por isso, testou h_2 em diversos outros casos, usando sistematicamente a balança. E quando considerou h_2 como suficientemente corroborada – pelos padrões da época – ele saltou sem hesitação para a conclusão geral de que a conservação da massa vale universalmente, isto é, para toda reação química que ocorra em um sistema isolado (BUNGE, 1967, p.256-257).

Mario Bunge, um respeitado filósofo da ciência – porém com conhecimento histórico limitado – parece ter realizado uma retrodição ou reconstrução filosófica da pesquisa de Lavoisier. Ele afirmou que o cientista francês *testou* sua hipótese sobre conservação da massa, pelo uso *metódico* da balança e a *corroborou* – ou seja, não encontrou fatos contrários. Bem, isso é o que os cientistas *deveriam fazer*, de acordo com a visão de Bunge a respeito da ciência. No entanto, Lavoisier nunca se comportou realmente assim. Vamos comparar a reconstrução de Bunge com o relato histórico de Reijer Hooykaas:

Lavoisier não encontrou a lei de conservação do peso como um resultado de experimentos;

pelo contrário, ele partiu da crença metafísica de que nada surge por si próprio e – embora alegasse ser um empirista [...] – ele nunca realizou um experimento para testar a verdade dessa lei (HOOYKAAS, 1999, p.222).

Outros historiadores da ciência concordam que Lavoisier aceitou a conservação do peso (ou da massa)⁵ como um princípio *a priori* e o utilizou, mas nunca o questionou:

Sem dúvida, Lavoisier fez um uso amplo e adequado desse princípio [...], isto é, ele o aplicou tão frequentemente quanto possível. Mas o que é um princípio? O [dicionário] *Petit Robert* diz isso: “Proposição inicial, que é afirmada mas não é deduzida”. Portanto, um princípio é afirmado *a priori*, antes do experimento. Então, é aplicado à interpretação dos resultados e, eventualmente, nota-se até que ponto (sempre aproximativamente) o princípio é seguido. Assim, Lavoisier não “descobriu” a lei que traz o seu nome, depois de “delicados experimentos” [...], mas ele a aplicou aos experimentos. Quando o experimento não dava os resultados esperados, ele não descartava seu princípio, mas questionava sua experiência, e recomeçava, às vezes com novos instrumentos. Assim, ele não observou nada além do que já havia suposto (BENSAUDE-VINCENT; JOURNET, 1993, p.62).

5 Os conceitos de ‘massa’ e ‘peso’ são distintos; e o peso de um sistema isolado não se conserva, pois se transportarmos o sistema da superfície da Terra para a superfície da Lua, seu peso irá diminuir muito, por causa da diferença da gravidade. Porém, na época de Lavoisier, poucas pessoas diferenciavam entre peso e massa, por isso vamos utilizar “conservação do peso” e “conservação da massa” como se fossem equivalentes.

As pessoas que não estão familiarizadas com os detalhes das pesquisas de Lavoisier podem imaginar que a descrição acima está errada, já que o cientista francês é geralmente descrito como um experimentador muito cuidadoso e exato. Outros historiadores da ciência, no entanto, que dedicaram anos estudando o trabalho de Lavoisier, apresentam uma visão devastadora sobre sua abordagem científica:

Quando acompanhamos a trajetória investigativa de Lavoisier [...] – em particular, quando reconstruímos seus empreendimentos experimentais no nível de intimidade que pode ser recuperada a partir de seus cadernos de laboratório – nós encontramos que ele não tinha um método global para assegurar que suas folhas de balancete se equilibrariam; que frequentemente elas não o faziam; que ele encontrava uma miríade de erros, cujas fontes ele nem sempre conseguia identificar com certeza; que ele frequentemente tinha que calcular indiretamente o que não conseguia medir diretamente; que exercia a maior engenhosidade no manejo de seus dados, de tal modo que experimentos falhos dessem suporte às suas interpretações; e que dedicava muito cuidado e esforço para o planejamento de experimentos que contornassem tais dificuldades; mas que frequentemente se baseou em resultados que sabia serem inexatos, usando sua fé no princípio de conservação para completar ou corrigir as quantidades medidas. Eu diria que grande parte de seu sucesso científico se baseia na habilidade com a qual Lavoisier confrontou as muitas armadilhas armadas ao longo do caminho da investigação quantitativa que escolheu (HOLMES, 1982, p.24).

Será que podemos confiar na análise de Frederic Holmes sobre o método de Lavoisier, apresentada acima? É claro que só existe um modo de avaliá-la: é necessário analisar o relato original do próprio Lavoisier. O que as fontes primárias nos dizem?

Formulação e uso da lei, por Lavoisier

Assim como ocorreu com outros pesquisadores de seu tempo, Lavoisier começou a *utilizar* o princípio de conservação do peso sem apresentar qualquer formulação explícita do mesmo. Sua primeira publicação científica (1770) que continha o uso implícito do princípio se referia à suposta transformação da água em terra (LAVOISIER, 1862, v.2, p.1-28). Considerações sobre o peso das substâncias envolvidas proporcionaram os principais argumentos que ele utilizou naquele artigo (MEYERSON, 1908, p.151). Ele empregou o mesmo princípio nos seus *Opuscules Physiques et Chimiques* publicados em 1774, onde descreveu seus primeiros experimentos sobre calcinação (MEYERSON, 1908, p.153).

Vamos analisar a exposição do próprio Lavoisier a respeito da lei de conservação da massa. Ele nunca chamou muita atenção para o princípio e sua apresentação mais clara apareceu apenas em 1789, no seu *Traité Élémentaire de Chimie* – não no início, onde esperaríamos encontrar as leis fundamentais dessa ciência, mas no capítulo 13 da primeira parte, onde ele discute a fermentação do vinho:

Ver-se-á que, para chegar à solução dessas duas questões, era necessário primeiramente estar bem familiarizado com a análise e a natureza do corpo fermentável e dos produtos da fermentação; pois nada é criado, nem nas operações da arte, nem nas da natureza; e pode-se colocar em princípio que em cada operação existe uma quantidade igual de matéria antes e depois da operação; que a qualidade e quantidade dos

princípios [elementos químicos] são iguais, e que há apenas mudanças, modificações.

Toda a arte da experimentação em química se baseia nesse princípio: somos obrigados a assumir em todos [os experimentos] uma verdadeira igualdade ou equação entre os princípios [elementos] do corpo que se examina e aqueles que são extraídos dele pela análise (LAVOISIER, 1789, v.1, p.140-141).

Uma parte específica da citação acima é considerada como a exposição por parte de Lavoisier do princípio de conservação da massa: “nada é criado, nem nas operações da arte, nem nas da natureza, e pode-se colocar em princípio que em cada operação existe uma quantidade igual de matéria antes e depois da operação” (Holmes, 1982, p.24). Notemos que nessa frase não há menção à massa ou ao peso, mas sim à “quantidade de matéria” – uma expressão que havia sido utilizada como sinônimo de massa por Newton, nos *Princípios Matemáticos da Filosofia Natural*, publicados um século antes. Devemos também notar que a apresentação de Lavoisier era mais forte do que a lei de conservação da massa nas reações químicas que costumamos utilizar, pois ele enfatizou a conservação da quantidade *de cada elemento em particular*. Esta é uma suposição adicional, já que se poderia conceber a conservação da massa mesmo se não existissem elementos químicos permanentes.

Nesse capítulo sobre fermentação, Lavoisier apresentou os detalhes quantitativos de seus experimentos. Para compreender seus dados, é necessário conhecer as unidades de peso que utilizou (PARTINGTON, 1961-1970, v.3, p.377). Sua unidade básica era a antiga libra francesa, diferente da inglesa (em francês: *livre*, ou *pois de marc*). Sabemos que ela correspondia a 489,5058 g. Suas subdivisões eram as seguintes: 1/16 da *livre* era chamada de *once* (1 *once* = 30,5941 g); 1/8 da *once* era chamado de *gros* (3,8242 g);

and 1/72 do *gros* era chamado de *grain* (0,0531 g, ou 53,1 mg). Portanto, uma libra continha 9.216 grãos (*grain*).

As substâncias que Lavoisier utilizou na fermentação eram água, açúcar e levedo; suas quantidades eram de 400 *livres* de água, 100 *livres* de açúcar e 10 *livres* de pasta de levedo de cerveja; e esta continha 7 *livres*, 3 *onces*, 6 *gros* e 44 *grains* de água e 2 *livres*, 12 *onces*, 1 *gros* e 28 *grains* de levedo seco (LAVOISIER 1789, v.1, p.143). Notemos que seus dados quantitativos sugerem que a precisão de suas pesagens seria de um *grain* (cerca de 1/20 de grama) para um peso total de 510 *livres* (quase 250 kg).

		<i>livre</i>	<i>once</i>	<i>gros</i>	<i>grain</i>
Água		400	0	0	0
Açúcar		100	0	0	0
Pasta de levedo de cerveja, contendo	Água	7	3	6	44
	Levedoseco	2	12	1	28
		510	0	0	0

Fig. 1. Tabela apresentada por Lavoisier no *Traité Élémentaire de Chimie* mostrando os pesos dos materiais utilizados na reação de fermentação (LAVOISIER, 1789, v.1, p.143).

*Matériaux de la fermentation pour un quintal
de sucre.*

	liv.	onc.	gr.	gr.
Eau.....	400	»	»	»
Sucre.....	100	»	»	»
Levure de biere en pâte, } Eau.....	7	3	6	44
composé de } Levure sèche..	2	12	1	28
TOTAL.....	510	»	»	»

Seriam suas balanças tão exatas assim? Sabemos que os dois instrumentos mais precisos de que ele dispunha eram uma balança produzida por Pierre-Bernard Mégnié, capaz de detectar 5 mg para um peso total de 600 g (ou seja, cerca de uma parte

em 100.000); e outra produzida por Nicolas Fortin, que podia detectar 25 mg quando sua carga total era de 10 kg (cerca de duas partes em um milhão). Esses eram os melhores instrumentos da época (BENSAUDE-VINCENT & JOURNET, 1993, p.49). Nos experimentos de fermentação, o peso total era de 510 *livres* (sem incluir os recipientes que continham as substâncias), correspondendo a cerca de 250 kg. Se ele pudesse realmente medir essas quantidades com a precisão de um *grain* (0,0531 g), isso significaria uma precisão de duas partes em dez milhões. Era impossível atingir tal precisão, com suas balanças.

Na verdade, Lavoisier nem mesmo utilizou quantidades tão grandes das substâncias indicadas, em seus experimentos. Em vez de 100 *livres* de açúcar, ele reconheceu que empregou apenas poucas libras:

Nesses resultados, eu levei a precisão do cálculo até o *grain*. No entanto, não é possível ainda realizar esse tipo de experimento com tão grande exatidão. Mas eu usei apenas algumas poucas libras de açúcar – e, para fazer comparações, fui obrigado a reduzi-las ao *quintal* [cem *livres*] –, e considerei meu dever manter as frações tais como foram fornecidas pelo cálculo (LAVOISIER, 1789, v.1, p.148-149; LAVOISIER, 1796, p.194-195).

Portanto, as tabelas de Lavoisier não indicam suas medidas reais e sim os números obtidos em seus cálculos. Elas mostram os valores proporcionais que calculou, correspondentes a uma quantidade hipotética muito maior das substâncias. Independentemente disso, utilizando 500 *livres* ou poucas libras, a precisão máxima que ele poderia alcançar seria de duas partes em um milhão e nunca duas partes em dez milhões.

Lavoisier também forneceu os detalhes da composição elementar dos materiais que utilizou, dando os pesos de

hidrogênio, oxigênio, carbono e nitrogênio (“azoto”) contidos em cada substância:

		<i>livre</i>	<i>once</i>	<i>Gros</i>	<i>grain</i>
407 liv. 3 onc. 6 gr. 44 grains de água	Hidrogênio	61	1	2	71,40
	Oxigênio	346	2	3	44,60
100 liv. de açúcar, contendo	Hidrogênio	8	0	0	0
	Oxigênio	64	0	0	0
	Carbono	28	0	0	0
2 liv. 12 onc. 1 gr. 28 grains de levedo seco, contendo	Carbono	0	12	4	59,00
	Azoto	0	0	5	2,94
	Hidrogênio	0	4	5	9,30
	Oxigênio	1	10	2	28,76
		510	0	0	0

Fig. 2. Tabela apresentada por Lavoisier no *Traité Élémentaire de Chimie* mostrando os pesos dos diversos elementos contidos nos reagentes utilizados na fermentação (LAVOISIER, 1789, v.1, p.144).

*Détail des principes constituans des matériaux
de la fermentation.*

liv.	onc.	gr.	grains.		liv.	onc.	gr.	grains.
407	3	6	44	d'eau	61	1	2	71,40
composées de				{	Oxygène.....	346	2	3 44,60
				{	Oxygène.....	8	»	»
100 l.	de sucre compo-			{	Oxygène.....	64	»	»
sées de				{	Carbone.....	28	»	»
				{	Carbone.....	12	4	59,00
2	12	1	28	de le-	{	Azote.....	»	5 2,94
vure sèche composées de				{	Hydrogène....	»	4	5 5,30
				{	Oxygène.....	1	10 2 28,76	
TOTAL.....					510	»	»	»

É evidente que as quantidades de cada elemento não foram *medidas*. Foram *computadas*, levando em consideração as estimativas que Lavoisier realizou para os componentes de cada substância, em análises anteriores. No caso do açúcar, por exemplo, Lavoisier

afirmou que as proporções dos elementos eram aproximadamente (*à-peu-près*) as seguintes: Hidrogênio 8%, Oxigênio 64% e Carbono 28% (LAVOISIER, 1789, v.1, p.142). Embora essas fossem proporções aproximadas, devemos notar que ele as utilizou como se fossem exatas e que na sua tabela ele registrou frações impossíveis de medir, de centena de *grain* (menos do que um miligrama).

Os produtos da fermentação foram os seguintes (utilizando os nomes que ele lhes atribuiu), de acordo com Lavoisier (1789, v.1, p.147):

	<i>livre</i>	<i>once</i>	<i>gros</i>	<i>grain</i>
Ácido carbônico	35	5	4	19
Água	408	15	5	14
Álcoolseco	57	11	1	58
Ácido acetoso seco ⁶	2	7	8	0
Resíduo de açúcar	4	1	4	3
Levedo seco	1	6	0	50
	510	0	0	0

De acordo com os dados apresentados por Lavoisier, houve uma concordância exata entre os pesos totais dos reagentes e dos produtos. Não foi perdido nem adquirido um único *grain*. Ora, qualquer pessoa que já tenha realmente realizado medidas em laboratório será incapaz de acreditar que ele pudesse obter tal resultado. É muito provável que no processo de secagem das várias substâncias ele não conseguisse avaliar a quantidade exata de água que haviam perdido; e pode ter ajustado o peso da água, para que o peso total obedecesse à lei de conservação da massa.

Em geral, os resultados numéricos de seus experimentos [de Lavoisier] são bons demais para serem verdadeiros; métodos mais modernos

6 No livro de Lavoisier há um equívoco tipográfico, pois o número de onces do “ácido acetoso” foi omitido. Acrescentamos na tabela o valor correto, para completar a soma total.

e precisos não proporcionariam os resultados maravilhosos que ele menciona nos seus experimentos sobre fermentação (HOOYKAAS, 1999, p.222).

Lavoisier também indicou as quantidades de cada elemento das substâncias que utilizou, tanto antes quanto depois da fermentação. De acordo com sua descrição, a composição das substâncias utilizadas no experimento de fermentação era (LAVOISIER, 1789, v.1, p.144):

	<i>livre</i>	<i>once</i>	<i>gros</i>	<i>grain</i>
Oxigênio	411	12	6	1,36
Hidrogênio	69	6	0	8,70
Carbono	28	12	4	59,00
Azoto			5	2,94
	510	0	0	0

Fig. 3. Tabela apresentada por Lavoisier no *Traité Élémentaire de Chimie* mostrando os pesos dos diversos elementos contidos nos reagentes utilizados na fermentação (LAVOISIER, 1789, v.1, p.144).

*Récapitulation des principes constituans des matériaux
de la fermentation.*

		liv. on. gr. grains.	
	{ de l'eau... 340 " " "		
	{ de l'eau de la		
Oxygène..	{ levure... 6 2 3 44,60	{ liv. onc. gr. gr.	
	{ du sucre... 64 " " "		411 12 6 1,36
	{ de la levure: 1 10 2 28,76		
	{ de l'eau... 60 " " "		
	{ de l'eau de la		
Hydrogène.	{ levure... 1 1 2 71,40	{	69 6 " 8,70
	{ du sucre... 8 " " "		
	{ de la levure: " 4 5 9,30		
	{ du sucre... 28 " " "		
Carbone...	{ de la levure: " 12 4 59,00	{	28 12 4 59,00
Azote,...	de la levure.....	" " 5	2,94
	TOTAL,.....	510 " " "	

26

Fig. 4. Tabela apresentada por Lavoisier no *Traité Élémentaire de Chimie* mostrando os pesos dos diversos elementos contidos nos produtos obtidos após a fermentação (LAVOISIER, 1789, v.1, p.148).

[illegible]

Lavoisier não comentou sobre as diferenças consideráveis entre os pesos inicial e final dos elementos, que chegava a aproximadamente 2 *livres* nos casos do oxigênio e do hidrogênio. Transformando em quilogramas e arredondando seus dados, a massa inicial do oxigênio era de 201,577 kg e, depois da fermentação, era de apenas 200,516 kg – uma aparente perda de 0,5% do peso de oxigênio. No caso do hidrogênio, a massa inicial era de 33,980 kg e, depois da reação, havia aumentado para 35,026 kg – um acréscimo aparente de 3%. Seguindo um ponto de vista estritamente empirista, o experimento de Lavoisier teria *refutado* a conservação da massa de cada elemento químico, na reação de fermentação.

Devemos entender que a quantidade de cada elemento não era *medida*: era *calculada* a partir da análise de cada produto, seguindo os resultados de experimentos anteriores. A aparente violação da lei de conservação da massa mostra que a análise realizada por Lavoisier sobre a composição de cada substância tinha erros significativos, entre 3% e 5%.

No final do mesmo capítulo de seu livro, Lavoisier afirmou:

Terminarei o que tenho a dizer sobre a fermentação do vinho, notando que ela pode proporcionar um método para analisar o açúcar e todas as substâncias vegetais fermentáveis. Realmente, como já indiquei no início deste artigo, posso considerar as substâncias submetidas à fermentação e o resultado obtido depois da fermentação como se formassem uma equação algébrica; e supondo sucessivamente como incógnitas cada elemento dessa equação, posso obter dela um valor e assim corrigir a experiência pelo cálculo e o cálculo pela experiência. Frequentemente eu aproveitei esse método para corrigir os primeiros resultados de meus experimentos, e para me guiar com relação às precauções que deveriam ser tomadas para repeti-los. [...] (LAVOISIER, 1789, v.1, p.151).

Portanto, Lavoisier reconheceu que utilizava a lei de conservação da massa para *corrigir* os resultados de seus experimentos. Ele ajustava os números obtidos, de tal modo que houvesse uma igualdade exata entre a soma das massas das substâncias reagentes e a de seus produtos.

Nas publicações de Lavoisier, os valores numéricos das quantidades das substâncias sempre concordam 100% com os produtos das reações, com seus elementos componentes. Isso é bom demais para ser verdade e ele próprio o admitiu, quando disse que corrigia “a experiência pelo cálculo” (HOOYKAAS, 1999, p.223).

Quando notava uma discordância, isso não era considerado por ele como uma *refutação* da lei de conservação da massa; mas a anomalia o levava a tomar precauções adicionais nos experimentos seguintes, pois a falta de concordância era interpretada por ele como um *erro do experimento*.

Lavoisier e a conservação do calórico

É interessante apontar que o pensamento de Lavoisier era frequentemente guiado por hipóteses de conservação em vários campos do conhecimento:

Existe, portanto, pelo menos para a maior parte das produções territoriais do reino da França, uma equação, uma igualdade entre o que é produzido e consumido; assim, para saber o que é produzido, basta conhecer o que é consumido [...] (LAVOISIER, 1791, p.9).

Sabe-se que Lavoisier morreu na guilhotina por causa de seu envolvimento na cobrança de taxas e impostos – e não por seus trabalhos científicos. Em 1770, com 26 anos de idade, Lavoisier

adquiriu uma quota da companhia francesa “Fermegénérale”, que coletava impostos para o rei e distribuía uma parte vultosa do dinheiro recebido entre seus membros (AYKROYD, 1935, p.12-17). Seu papel de *fermier general* e outras posições que obteve por causa desse envolvimento – tais como a supervisão da produção de tabaco e pólvora (SCHELER, 1973) – eram as principais fontes de sua riqueza pessoal.

Ele mantinha uma contabilidade financeira detalhada, registrando as quantidades de dinheiro que entravam e saíam, assim como o saldo resultante. É claro que o dinheiro geralmente não desaparece espontaneamente, nem é criado a partir do nada – ele é *conservado* nas transações financeiras. A contabilidade de Lavoisier era semelhante aos seus balancetes sobre a conservação da matéria.

O seu treino [de Lavoisier] em manter uma contabilidade e preparar balancetes, como *Fermier Général*, influenciou seu trabalho científico e existe uma grande semelhança entre a forma de seus memorandos oficiais (publicados nas *Oeuvres*, especialmente no Vol. VI) e suas memórias científicas (PARTINGTON, 1961-1970, v.3, p.376).

[...] as balanças de Lavoisier eram mais do que um instrumento de precisão. Elas materializaram uma estratégia intelectual de comparar as entradas e saídas, que Lavoisier usava diariamente na sua atividade de contabilidade como coletor de impostos e também em suas reflexões sobre economia racional – tanto doméstica quanto nacional (BENSAUDE-VINCENT; SIMON, 2008, p.86).

Além do princípio de conservação da massa, Lavoisier também aceitava uma outra lei de conservação que foi rejeitada posteriormente: a da quantidade de calor (ou de calórico).

Nos séculos XVII e XVIII, alguns autores consideravam que o calor era um tipo de movimento microscópico invisível das partículas materiais; outros supunham que ele fosse uma substância. Francis Bacon, René Descartes, Robert Boyle e Daniel Bernoulli defenderam a hipótese do calor-movimento; Pierre Gassendi, Leonhard Euler, Herman Boerhaave, Georges-Louis Leclerc (conde de Buffon), Joseph Black, Jean-André De Luc e Johan Carl Wilcke apoiaram o conceito do calor-substância (BARNETT, 1946; BOYER, 1943; MORRIS, 1972, p.28). Os conceitos e experimentos sobre calorimetria, desenvolvidos na segunda metade do século XVIII, estavam associados à suposição de que o calor era uma substância; e após os trabalhos de Wilcke, De Luc e Black,

[...] o triunfo da primeira dessas teorias parecia completo. A partir de então, o calor foi tratado como uma substância real que passa de um corpo para outro, sem qualquer mudança de sua quantidade (que haviam aprendido a medir) e que, mesmo se deixar de ser manifesto à nossa sensação e se o termômetro não o detectar, continua apesar disso a existir em um estado particular (MEYERSON, 1908, p.173).

Boerhaave tentou medir o peso do calor e foi incapaz de encontrar qualquer mudança de peso de um corpo quando era aquecido, concluindo daí que o calor era uma substância *imponderável* (BOYER, 1943, p.448).

Lavoisier acabou aceitando a ideia da substância imponderável do calor (HOOYKAAS, 1999, p.74), a qual deu vários nomes, tais como “fluido ígneo”, “matéria do calor” e, finalmente, a partir de 1787, “calórico” (MORRIS, 1972, p.2)⁷. Em seu tra-

7 O nome “calórico” (*calorique*) foi adotado por ele pela primeira vez no livro *Méthode de Nomenclature Chimique*, escrito conjuntamente por Guyton de Morveau, Lavoisier, Bertholet and Fourcroy (GUYTON DE MORVEAU et

tado de química, o calórico era uma das substâncias elementares (LAVOISIER, 1789, p.192; SIEGFRIED, 1982, p.33), sendo apresentado no primeiro capítulo do *Traité Élémentaire de Chimie*. De acordo com Lavoisier, o calórico não é o próprio calor – é a sua causa (LAVOISIER, 1789, v.1, p.4-5).

Fig. 5. O início da tabela de Lavoisier das substâncias simples (elementos químicos), que começava com luz (*lumière*) e calórico (*calorique*), seguindo com oxigênio, nitrogênio (“azoto”), hidrogênio etc. (LAVOISIER, 1789, v.1, p.192).

TABLEAU DES SUBSTANCES SIMPLES.

	Noms nouveaux.	Noms anciens correspondans.
Substances simples qui appartiennent aux trois règnes & qu'on peut regarder comme les élémens des corps.	Lumière.....	Lumière.
		Chaleur.
		Principe de la chaleur.
	Calorique.....	Fluide igné.
		Feu.
		Matière du feu & de la chaleur.
		Air déphlogistiqué.
	Oxigène.....	Air empiréal.
		Air vital.
		Base de l'air vital.
		Gaz phlogistiqué.
	Azote.....	Mofete.
		Base de la mofete.
		Gaz inflammable.
	Hydrogène.....	Base du gaz inflammable.

Uma quantidade de material ponderável pode ser avaliada através de uma balança. No entanto, o calórico é uma substância imponderável, não podendo ser pesado – mas sua quantidade pode ser determinada por experimentos calorimétricos. Seguindo as ideias pioneiras e as pesquisas experimentais de Joseph Black e outros autores anteriores, Lavoisier e Pierre-Simon de Laplace

al., 1787, p.78). Nessa obra o calórico foi descrito como um elemento químico – uma ideia que Lavoisier manteve posteriormente.

(1749-1827) estudaram os fenômenos de transferência de calor entre os corpos, utilizando um calorímetro de gelo bastante sofisticado. Também investigaram o calor gerado (ou liberado) pelas reações químicas e pelos corpos vivos (GUERLAC, 1976). No artigo que publicaram em 1783, descrevendo o instrumento e seu uso (LAVOISIER, 1862, v.2, p.283-333), Lavoisier e Laplace mencionaram as duas teorias opostas sobre a natureza do calor. Laplace preferia a hipótese do calor-movimento, mas Lavoisier adotou o conceito de calor-substância (GUERLAC, 1976, p.244-245). Porém, eles chegaram a um acordo afirmando que as pesquisas que estavam investigando nesse trabalho eram independentes da interpretação adotada (MORRIS, 1972, p.30-31). Em todas essas pesquisas, eles foram guiados pela ideia de que o calor é conservado: ele pode estar oculto nos corpos, mas não pode ser criado nem destruído.

A quantidade de calor livre⁸ permanece a mesma na mistura simples dos corpos. Isto é evidente se o calor for um fluido que tende ao equilíbrio; e se for simplesmente a força viva⁹ que resulta do movimento interno da matéria, o princípio em questão é uma consequência da conservação das forças vivas. Assim, a conservação do calor livre, em uma simples mistura de corpos, é independente de qualquer hipótese sobre a natureza do calor; foi aceita de um modo geral pelos físicos e nós a adotaremos nas pesquisas seguintes (LAVOISIER, 1862, v.2, p.287).

8 Lavoisier entendia o “calor livre” como a parte do calórico que não está combinada quimicamente com substâncias materiais.

9 Dava-se o nome de “força viva” ao produto da massa pelo quadrado da velocidade ($m.v^2$), que é o dobro daquilo que chamamos de energia cinética.

Independentemente da justificativa utilizada, a lei de conservação do calor era admitida por todos os pesquisadores da época que faziam experimentos calorimétricos. Johan Carl Wilcke, Jean-André De Luc e Joseph Black aceitavam a indestrutibilidade do calor, antes Lavoisier (MEYERSON, 1908, p.191). A conservação do calor era *sugerida, aceita e aplicada* como se fosse uma lei segura, assim como ocorreu com a lei de conservação da matéria. Nos dois casos, não houve a preocupação de testar ou “provar” experimentalmente esses princípios, pois eles pareciam óbvios.

Sabemos que a lei de conservação do calor estava equivocada. Aceitamos que a *energia* é conservada; o calor é uma das muitas formas de energia e pode ser criado e destruído, quando há transformações de energia. O próprio calor não é conservado, exceto em alguns fenômenos muito especiais – aqueles que apenas envolvem a condução de calor entre corpos inertes.

O uso da lei da “conservação do calor” por Lavoisier mostra que esse autor estava fortemente influenciado por ideias gerais de conservação.

Seria a lei de Lavoisier uma verdade a priori?

Retornemos ao princípio de conservação da massa. No experimento sobre fermentação, é evidente que Lavoisier estava *assumindo e aplicando* a lei de conservação da massa, mas não a estava *testando*. Na verdade, os historiadores da ciência jamais encontraram um único experimento descrito em seus trabalhos publicados ou nos manuscritos inéditos que pudesse ser interpretado como um teste dessa lei.

Ele a *aplicou* com frequência, muito antes de apresentá-la de forma explícita.

As aplicações da lei de conservação da massa por Lavoisier foram inspiradas por sua fé em uma verdade que não poderia ser controvertida.

Assim, em suas primeiras publicações, ele não pesou todas as substâncias que participavam de uma reação, mas usou a lei para obter indiretamente seu peso (HOOYKAAS, 1999, p.222).

De acordo com Holmes, “Seus primeiros experimentos notáveis a respeito da transmutação da água, em 1768-70, se basearam naquele método, que permeou toda sua pesquisa experimental nas duas décadas seguintes” (HOLMES, 1982, p.24; ver detalhes sobre esses experimentos em Martins e Martins (1993, p.249-251)).

Consultando vários dos trabalhos de Lavoisier, é possível notar que ele interpretava a conservação da massa como uma proposição óbvia, semelhante à igualdade entre a adição de dois termos e o valor de sua soma. Na sua memória sobre a decomposição da água (1781)¹⁰, depois de descrever a queima de hidrogênio e oxigênio, ele afirmou:

[...] não pudemos determinar a quantidade exata dos dois ares [gases] com os quais produzimos a combustão; mas como na física não é menos verdade que na geometria, que o todo é igual às suas partes; então, pelo fato de que obtivemos apenas água pura neste experimento, sem qualquer outro resíduo, pensamos que estávamos justificados em concluir que o peso da água era igual ao dos dois ares que serviram para produzi-la (LAVOISIER, 1862, p.338-339).

A matemática era considerada como um conhecimento *a priori*; portanto, a afirmação de Lavoisier “como na física não é

10 O trabalho completo é reproduzido no segundo volume das suas *Oeuvres* (LAVOISIER, 1862, p.334-359): “Mémoire dans lequel on a pour objet de prouver que l'eau n'est point une substance simple, un élément proprement dit, mais qu'elle est susceptible de décomposition et de recombinaison” (1781).

menos verdade que na geometria, que o todo é igual às suas partes” parece indicar que ele também considerava a lei de conservação da massa como algo inquestionável e apriorístico. Realmente, em uma passagem ele usa explicitamente a designação “*a priori*” para descrever aquela ideia:

Este experimento deu resultados semelhantes aos do anterior. Seu resultado também foi o de que quando o fósforo queimou, ele absorveu um pouco mais do que uma vez e meia seu peso de oxigênio, e também obtive a certeza de que o peso da nova substância que foi produzida era igual à soma dos pesos do fósforo que queimou e do oxigênio que ele absorveu – e isso era fácil de prever *a priori* (LAVOISIER, 1789, v.1, p.63).

Em um outro trabalho em que descreveu a combustão de álcool, óleo e outras substâncias (LAVOISIER, 1784)¹¹, ele caracterizou a conservação da massa como “evidente”:

A combustão do azeite de oliva não apresenta tanta incerteza quanto aquela do espírito do vinho, pois o azeite de oliva não se volatiliza tão facilmente; pode-se conhecer com precisão rigorosa a quantidade que queimou, pela diferença dos pesos determinados antes e depois da combustão. [...]

Quanto à água que foi formada, ela não pôde ser coletada nem pesada e eu expliquei em outro lugar a razão disso; o mesmo ocorre com o espírito do vinho; portanto eu a determinei pelo cálculo, sempre partindo da suposição de que o peso dos materiais é o mesmo antes e depois da operação, o que eu considero como evidente [...] (LAVOISIER, 1862, p.595).

11 “Mémoire sur la combinaison du principe oxygene avec l'esprit de vin, l'huile et différents corps combustibles” (LAVOISIER, 1862, p.586-600).

No caso específico das pesquisas de Lavoisier, a lei de conservação do peso não foi nem provada nem descoberta a partir de experimentos; e ele não teve a preocupação de testá-la. Fica claro que ele não a considerava como uma lei empírica ou algo que pudesse ser confirmado. Ela lhe parecia uma verdade *a priori*, bastante óbvia.

Mas o leitor deste trabalho pode ficar perplexo: se a igualdade do peso dos materiais antes e depois de uma reação química é *evidente*, por que não foi utilizada antes de Lavoisier? Na verdade, ela foi bastante utilizada antes do químico francês.

A maioria dos estudantes de química aprendeu que foi Lavoisier quem introduziu o conceito de conservação da matéria na química, usando esse princípio para descartar o elemento imaginário do flogisto.

No entanto, a conservação da matéria é uma suposição básica que subjaz a física antiga. Uma grande maioria dos filósofos gregos e dos cientistas modernos antigos considerava que a matéria era eterna e indestrutível, sem ter qualquer evidência experimental para isso. A conservação da matéria está embebida tão profundamente na ciência ocidental que o filósofo Émile Meyerson a considerou como uma suposição metafísica *a priori* e como o fundamento necessário para toda pesquisa científica (BENSAUDE-VINCENT; SIMON, 2008, p.115-116)¹².

Como já foi mencionado antes, a principal causa desse equívoco histórico tão comum entre professores e estudantes de química (e de outras disciplinas) é o epônimo “Lei de Lavoisier”.

12 Como veremos mais adiante, essa não é uma interpretação totalmente correta sobre as ideias de Émile Meyerson.

Qualquer pessoa, ao estudar pela primeira vez um princípio com esse nome, será levada a pensar assim: “Se a lei de conservação da massa é atribuída a alguém chamado Lavoisier, essa pessoa deve ter sido a *primeira* a provar, ou descobrir, ou enunciar, ou usar esse princípio... caso contrário, não teria esse nome, não é?” Porém, neste caso – como na quase totalidade dos epônimos – a homenagem que é prestada a um cientista dando-lhe o nome de alguma contribuição científica não deve ser considerada como indicando autoria ou prioridade. De um modo geral, os epônimos são desprovidos de significado e transmitem uma visão equivocada sobre a história da ciência(MARTINS, 2015).

Não é possível descrever aqui os autores que, antes de Lavoisier, enunciaram e utilizaram a lei de conservação da massa (ou do peso). Podem ser encontrados vários exemplos na obra de Émile Meyerson (1908, cap.4) e em nosso trabalho anterior (MARTINS; MARTINS, 1993, p.246-247).

Nenhum dos cientistas ou filósofos que aceitaram o princípio da conservação da massa (ou do peso) até a época de Lavoisier tentou prová-lo através de experimentos. Todos o admitiam como uma verdade *a priori* evidente ou óbvia.

O que aconteceu posteriormente? Embora Lavoisier não tenha se interessado em testar o princípio de conservação da massa, poderia ter ocorrido que outros pesquisadores posteriores o tivessem testado e corroborado. Talvez os químicos, professores e estudantes, acreditem que isso *deve* ter acontecido. Vejamos qual era a situação no início do século XX – ou seja, mais de um século após a morte de Lavoisier

Qual é a situação atual sobre essa questão? Desde Lavoisier, a balança se tornou o instrumento preferido do químico; e poder-se-ia dizer – esta é a opinião do sr. Ostwald, por exemplo – que em certo sentido cada análise quantitativa realizada por um químico equivale

a uma verificação da conservação da matéria. No entanto, não devemos tentar assumir uma prova tão grande. Essas análises, em geral, apenas concordam *grossa modo*; é raro que em qualquer série um pouco complexa de operações, não sejam observados desvios grandes demais para serem atribuídos aos instrumentos de medida – como o sr. Ostwald é obrigado a admitir (MEYERSON, 1908, p.157).

Assim como tinha ocorrido até Lavoisier, a maioria dos químicos, depois dele, simplesmente aceitou o princípio de conservação da massa, sem se dar ao trabalho de testá-lo. Mas a situação mudou no final do século XIX.

Quando foi feito um esforço para verificar diretamente e com grande precisão a conservação do peso nos fenômenos químicos, nem sempre houve sucesso na obtenção de resultados que confirmasse esse princípio de forma absoluta. É bem conhecido que foram notadas anomalias muito recentemente pelo sr. Landolt. Os resultados do químico alemão,¹³ embora questionadas algumas vezes, aparecem ter sido recebidas, em geral, com pouco ceticismo pelo mundo científico (MEYERSON, 1908, p.158).

As pesquisas de Hans Landolt sobre a conservação da massa produziram um forte impacto entre os físicos e químicos do final do século XIX e início do século XX. Atualmente, elas são desconhecidas não apenas pelos cientistas, mas também pela quase totalidade dos historiadores da ciência. Não é possível apresentá-las aqui. Em outros trabalhos, analisei esse interessante episódio

13 Landolt nasceu na Suíça, embora tenha realizado grande parte de seu trabalho na Alemanha.

(ver detalhes em MARTINS (2019); MARTINS (1993); ver também CERRUTI (1996)).

Dentre os poucos autores posteriores que se referiram à pesquisa de Landolt, a maioria a considerou como uma *prova* da lei de conservação da massa (ou do peso) nas reações químicas (LAUE, 1959, p.509-510). Como já mencionamos, é impossível produzir uma prova experimental de que o peso se conserva *exatamente*, para *qualquer* reação química. Tudo o que pode ser admitido com segurança é que *para um determinado conjunto de reações químicas*, estudadas sob tais e tais condições, não foi observada nenhuma mudança de peso *superior ao erro experimental*. Porém, o princípio é considerado *exato* e válido *em todas as situações*, extrapolando qualquer tipo de teste empírico que possa ser feito. Émile Meyerson comentou:

Segue-se da informação que apresentamos resumidamente que mesmo no momento presente [início do século XX] a certeza com a qual o princípio de conservação da matéria parece estar investido é muito superior à que é permitida pelos experimentos que supostamente lhe servem de base (MEYERSON, 1908, p.158).

Émile Meyerson sobre as leis de conservação e o princípio de causalidade

Como já foi apontado acima, embora muitos autores antes de Lavoisier aceitassem e utilizassem o princípio de conservação do peso, nem todos o consideravam verdadeiro. Desde a Antiguidade até o século XVIII, alguns importantes pensadores o negavam – incluindo Aristóteles e Descartes (MEYERSON, 1908, cap. IV). Mas se o princípio fosse uma verdade *a priori*, evidente ou óbvia, não deveria ser aceito por todos? Será que esses que o negavam eram incapazes de compreendê-lo?

Foi Émile Meyerson quem apresentou pela primeira vez uma análise profunda desse problema histórico, no seu livro *Identité et Réalité* (1908). Sua tese principal é de que existe um princípio *filosófico* apriorístico que sempre foi aceito – o princípio da causalidade – que é amplo e vago, impossível de ser submetido a qualquer teste empírico porque não produz nenhuma previsão observacional definida. Por outro lado, existem vários princípios *científicos* de conservação que possuem uma forma semelhante a do princípio de causalidade; eles podem ser submetidos a testes experimentais; mas às vezes são interpretados, de forma equivocada, como verdades *a priori* por causa de sua semelhança com o princípio de causalidade.

O que Meyerson queria dizer quando falava sobre o princípio de causalidade? Ele adotou um significado específico de causa, que corresponde aproximadamente à “causa material” de Aristóteles (DROUIN, 1964) – ou seja, alguma coisa constante subjacente às mudanças ou fenômenos (FOLLON, 1988). Meyerson enfatizou a interpretação da causalidade que pressupõe uma igualdade entre causa e efeito, sendo equivalente “à fórmula bem conhecida dos escolásticos, *causa aequat effectum*” (MEYERSON, 1908, p.16).

O universo está repleto de fenômenos, ou seja, mudanças e transformações. Desde a Antiguidade, muitos filósofos (e, depois, cientistas) têm procurado algo constante por trás dos eventos mutáveis, algo que continua igual antes e depois que ocorre a mudança. Essa foi a motivação dos primeiros filósofos gregos que buscaram o substrato invisível da natureza – e, mais especificamente, da teoria atomística (MEYERSON, 1908). Essa busca também é a motivação de todas as leis de conservação que foram propostas nas ciências, pois todas elas afirmam que alguma coisa é constante no tempo, embora estejam ocorrendo mudanças observáveis.

De acordo com Meyerson, a busca da constância subjacente aos fenômenos não é um resultado da pesquisa empírica – é uma

exigência de nossa razão; e ela nunca pode ser plenamente satisfeita, pois existem mudanças no mundo – nem tudo é constante. Assim, o princípio da causalidade nos impele a procurar entidades que não mudam, sabendo que elas são uma exceção. O princípio da causalidade não é uma descrição do mundo e sim uma exigência que impomos à nossa descrição da realidade. Em cada caso particular, podemos encontrar – ou não – a grandeza ou entidade imutável específica daquela situação. No entanto, poderia ocorrer que o universo não tivesse nada constante ou permanente.

O caminho seguido por nosso entendimento ao aplicar o princípio de identidade esclarece o que pode produzir equívocos, nesse assunto. Houve princípios de conservação que foram propostos e que a ciência teve depois que abandonar completamente; ou foi necessário transformar radicalmente seu conteúdo, mudando a expressão daquilo que é conservado. Em nosso trabalho encontramos exemplos dos dois casos. O princípio de Black de conservação do calórico pertence à primeira categoria: essa proposição parece atualmente claramente errada e, além disso, entra em contradição com fatos da experiência vulgar, tais como o calor produzido pelo atrito. No entanto, foi aceita durante um longo tempo como possuindo um fundamento seguro, como uma das bases mais sólidas da física (MEYERSON, 1908, p.370)

Quando o princípio de causalidade, entendido sob esta forma, é aplicado ao conceito de matéria, ele gera o princípio de conservação da matéria. Em sua formulação mais geral, ele afirma que, embora a matéria visível sofra mudanças, há alguma matéria primordial que não muda e é constante em todos os fenômenos. A matéria primordial de Aristóteles era diferente da matéria primordial dos atomistas gregos, ou da matéria primordial de Descartes;

mas o princípio geral era o mesmo. Durante o século XIX, alguns químicos (como John Dalton) aceitaram a existência de átomos imutáveis que permanecem constantes nas transformações químicas. Outros (como Wilhelm Ostwald) não acreditavam na existência de átomos, mas admitiam elementos químicos imutáveis. Assim, o princípio de conservação da matéria pode ser satisfeito de muitas formas diferentes e mutuamente incompatíveis.

Na Antiguidade, alguns filósofos como Platão e Aristóteles, não aceitavam a conservação do peso. Eles acreditavam que os quatro elementos materiais (terra, água, ar e fogo) podiam se transformar um no outro. A água é pesada e cai para o chão, mas pode se transformar em ar (vapor) que é leve e se afasta do solo. Em muitos casos como esse, supunha-se que o peso havia desaparecido ou mudado. Para muitos filósofos, o peso era uma qualidade accidental da matéria, como cor ou forma – e nenhuma dessas qualidades é preservada nas transformações da matéria (MEYERSON, 1908, p.139). A mesma forma de pensamento foi predominante na Idade Média. O princípio de causalidade era sempre aceito e os filósofos

[...] certamente estavam convencidos de que alguma coisa essencial na matéria, sua *substância*, era mantida durante suas modificações. No entanto, como o conceito de matéria estava separado do de peso, tornou-se difícil proporcionar uma base quantitativa para a matéria (MEYERSON, 1908, p.142).

A conservação da matéria pode ser considerada como um princípio *qualitativo*; ou pode ser tomado como um princípio *quantitativo*. No segundo caso, torna-se o princípio de conservação da *quantidade* de matéria. Mas como devemos interpretar e medir a “quantidade de matéria” que permanece a mesma, antes e depois das transformações visíveis das substâncias? Será a massa,

ou alguma outra quantidade, como seu volume ou seu número de átomos? O princípio de causalidade, sozinho, é incapaz de proporcionar qualquer interpretação específica e, portanto, não pode existir uma ciência racional pura (MEYERSON, 1908, p.369).

Algo semelhante ocorre com todos os princípios de conservação. Existe uma lacuna na passagem do princípio de causalidade para a formulação de qualquer lei de conservação específica; essa lacuna não pode ser preenchida apenas de modo racional. O princípio de causalidade é *a priori* e inquestionável. Cada lei de conservação em particular que jamais foi proposta na ciência pode ser submetida a testes e não contém o mesmo grau de certeza que o princípio de causalidade. Apenas a pesquisa empírica pode indicar se alguma propriedade (ou grandeza) permanece constante ou não, nos fenômenos. Portanto, toda lei de conservação contém dois componentes: a estrutura ou forma do princípio, que é *a priori* e provém do princípio de causalidade; e a interpretação específica sobre o que permanece constante, ou seja, seu conteúdo científico, que é *a posteriori* e vem da experiência. Assim, Lavoisier e os outros pensadores que supunham que a lei de conservação da massa (ou do peso) era evidente e apriorística estavam equivocados, pois não compreendiam o verdadeiro *status* epistemológico desse princípio.

Poderíamos pensar que os *cientistas* não possuíam uma profundidade filosófica suficiente para compreender que a lei de conservação da massa (ou peso) não poderia ser um princípio *a priori*; mas que isso devia ser evidente para todo *filósofo*. Não é verdade. No século XVIII, um dos mais importantes filósofos de todos os tempos, Immanuel Kant, defendeu uma prova apriorística do princípio. Depois dele, outros seguiram a mesma linha de interpretação.

Kant se preocupou com essa questão muitas vezes. [...] Ele se explicou de um modo mais detalhado nos *Primeiros Princípios Metafísicos da Ciência e da Natureza*. Lá, ele assim exprime

o seu “primeiro teorema da mecânica”: “Em todas as modificações da natureza material, a quantidade de matéria permanece a mesma, sem aumento e sem diminuição”. Na “demonstração” desse teorema, Kant faz uso do princípio que ele toma emprestado da “metafísica geral”, que afirma que em todas as modificações da natureza, não há criação nem destruição da substância. Depois ele determina que a substância, para a matéria, é sua quantidade [...] (MEYERSON, 1908, p.159).

Na filosofia aristotélica, que Kant tomou como ponto de partida, o conceito de “substância” corresponde à “causa material”, que não se modifica durante os fenômenos. Mas esse conceito filosófico de “conservação da substância” não é igual à lei quantitativa e testável de conservação da massa ou peso – e Aristóteles aceitava a “conservação da substância” sem aceitar a conservação do peso. Kant, porém, foi passando do princípio filosófico abstrato (e que não pode ser testado), através de uma série de etapas, até chegar à conservação do peso: a conservação da substância, no caso da matéria, seria a conservação da quantidade de matéria; e a quantidade de matéria seria o peso ou a massa da matéria. Porém, esses passos não são (nem podem ser) justificados *a priori* e a “demonstração” de Kant não é correta.

Meyerson também discutiu as “provas” *a priori* de outros autores (Arthur Schopenhauer, William Whewell e Herbert Spencer) e mostrou que eles também confundiram os conceitos empíricos quantitativos de peso ou massa com o conceito filosófico de substância (MEYERSON, 1908, p.160-161). Portanto, essas “provas” apriorísticas são inaceitáveis.

Na base do princípio de conservação da matéria há três noções distintas: matéria, peso e massa. “Matéria” é uma noção de senso comum, muito complexa, que sintetiza um número infinito de propriedades. É claramente contrário mesmo

à experiência mais superficial supor a conservação de todas essas propriedades. Portanto, ao manter a conservação da matéria, somente se postula a permanência de algumas dentre elas; essa é a razão pela qual esse enunciado não pode interessar à ciência enquanto não se elucida de modo preciso o que deve ser conservado (MEYERSON, 1908, p.162).

Podem ser medidas muitas propriedades diferentes da matéria: sua temperatura, seu tamanho, sua cor, sua capacidade térmica, sua densidade etc. Qual ou quais dessas propriedades são conservadas, e por que? Isso só pode ser descoberto *a posteriori*, através de experimentos. Não existe qualquer conexão lógica entre massa (ou peso) e a noção filosófica de matéria. No entanto, quando não se percebe a enorme distância entre tais conceitos, parece possível deduzir a lei da conservação da massa (ou peso) do princípio apriorístico de causalidade, como se não fosse necessário nenhum estudo empírico.

De acordo com Meyerson, as leis científicas de conservação nem são *a priori* nem *a posteriori*, embora contenham componentes dos dois tipos. Na falta de uma terminologia melhor, ele as descreveu como leis *plausíveis*.

[...] interpretado literalmente, o princípio da identidade no tempo significaria: tudo se mantém – uma afirmação que é negada imediatamente pela experiência; [...]. Assim, a afirmação se torna: algumas coisas essenciais se mantêm. Mas esta é uma fórmula indefinida, pois não nos diz quais são as coisas que persistem e que, conseqüentemente, deveríamos considerar como essenciais. É apenas a experiência que pode nos ensinar isso. Mas nesse caso a experiência desempenha um papel peculiar, no sentido de que ela não é livre, pois obedece ao princípio de causalidade,

que podemos denominar mais precisamente como tendência causal, pois manifesta sua ação obrigando-nos a buscar na diversidade dos fenômenos alguma coisa que se mantém. De acordo com a expressão admirável de Boutroux, a fórmula não constitui uma lei, mas sim um “molde” de leis.

A partir daquilo que já argumentamos [...] podemos tirar esta conclusão geral: toda proposição que estipula uma identidade no tempo nos parece investida *a priori* com um algo grau de probabilidade. Ela encontra nossas mentes preparadas, ela as seduz e é adotada imediatamente, a menos que seja contrariada por fatos muito evidentes. Talvez fosse sábio aplicar a afirmações dessa categoria, intermediárias entre o *a priori* e o *a posteriori*, um nome especial. Proporemos, por falta de um melhor, o termo *plausível*. Então, toda proposição que estipula uma identidade no tempo, toda lei de conservação, é plausível (MEYERSON, 1908, p.133-134).

Assim, Meyerson introduziu o nome “plausível” para essas afirmações sobre conservação ou constância, que não são completamente *a priori* nem totalmente *a posteriori*. Em minha opinião, sua escolha terminológica não foi boa, porque “plausível” é comumente compreendido como equivalente a “provável”. Com a exceção desse nome, concordo com a interpretação de Meyerson sobre as leis de conservação.

Comentário final

O estudo histórico e epistemológico sobre a lei de conservação da massa (e também de outras leis de conservação, como a da energia – ver Martins (1984)) proporciona um exemplo notável de

influência de concepções filosóficas na ciência. O princípio filosófico de permanência da substância, ou das causas materiais – a lei de causalidade discutida por Émile Meyerson – não é um resultado científico: é um princípio *a priori* que moldou o desenvolvimento das leis de conservação. Este estudo de caso aqui apresentado é relevante para o ensino da química (e da ciência, em geral), porque mostra claramente que pode ocorrer a influência de princípios filosóficos no desenvolvimento científico, proporcionando assim um claro exemplo contra a visão indutivista da ciência.

O objetivo deste trabalho não foi o de *defender* a interpretação de Émile Meyerson sobre as leis de conservação (e, particularmente, sobre o princípio de conservação da massa). As ideias de Meyerson não precisam de meu apoio – elas foram bem fundamentadas por seu autor. Infelizmente, o estilo prolixo desse filósofo francês não ajudou na difusão de seu pensamento; e seu trabalho não é tão bem conhecido quanto merece, na França ou em outros países. Acredito que suas ideias epistemológicas peculiares, fundamentadas em pesquisa histórica correta, merecem ser mais divulgadas – e que podem ajudar a evitar que cientistas, professores e estudantes adotem a interpretação empirista ingênua sobre a natureza da ciência.

Referências

AYKROYD, Wallace Ruddell. **Three philosophers: Lavoisier, Priestley and Cavendish**. London: Heinemann, 1935.

ALLCHIN, Douglas. Pseudohistory and pseudoscience. **Science & Education**, v.13, p.179-195, 2004.

BARNETT, Martin K. The development of the concept of heat. **The Scientific Monthly**, v.62, n.2, p.165-172; n.3, p.247-257, 1946.

BENSAUDE-VINCENT, Bernadette; JOURNET, Nicolas. Rien ne se perd, rien ne se crée, tout se pèse. **Les Cahiers de Science et Vie**, n.14, p.42-62, Avril, 1993.

BENSAUDE-VINCENT, Bernadette; SIMON, Jonathan. **Chemistry, the Impure Science**. London: Imperial College Press, 2008.

BOYER, Carl B. History of the measurement of heat I. Thermometry and calorimetry. **The Scientific Monthly**, v.57, n.5, p.442-452, 1943.

BUNGE, Mario. **Scientific Research II: The Search for Truth**. Berlin: Springer, 1967.

CERRUTI, Luigi. Atomi, elementi chimici, etere ponderabile, modelli ed esperimenti di fine ottocento. In TUCCI, Pasquale (ed.). **Atti del XVI Congresso Nazionale di Storia della Fisica e dell'Astronomia**. Como: Centro di Cultura Scientifica Alessandro Volta. Available online: <<http://www.sisfa.org/pubblicazioni/atti-del-xvi-convegno-sisfa-como-1996/>> 1996.

GUERLAC, Henry. Chemistry as a branch of physics: Laplace's collaboration with Lavoisier. **Historical Studies in the Physical Sciences**, v.7, p.193-276, 1976.

GUYTON DE MORVEAU, Louis Bernard; LAVOISIER, Antoine-Laurent de; BERTHOLLET, Claude-Louis; FOURCROY, Antoine François de. **Méthode de nomenclature chimique**. Proposée par MM. de Morveau, Lavoisier, Bertholet, et de Fourcroy; on y a joint un nouveau système de caractères chimiques, adaptés à cette nomenclature, par MM. Hassenfratz, Adet. Paris: Cuchet, 1787.

HAVEN, Kendall. **100 Greatest Science Discoveries of All Time**. Westport: Libraries Unlimited, 2007.

HOLMES, Frederic L. Lavoisier the experimentalist. **Bulletin for the History of Chemistry**, v.5, p.24-31, 1982.

HOOYKAAS, Reijer. **Fact, Faith and Fiction in the Development of Science**. The Gifford Lectures Given in the University of St Andrews 1976. Dordrecht: Springer Science, 1999.

LAUE, Max von. Inertia and energy. v.2, p.503-533, in: SCHILPP, Paul Arthur (ed.). **Albert Einstein, philosopher-scientist**. New York: Harper and Brothers, 1959.

LAVOISIER, Antoine-Laurent de. **Résultats d'un ouvrage intitulé, De la richesse territoriale du royaume de France**. Paris: Imprimerie Nationale, 1791.

LAVOISIER, Antoine-Laurent de. **Traité élémentaire de chimie, présenté dans un ordre nouveau et d'après les découvertes modernes**. Paris: Chez Cuchet, 1789. 2 vols.

LAVOISIER, Antoine-Laurent de. **Oeuvres de Lavoisier. Tome II. Mémoires de chimie et de physique**. Paris: Imprimerie Impériale, 1862.

LEICESTER, Henry M. Lomonosov's views on combustion and phlogiston. **Ambix**, v.22, n.1, p.1-9, 1975.

MARION, Jerry. **Physical Science in the Modern World**. 2nd edition. Saint Louis: Elsevier Science, 2014.

MARTINS, Roberto de Andrade. Mayer e a conservação da energia. **Cadernos de História e Filosofia da Ciência**, v.6, p.63-95, 1984.

MARTINS, Roberto de Andrade. Os experimentos de Landolt sobre a conservação da massa. **Química Nova**, v.16, n.5, p.481-490, 1993.

MARTINS, Roberto de Andrade. Eponyms as a stumbling block in the way of an adequate history of science. Paper 64, p.1-9, In: **IHPST 13th Biennial International Conference**. Rio de Janeiro, IHPST, 2015.

MARTINS, Roberto de Andrade. Émile Meyerson and mass conservation in chemical reactions: a priori expectations versus experimental tests. **Foundations of Chemistry**, v.21, 2019. DOI 10.1007/s10698-018-09331-2

MARTINS, Roberto de Andrade; MARTINS, Lilian Al-Chueyr Pereira. Lavoisier e a conservação da massa. **Química Nova**, v.16, n.3, p.245-256, 1993.

MEYERSON, Émile. **Identité et Réalité**. Paris: Félix Alcan, 1908.

MORRIS, Robert J. Lavoisier and the caloric theory. **The British Journal for the History of Science**, v.6, n.1, p.1-38, 1972.

PATY, Michel. Masse (de Newton à Einstein). p.613-616, In: LECOURT, Dominique (ed.). **Dictionnaire d'Histoire et de Philosophie des Sciences**. Paris: Presses Universitaires de France, 1999.

POMPER, Philip. Lomonosov and the discovery of the law of the conservation of matter in chemical transformations. **Ambix**, v.10, n.3, p.119-127, 1962.

SCHELER, Lucien. Lavoisier et la régie des poudres. **Revue d'Histoire des Sciences**, v.26, n.3, p.193-222, 1973.

SIEGFRIED, Robert. Lavoisier's table of simple substances: Its origin and interpretation. **Ambix**, v.29, n.1, p.29-48, 1982.

USITALO, Steven. **The invention of Mikhail Lomonosov: a Russian national myth**. Boston: Academic Studies Press, 2013.