

LAVOISIER E A CONSERVAÇÃO DA MASSA

Roberto de Andrade Martins e Lilian Al-Chueyr Pereira Martins

Grupo de História e Teoria da Ciência - Departamento de Raios Cósmicos e Cronologia - Instituto de Física "Gleb Watghin" - UNICAMP - Caixa Postal 6165 - CEP 13081-970 - Campinas - SP

Recebido em 11/8/92; cópia revisada em 16/3/93

This article presents the history of the principle of conservation of mass in chemical reactions, from Antiquity to the time of Lavoisier. The principle was not subjected to empirical tests during this whole period. A detailed analysis of Lavoisier's work shows that he accepted and used the principle of mass conservation but did not test the principle. It was accepted for *a priori* reasons.

Keywords: Lavoisier, Antoine Laurent; mass conservation; chemistry history.

1. O PROBLEMA

O princípio da conservação da massa de um sistema isolado é uma das leis fundamentais da Física e da Química. Usualmente, associa-se o princípio de conservação da massa (às vezes denominado "princípio da conservação da matéria") ao nome de Lavoisier. Como se verá no presente artigo, essa atribuição é inexata, em um certo sentido: Lavoisier não foi nem o primeiro a afirmar esse princípio, nem foi quem o fundamentou experimentalmente.

Poucos filósofos ou historiadores da ciência se dedicaram ao estudo detalhado da evolução desse princípio. Um desses poucos foi Émile Meyerson, que consagra todo um capítulo de sua obra fundamental, *Idenité et réalié*,¹ ao estudo desse tema.

A farta documentação apresentada por Meyerson procura mostrar a grande importância de idéias pré-concebidas sobre a causalidade e outros princípios meta-científicos relativos à conservação da substância (no sentido aristotélico), no desenvolvimento e estabelecimento do princípio de conservação da massa. Ao mesmo tempo, Meyerson mostra que a base empírica desse princípio, tanto na época de Lavoisier quanto posteriormente, não era muito sólida.

Este artigo discutirá alguns episódios anteriores a Lavoisier e, depois, o próprio trabalho de Lavoisier sobre a conservação da massa, terminando por uma discussão a respeito do "status" dessa lei no final do século XVIII e início do século XIX. Um artigo futuro apresentará a história posterior desse princípio e o importante debate ocorrido no final do século XIX e início do século XX, motivado pelos experimentos de Hans Landolt.

2. A CONSERVAÇÃO DA MASSA, NA ANTIGUIDADE

Da Antiguidade até a época de Lavoisier, como mostra Meyerson, vários autores alternadamente afirmaram ou negaram que o peso dos corpos fosse constante². De um modo geral, os partidários do atomismo afirmavam a conservação do peso; os alquimistas acreditavam na possibilidade de alterar o peso das substâncias, assim como sua cor, dureza, densidade ou qualquer outra propriedade.

2.1. A conservação da matéria como princípio "a priori"

Podemos associar ao próprio início da filosofia grega a concepção da conservação da matéria subjacente a todas as transformações. Aristóteles, na sua "Metafísica", ao discutir

os vários tipos de causas e o modo como foram abordados pelos filósofos anteriores, afirma:

Dos primeiros filósofos, portanto, a maioria pensou que os princípios de natureza material eram os únicos princípios de todas as coisas. Aquilo de que consiste tudo o que existe, o início do qual todas as coisas surgem e o término em que elas se dissolvem (a substância que permanece, mas muda em suas modificações), isto, dizem eles, é o elemento e este é o princípio das coisas - e, portanto, eles pensam que nada é gerado nem destruído, pois esse tipo de entidade sempre se conserva, como dizemos que Sócrates nem surge no sentido absoluto quando se torna belo ou musical, nem deixa de existir quando perde essas características, pois Sócrates, o próprio substrato, permanece. Assim eles dizem que nada surge nem cessa de existir; pois deve existir alguma entidade - uma ou mais de uma - da qual surgem todas as coisas, e ela se conserva³.

Era nesse sentido, de um substrato imutável, que os pré-socráticos propuseram como princípio de tudo a água (Tales), o "apeiron" (Anaximandros) ou os quatro elementos (Empedocles).

Embora Aristóteles não concorde com os pré-socráticos, admite a existência desse tipo de substrato imutável em todas as transformações - a causa material. Este é um dos quatro tipos de causas admitidas por Aristóteles:

Evidentemente, temos que adquirir conhecimento das causas originais... e fala-se sobre causas em quatro sentidos. Em um deles queremos dizer a substância, isto é, a essência...; em outro, a matéria ou substrato; em um terceiro, a fonte de mudança; e em um quarto a causa oposta a isto: o propósito e o bem...⁴

Essa "matéria ou substrato" é aquilo que permanece constante quando algo se transforma. Tal concepção não é o resultado de observações ou de experimentos: é apriorística, sendo necessária, como tentará mostrar Kant muitos séculos depois.

Tanto na "Física" quanto na "Metafísica", Aristóteles explica a causa material através de exemplos bem conhecidos que não permitem dúvidas sobre seu significado:

"Causa" significa aquilo de que uma coisa surge e que persiste imanente nela, como o bronze é a causa da estátua e a prata da molheira - e também os gêneros de que o bronze e a prata são espécies...⁵

*As letras são as causas das sílabas, o material é a causa dos produtos manufaturados, o fogo e a terra e coisas semelhantes são as causas dos corpos, as partes são causas do todo e as premissas da conclusão, no sentido de aquilo de que essas coisas são feitas*⁶.

A matéria ou substrato de que cada coisa é feita é algo imutável. Essa é uma fórmula perfeitamente aceitável por praticamente qualquer filósofo da Antiguidade. No entanto, essa concepção não implica diretamente na idéia de conservação do peso ou massa. A idéia de quantificação da quantidade de matéria não parece estar presente em Aristóteles, por exemplo. Podemos sim, localizá-la na Antiguidade; mas apenas em outros autores.

2.2. Os atomistas

A formulação antiga mais próxima da moderna lei da conservação da massa nas transformações naturais encontra-se na obra "De rerum natura" do atomista Lucretius. Primeiramente, ele afirma que nada pode ser criado do nada nem ser destruído de forma absoluta; mas algo deve permanecer constante, subjacente a todas as transformações⁷. O que permanece quando algo parece ser destruído? Seus átomos, que são eternos, increados, indestrutíveis. Todos os átomos possuem peso e o que caracteriza um material mais "leve" (menos denso) do que outro é que ele contém maior quantidade de espaços vazios em seu interior - isto é, seus átomos não estão preenchendo todo o espaço⁸. Se os átomos possuem peso, se eles são imutáveis e se o peso dos corpos é devido ao peso de seus átomos, segue-se necessariamente que o peso de um sistema fechado deve ser constante, ou seja, o peso pode passar de um corpo para outro, mas não pode aumentar nem diminuir sem a entrada ou saída de matéria (ou átomos). No entanto, essa consequência lógica não aparece explicitamente em Lucretius.

Meyerson especula que talvez outros atomistas já tivessem discutido o assunto; e assinala um claro testemunho antigo de que em algumas escolas filosóficas da Antiguidade já se ensinava a conservação do peso nas transformações:

Uma curiosa passagem de um tratado atribuído a Luciano⁹ o atesta: "Se eu queimo mil 'minas'¹⁰ de madeira, Demonax, quantas 'minas' de fumaça haverá?" - "Pese a cinza, disse ele; a fumaça que se quer é o resto"¹¹.

Note-se que não há, aqui, qualquer argumento defendendo a conservação do peso: há apenas o uso, implícito, dessa conservação, já que se afirma que o peso da fumaça é a diferença entre o peso da madeira e o peso das cinzas.

2.3. Oscilações de opinião

Havia, portanto, uma antiga concepção sobre a constância da matéria e até mesmo indícios de crença na conservação da massa ou do peso. Mas qual era a **fundamentação** dessas opiniões? Certamente elas não se baseavam em experimentos controlados. Provinham de concepções vagas, do "bom senso" - mas podiam ser aceitas ou não por outros pensadores. Por isso mesmo, houve muita oscilação das opiniões, a favor ou contra a conservação do peso nas transformações da matéria.

Seria difícil e longo fazer um histórico das concepções sobre conservação ou mudança de peso da Antiguidade a Lavoisier. Os interessados poderão consultar a obra já citada de Meyerson. Indicaremos apenas alguns poucos episódios típicos citados por esse autor.

Geber afirma que o chumbo e o estanho mudam de peso nas operações alquímicas; Francis Bacon aceita a possibilidade de alteração de peso nas mudanças de estado dos corpos; René Descartes considera que o peso é um mero acidente dos corpos e que ele poderia não ser constante. Paralelamente, Nicolau de Cusa admite implicitamente, em um argumento

sobre o crescimento das plantas, a conservação do peso; Jean Rey, contemporâneo de Descartes, afirma claramente a constância do peso e começa a considerar o peso do "ar" (oxigênio) que se une ou separa dos corpos como causa de suas variações de peso; um pouco antes de Lavoisier, Immanuel Kant reafirma, como princípio filosófico "a priori", a conservação do peso da matéria. Os casos mais interessantes para nós são os dos autores que afirmam a conservação do peso, pois nesse caso podemos procurar verificar a existência de uma fundamentação empírica desse princípio.

2.4. O crescimento dos vegetais e a transformação de água em terra

Segundo Meyerson¹², Nicolau de Cusa foi o primeiro a realizar um famoso experimento. Para demonstrar que uma planta tira sua matéria principalmente da água, pesou uma quantidade de terra em um pote, colocou na terra algumas sementes, regou-as e, depois do crescimento dos vegetais, retirou-os da terra. Pesando novamente o vaso e a terra, notou que o peso era praticamente o mesmo e que, portanto, a matéria dos vegetais não podia ter provindo da terra. Concluiu que o crescimento das plantas se dava pela transformação da água em terra.

A preocupação de Nicolau de Cusa não é a conservação do peso; mas pode-se perceber facilmente que ele utiliza, implicitamente, esse princípio em seu argumento. Pois, se o peso não se conservasse nas transformações, seria possível alegar que uma parte ínfima da terra do vaso se transformou na matéria do vegetal e, ao fazê-lo, aumentou de peso. Somente se admitirmos que o peso se conserva é possível concluir que a matéria dos vegetais não pode ter vindo da terra.

Esse famoso experimento foi muitas vezes repetido, tendo sido objeto de análise por Lavoisier. Ignorando o trabalho anterior de Nicolau de Cusa, ele atribui a Van Helmont o primeiro teste desse tipo. Segundo Lavoisier informa em seu artigo¹³, Van Helmont colocou em um vaso de argila 200 libras de terra que havia antes secado ao forno; em seguida, umideceu-a e plantou um ramo de salgueiro com o peso de 5 libras; após cinco anos, a árvore crescida desse ramo pesava 169 libras e 3 onças. Retirando a árvore da terra, secando-a e pesando-a, observou apenas uma redução de peso de 2 onças da terra. Atribuiu, assim, as 164 libras de aumento de peso do vegetal à água, que teria se transformado em material sólido.

Testes semelhantes foram feitos por R. Boyle e outros - algumas vezes, fazendo o vegetal crescer exclusivamente na água, sem nenhuma terra. Em todos os casos, aparece o uso inconsciente do mesmo princípio: se o peso do vegetal não é igual à redução do peso da terra, esse excesso de peso veio de fora, de alguma outra matéria - seja a água ou qualquer outra coisa.

No caso de van Helmont, esse princípio parece ter sido bastante claro. Ele faz uso freqüente de pesagens, e afirma que "nada vem do nada, portanto o peso é feito de outro corpo de igual peso no qual há um tipo de transmutação da matéria"¹⁴.

2.5. Jean Rey e a conservação do peso

Embora não tão popular quanto outros cientistas, Jean Rey é bem conhecido entre os historiadores da ciência como um predecessor de Lavoisier quanto à sua concepção da combinação do "ar" com os metais e como um dos primeiros a pensar sobre a pressão atmosférica e o peso do ar¹⁵. Ele apresenta uma curiosa tentativa de demonstração "a priori" de que o peso não pode se alterar nas transformações - por exemplo, na conversão da terra em água:

Tome-se uma porção de terra que tenha o menor peso que possa existir (la moindre pesanteur qui puisse estre) e abaixo da qual não pudesse subsistir; converta-se essa terra em água, pelos modos conhecidos e praticados pela natureza: é evidente que essa água terá peso, pois toda

água deve tê-lo; ora, ela será ou maior do que a da terra, ou menor, ou igual. Que seja maior eles não o dirão (pois ensinam o contrário) e também eu não o pretendo; menor, ela não pode, pois tomei a menor que poderia existir; resta portanto que ela é igual, que é o que eu pretendia provar¹⁶.

O argumento de Rey é fraco, baseando-se em um jogo de palavras e na suposição de que se pode falar no “menor peso que possa existir”. No entanto, pode-se dizer que ele enuncia com muita clareza a própria idéia de conservação do peso:

Sustento que o peso está tão unido à matéria prima dos elementos que ela não pode ser privada dele. O peso que cada porção dela toma em seu berço, ela o levará até o seu ataúde. Em qualquer lugar, sob qualquer forma, a qualquer volume que seja reduzida, ela terá sempre um mesmo peso¹⁷.

2.6. Kant e a constância do peso

Immanuel Kant, na sua “Crítica da razão pura” (1781) e em outras obras afirma claramente o princípio da conservação da matéria (ou da substância):

Primeira analogia - Princípio da permanência da substância

- Em todas as mudanças dos fenômenos, a substância é permanente e sua quantidade na natureza não aumenta nem diminui¹⁸.

A justificativa que Kant dá para esse princípio é, evidentemente, filosófica. Toda percepção das mudanças sucessivas na natureza pressupõem a existência de algo que está mudando. Este “algo” que sofre mudanças é, em si mesmo, imutável - pois, se tudo mudasse, não haveria uma continuidade na sucessão dos fenômenos. Esse substrato imutável das mudanças é uma condição necessária para podermos pensar sobre a transformação.

Kant assinala que não apenas os filósofos, mas também o senso comum, sempre sustentaram a existência desse substrato permanente; mas que nunca se tentou provar sua existência.

Como exemplo de aplicação desse princípio, Kant fornece, sem indicar a fonte, exatamente o mesmo caso discutido acima (2.2) do peso da fumaça. “Perguntou-se a um filósofo: ‘qual é o peso da fumaça?’ e ele respondeu: ‘Subtraia do peso da madeira queimada o peso das cinzas remanescentes e você terá o peso da fumaça.’ Assim, ele presumiu como incontrovertível que mesmo no fogo a matéria (substância) não perece, mas apenas a sua forma sofre mudança¹⁹.

Há uma considerável distância entre o princípio geral de conservação da matéria (que Aristóteles aceitava) e o princípio de conservação da massa ou peso (alheio ao pensamento de Aristóteles). Só se pode passar de um ao outro, em um argumento filosófico como o de Kant, se o peso ou massa for uma propriedade necessária da matéria. Ora, para Aristóteles, esse passo não pode ser dado, porque ele não tem o conceito de massa (no sentido de inércia) e não considera o peso como uma propriedade essencial da matéria: ele acredita na existência de substâncias que não possuem peso e sim “leveza”, como o fogo. Mas, para Kant, que é um seguidor e admirador de Newton, a “quantidade de matéria” é necessariamente a massa; e, a ela, está associado sempre o peso (devido à atração gravitacional). Uma matéria sem peso seria, segundo Kant, uma “matéria imaterial, ou seja, um conceito contraditório em si²⁰.

O argumento mais detalhado de Kant é apresentado em sua obra de 1786, os “Primeiros princípios metafísicos da ciência da natureza”. No capítulo 3, intitulado “Primeiros princípios metafísicos da mecânica”, aparece como “primeira lei da mecânica”: “Em todas as modificações da natureza corporal, a quantidade de matéria permanece a mesma no conjunto, sem aumento nem diminuição²¹. Ele assinala que a metafísica

proporciona o princípio fundamental de que, em todas as modificações da natureza, nenhuma substância pode ser criada nem perdida; mas que é preciso mostrar o que caracteriza a substância, na matéria. Como, anteriormente, ele havia caracterizado a matéria como um conjunto de partículas e medido esse conjunto de partículas por sua massa, torna-se imediato passar da idéia geral de conservação de substância para a conservação de massa. Essa massa, como fica claro na exposição de Kant, é aquela que atualmente se denomina “massa inercial”, determinada a partir da quantidade de movimento do corpo, dividido pela sua velocidade. No entanto, ele observa que também a atração gravitacional pode proporcionar uma medida da quantidade de matéria, pois através dessa “atração primordial” cada parte da matéria age imediatamente com todas as suas partes sobre as de outra matéria e sua ação é, portanto, proporcional ao número de partículas²².

2.7. A questão empírica: observa-se a constância do peso?

O princípio da conservação da massa é, como bem o sabemos, algo que pode ser testado experimentalmente. Pode-se tomar um corpo, submetê-lo a transformações (queimando, reagindo com outras substâncias, etc.) e verificar se o peso inicial é igual ou não ao peso final.

Em princípio, pode-se tomar um pedaço de madeira, pesá-lo, depois colocar-lhe fogo, pesar a cinza e pesar a “fumaça” (o conjunto de gases e partículas que se desprendem da madeira ao se queimar). Mas isso não havia sido feito - e, se fosse feito, seria verificado que o peso final é maior do que o peso inicial.

Sob o ponto de vista empírico, observava-se que o peso das substâncias que reagiam podia diferir significativamente do peso dos produtos. Como, até o final do século XVIII, não se compreendia o papel dos gases nas reações químicas, parecia que essas transformações - às vezes provocadas por simples aquecimento - podiam alterar o peso das substâncias. A lei da conservação da massa não podia, portanto, ser estabelecida de forma adequada e fundamentada experimentalmente antes do conhecimento do papel dos gases (e, particularmente, do oxigênio) nas reações químicas, bem como do uso de recipientes fechados para as reações (ou seja, do trabalho em sistemas isolados) e de métodos quantitativos cuidadosos. Todas essas condições apenas se tornaram presentes na época de Lavoisier e é, portanto, “lógico” atribuir-lhe a prioridade no estabelecimento empírico desse princípio. Curiosamente, no entanto, isso não ocorreu.

3. A CONTRIBUIÇÃO DE LAVOISIER

Embora se atribua a Lavoisier²³ o estabelecimento da lei da conservação da massa nas reações químicas, deve-se dizer, mais corretamente, que ele *pressupõe* em seus trabalhos a validade desta lei, como será mostrado a seguir.

A obra de Lavoisier em que ele apresenta de forma sistemática suas concepções é o “*Traité élémentaire de chimie*”²⁴, de 1789. Em seu prefácio, Lavoisier se vangloria de estar utilizando um novo estilo, por partir das coisas mais simples, sem nada pressupor como conhecido.

Assim como na criança a idéia é um efeito da sensação, que é a sensação que faz nascer a idéia, da mesma forma também, para aquele que começa a se dedicar ao estudo das ciências físicas, as idéias devem ser uma consequência, devem seguir-se imediatamente de uma experiência ou de uma observação²⁵.

E, após comentar as fontes de erro na ciência, Lavoisier continua:

O único meio de prevenir esses enganos consiste em suprimir, ou pelo menos simplificar, tanto quanto possível,

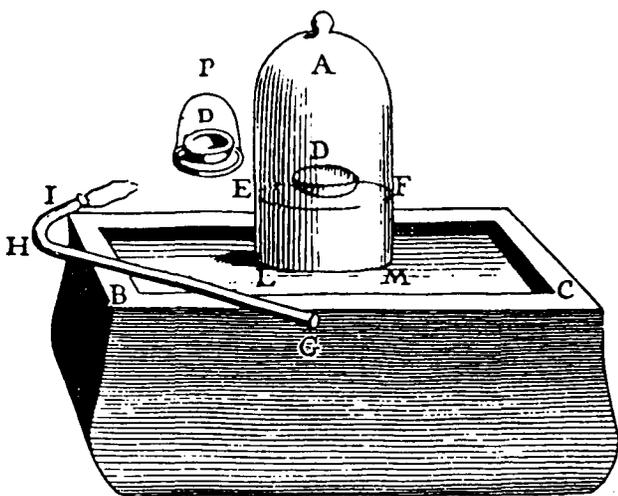
o raciocínio que está em nós e que é o único que pode nos desviar; em colocá-lo continuamente sob a prova da experiência; em só conservar os fatos que sejam apenas dados da natureza e que não possam nos enganar; em não procurar a verdade senão no encadeamento natural das experiências e observações, da mesma maneira que os matemáticos chegam à solução de um problema pelo simples arranjo dos dados e reduzindo o raciocínio a operações tão simples, a julgamentos tão curtos, que não perdem jamais de vista a evidência que lhes serve por guia. Convencido dessas verdades, impus a mim mesmo, a lei de nunca avançar senão daquilo que é conhecido para o que é desconhecido, de nunca deduzir qualquer consequência que não seja diretamente derivada das experiências e das observações, e de sempre encadear os fatos e as verdades químicas na ordem mais própria para facilitar a sua compreensão para os iniciantes²⁶.

Deveríamos esperar encontrar nessa obra uma clara exposição e justificativa experimental do princípio de conservação das massas nas reações químicas. No entanto, é em vão que se examina cada uma de suas páginas em busca dessa exposição. Ela não existe.

Isso não quer dizer que a idéia de conservação da massa (ou do peso) não aparece no livro; ela aparece de forma casual, em um ponto ou outro, como algo bem sabido e que não precisa ser discutido em detalhe. Ou seja: ele não segue a promessa do prefácio. Vejamos um exemplo:

3.1. A queima do fósforo

No capítulo 5 da primeira parte do "Tratado", Lavoisier estuda a queima de fósforo em um recipiente fechado, medindo a quantidade de oxigênio consumida e determinando as proporções em que esses elementos se combinam. O dispositivo utilizado está representado na Fig. 1.²⁷



A quantidade de oxigênio é determinada a partir de seu volume: em um primeiro teste, houve o consumo de 138 3/4 de polegadas cúbicas de oxigênio, correspondendo a 69,375 grãos de oxigênio²⁸. Foram utilizados 61 1/4 de grãos de fósforo, dos quais 16 1/4 não foram consumidos na combustão. Portanto, a parcela de fósforo que foi queimada correspondeu a 45 grãos. Lavoisier conclui:

Assim, nesta operação, 45 grãos de fósforo se combinaram a 69,375 grãos de oxigênio; e como nada dotado de peso passa através do vidro, temos o direito de concluir que o peso da substância resultante da combustão, sob a forma de flocos brancos, deve ser igual à soma dos pesos do oxigênio

e do fósforo empregados, ou seja, a 114,375 grãos²⁹.

Note-se que Lavoisier está aqui **pressupondo** que "nada dotado de peso passa através do vidro". Mas ele não indica qual o fundamento dessa suposição.

Nesse experimento, Lavoisier não é capaz de medir o peso dos flocos que são formados e comenta:

Embora este experimento seja perfeitamente conclusivo, não é suficientemente rigoroso; de fato, no aparelho empregado e que acabei de descrever, é impossível verificar o peso dos flocos brancos ou do ácido sólido que se formam; só se pode concluí-los através do cálculo e supondo-o igual à soma dos pesos do oxigênio e do fósforo; ora, por mais evidente que seja essa conclusão, não é jamais permitido, na física ou na química, supor aquilo que pode ser determinado por experiências diretas. Pensei portanto que deveria repetir este experimento em maior escala e com um aparelho diferente³⁰.

E, depois, de descrever o novo experimento (para o qual, no entanto, não fornece dados numéricos), conclui:

Este experimento me deu quase os mesmos resultados que o anterior: dele também resultou que o fósforo, ao queimar, absorveu um pouco mais do que uma vez e meia seu peso em oxigênio; e adquiri, além disso, a certeza de que o peso da nova substância produzida era igual à soma dos pesos do fósforo queimado e do oxigênio absorvido, o que era, aliás, fácil de prever a priori³¹.

Este exemplo - o primeiro ponto, no "Tratado elementar de química", onde Lavoisier utiliza o princípio da conservação do peso nas reações químicas - mostra várias coisas interessantes. Lavoisier não se dá ao trabalho de apresentar explicitamente nem de justificar essa lei; ele a usa como algo bem conhecido, banal. Ainda mais: ele não parece estar utilizando esse experimento para justificá-lo nem parece acreditar que seja muito importante um teste experimental: "era fácil de prever a priori", ou seja, sem se fazer qualquer teste. Da mesma forma, na memória original, de 1777, que Lavoisier estuda a combustão do fósforo, não se encontra nenhuma observação relevante sobre a lei da conservação da massa nas reações químicas³².

3.2. A queima do álcool

Em outros pontos da obra, Lavoisier se comporta de modo semelhante. No capítulo 8, quarto experimento, ao discutir a composição da água, ele afirma:

Terminarei este capítulo por um experimento muito menos demonstrativo do que os já relatados, mas que parece impressionar mais do que os outros a muitas pessoas. Quando 16 onças³³ de álcool são queimadas em um aparelho adaptado de modo a recolher toda a água liberada durante a combustão, obtemos de 17 a 18 onças de água. Ora, nenhuma matéria pode fornecer em uma experiência nada além de seu peso total; segue-se daí que algo se uniu ao álcool durante sua combustão; e já mostrei que isso deve ser oxigênio, ou a base do ar³⁴.

Como muito bem assinala Meyerson³⁵, a observação acima é introduzida de passagem, sem nenhuma discussão, como se todos desvessem conhecer e aceitar o princípio da conservação do peso.

3.3. Fermentação

A expressão mais clara do princípio da conservação do peso nas reações químicas aparece no capítulo 13 da obra de Lavoisier, onde ele trata da fermentação e dos gases produzidos pela mesma.

Devemos examinar de onde provém o ácido carbônico que se desprende e o líquido inflamável produzido e de que modo um óxido vegetal doce se torna assim convertido em duas substâncias tão opostas, das quais uma é combustível e a outra é exatamente o oposto. Vê-se que, para chegar à solução dessas duas questões, é necessário antes conhecer a análise e a natureza do corpo suscetível de fermentação e dos produtos da fermentação; pois nada se cria, nem nas operações da arte, nem nas da natureza, e pode-se colocar como princípio que, em toda operação, existe uma quantidade de matéria igual antes e depois da operação; que a qualidade e a quantidade dos princípios é a mesma e que nada ocorre além de trocas e mudanças [na combinação dos elementos]. É sobre esse princípio que se fundamenta toda a arte de realizar experimentos em química: somos obrigados a supor em todos uma verdadeira igualdade ou equação entre os princípios do corpo examinado e os dele retirados pela análise³⁶.

Qual a base deste princípio? Em que ele se fundamenta? Não há qualquer sugestão, aqui, de que Lavoisier o atribua a algum estudo experimental. Pelo contrário: é um princípio que precisa ser pressuposto nos experimentos e que portanto parece ser algo que ultrapassa toda experiência.

A aplicação que, logo em seguida, Lavoisier faz dessa lei, em sua obra, mostra que ele não se preocupa muito com sua verificação experimental. Ele descreve quantitativamente o processo de fermentação de água açucarada, dando os pesos de todos os constituintes e produtos da fermentação de modo "exato": inicialmente, utiliza 510 libras, 0 onças, 0 grosas, 0 grãos dos reagentes e acaba por obter 510 libras, 0 onças, 0 grosas, 0 grãos de produtos. Se esses números fossem o resultado de medidas, eles indicariam uma precisão de um grão (0,059 g) em um total de 510 libras (cerca de 230 kg), ou de uma parte em 4 milhões! Qualquer pessoa que tenha uma familiaridade mínima com o trabalho de laboratório sabe que não se atinge, mesmo atualmente, tal precisão em experimentos químicos. O próprio Lavoisier confessa que não está realmente indicando valores de medidas: "Embora, nesses resultados, eu tenha levado a precisão dos cálculos até os grãos, esse gênero de experimentos não pode comportar uma exatidão tão grande assim;..." - ou seja: ele **calculou** os resultados indicados. E esses cálculos, como ele explica no final do mesmo capítulo, servem às vezes para **corrigir** os resultados experimentais:

... como já indiquei no início deste artigo, posso considerar as matérias submetidas à fermentação e o resultado obtido após a fermentação como uma equação algébrica; e, supondo sucessivamente cada um dos elementos desta equação como desconhecido, posso daí tirar um valor e assim corrigir a experiência pelo cálculo, e o cálculo pela experiência. Eu freqüentemente aproveitei este método para corrigir os primeiros resultados de meus experimentos e para me guiar nas precauções a serem tomadas para repeti-los...³⁷

Comparando essa passagem com a memória original em que Lavoisier estuda a fermentação³⁸, encontra-se um trecho em que ele afirma:

É claro que, se eu quisesse fazer o cálculo exato das quantidades, eu seria obrigado a supor que o peso das matérias empregadas era o mesmo antes e depois da operação, e que apenas se havia operado uma mudança ou modificação. Fiz portanto uma equação mental na qual as matérias existentes antes da operação formavam o primeiro membro, e as obtidas depois da operação formavam o segundo...

Lavoisier afirma que foi "obrigado a supor" a constância do peso; ou seja: isso é um pressuposto necessário e não uma consequência das observações.

Em nenhum ponto do "Tratado", Lavoisier utiliza qualquer

experimento para justificar ou fundamentar a chamada "lei de Lavoisier". Ele simplesmente a usa. Poderíamos conjecturar que, talvez, essa justificativa ou fundamentação se encontrasse em algum outro trabalho que ele tivesse publicado antes do "Tratado". Mas isso não ocorreu. Pode-se mostrar que, desde os seus primeiros trabalhos publicados, Lavoisier utiliza o princípio da conservação do peso nas reações químicas como algo bem conhecido e que não precisa ser discutido nem testado. Portanto, ou ele imaginava que alguma outra pessoa já havia testado e fundamentado essa lei, antes dele; ou então pensava que essa lei nem precisava ser testada, sendo um princípio "a priori" - como o próprio Kant afirmava.

Vejamos dois dos primeiros trabalhos de Lavoisier, onde se pode notar claramente esse seu uso do princípio.

3.4. A transformação da água em terra

Em uma de suas primeiras publicações³⁹, Lavoisier investiga a possibilidade de transformar água em terra pelo calor, por fervura prolongada em um recipiente fechado.

O ponto de partida de Lavoisier, neste trabalho, foi a descrição de experimentos de autores anteriores que afirmavam ter observado o surgimento de sólidos (terra) pela fervura prolongada da água. No século XVII, Borrichius e Boyle realizaram destilações sucessivas de água aparentemente pura e obtiveram quantidades significativas de um pó insolúvel em água. A quantidade dessa "terra" parecia aumentar indefinidamente, à medida que a destilação era repetida. Alguns autores posteriores, como Boerhaave, haviam questionado esses resultados, mas outros, no século XVIII, o confirmaram: Lavoisier cita entre estes Geoffroi, Margraff, Eller. Tentou-se explicar o fenômeno como devido a poeira vinda do ar ou a sólidos que já estavam dissolvidos na água antes da destilação, mas essas hipóteses não explicavam como, em cada destilação sucessiva, aparecia novamente mais "terra".

Para estudar a questão, Lavoisier coleta inicialmente uma certa quantidade de água de chuva. Essa água é recolhida em bacias de vidro e de porcelana, bem lavadas com a própria água da chuva; e a água é recolhida longe de árvores e prédios - e apenas depois de algum tempo do início da chuva, para evitar a presença de poeira que seria arrastada pela chuva em seu início. Lavoisier submete esta água a sucessivas destilações "em um alambique de vidro branco, que não havia ainda sido usado". Antes e após cada uma das destilações, determina a densidade da água por meio de um areômetro⁴⁰, para verificar se a água estava se modificando nessas operações.

Reuni cuidadosamente toda essa água e a submeti a uma nova destilação: depois dessa segunda, fiz uma terceira, uma quarta, etc. e continuei assim até a oitava. O resultado dessas operações se encontra exposto, com todo detalhe, na tabela colocada no fim desta memória. Ao fim de cada destilação, não deixei de determinar o peso específico da água que havia passado para o recipiente [onde era recolhida a água após a destilação], mas vi com surpresa que, embora em cada operação se separasse uma quantidade bastante considerável de terra, o peso específico não diminuía sensivelmente, ou, pelo menos, que não diminuía na mesma proporção da quantidade de terra que eu retirava⁴¹.

Lavoisier tinha a expectativa de que cada destilação separasse a "terra" da água: a água destilada deveria ser uma água mais pura e de menor densidade (por ter menor quantidade de substâncias dissolvidas), assim como, ao se evaporar a água do mar, o sal fica retido e a água evaporada não contém sal. Por isso, ele esperava que a densidade da água diminuísse após cada destilação.

Para investigar melhor a origem dessa "terra", Lavoisier decide realizar a mesma experiência em recipiente fechado

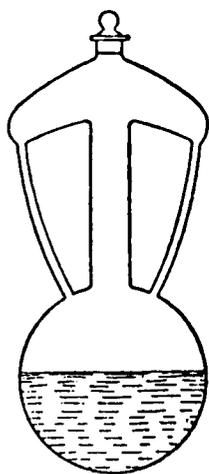
hermeticamente, medindo cuidadosamente a massa da água e do recipiente. Sua expectativa era que, se a água estivesse se transformando em terra pelo efeito do fogo utilizado na destilação, ocorreria um aumento do peso total do sistema:

... Se fosse a matéria do fogo que passasse através do vidro e se combinasse com a água, deveria necessariamente ser encontrado, após um grande número de destilações, um aumento de peso total das matérias, ou seja, no peso reunido da água, da terra e do recipiente. Os físicos sabem, de fato, que a matéria do fogo aumenta o peso dos corpos com os quais ele se combina.

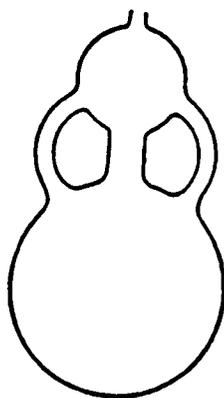
A mesma coisa não deveria acontecer se a terra se formasse às custas da água ou do recipiente; dever-se-ia necessariamente encontrar nesse caso uma redução de peso em uma ou outra dessas substâncias e essa diminuição deveria ser exatamente igual à quantidade de terra separada⁴².

É preciso lembrar que, nesta época, Lavoisier pensava - como quase todos - que o fogo era um tipo de matéria; que ele podia se combinar com outras substâncias; e que na calcinação dos metais o aumento de peso observado provinha exatamente dessa adição de fogo ao material inicial. Mais adiante, esse fenômeno da calcinação será também discutido.

Para realizar as destilações sucessivas em um sistema fechado, Lavoisier utiliza um instrumento antigo: o "pelicano" dos alquimistas. Trata-se de um aparelho cujo desenho não aparece nas obras de Lavoisier, mas que, através de sua descrição, deve ter tido uma forma como a indicada na Fig. 2.⁴³



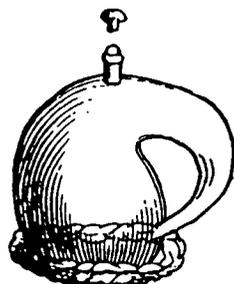
(a)



(b)



(c)



(d)

O "pelicano" é um alambique de vidro no qual o bico longo, ao invés de conduzir o líquido destilado a um outro recipiente, é recurvado e entra na própria "barriga" do pelicano, novamente. Ele produz, assim, uma contínua e repetida destilação do mesmo líquido, que se evapora, condensa e retorna ao aparelho. Seu funcionamento é semelhante a um sistema moderno de refluxo. Um texto alquímico descreve o aparelho como servindo para a "... circulação dos espíritos ou destilação circular, ou seja, de fora para dentro e de dentro para fora; do mesmo modo, o inferior e superior, unindo-se em um círculo, de modo que você não poderá mais reconhecer o que é exterior ou interior, inferior ou superior: mas todos são um, em um círculo ou vaso. Este vaso é o verdadeiro Pelicano Filosófico e não se deve buscar nenhum outro no mundo todo"⁴⁴.

É curioso indicar aqui a origem do nome desse instrumento. Uma antiga mitologia, presente na Bíblia, incorporada aos bestiários medievais e empregada fartamente no simbolismo alquímico, ensinava que o pelicano era tão devotado aos seus filhotes que, quando havia falta de comida para alimentá-los, perfurava com seu bico o próprio peito, para que os filhotes pudessem beber seu sangue. O pelicano era, assim, um símbolo de sacrifício: e servia, entre outras coisas, para representar Cristo. A forma do "pelicano" de vidro lembrava muito bem a figura mitológica do pelicano bicando seu próprio corpo. A Fig. 3, extraída do "Rosarium philosophorum", representa o pelicano lendário⁴⁵.



ÆNIGMA REGIS.

Lavoisier lava e seca um "pelicano" novo e depois o pesa, obtendo o valor de 1 libra, 10 onças, 7 grosas e 21,50 grãos. Coloca então em seu interior a água que havia sido destilada 8 vezes, aquece o conjunto para expulsar o ar (a fim de evitar que o sistema se rompa, por sua dilatação posterior), fecha a abertura superior do pelicano e pesa o conjunto. Obtém um peso total de 5 libras, 9 onças, 4 grosas e 41,50 grãos, concluindo que a água colocada no recipiente possuía um peso de 3 libras, 14 onças, 5 grosas e 20,00 grãos. Depois, tendo vedado perfeitamente o sistema, Lavoisier o aquece em um banho de

areia, com fogo contínuo, durante 101 dias. Mais de um mês após o início do experimento, Lavoisier começou a notar no interior do pelicano pequenas partículas sólidas, que aumentaram gradualmente nos dias seguintes. Ao final de mais de três meses, tendo notado o surgimento de grande quantidade de "terra" e temeroso de que o recipiente pudesse sofrer algum acidente, Lavoisier interrompeu o experimento. Após resfriar o pelicano, ele o pesa, sem abrir, encontrando o valor de 5 libras, 9 onças, 4 grosas e 41 e 3/4 de grãos, ou seja, um aumento de peso de apenas 1/4 de grão em relação ao peso inicial. Essa diferença é considerada insignificante, por Lavoisier, pois a precisão da balança utilizada não era tão grande que pudesse detectar com segurança diferenças como essa. Ele conclui:

Como não se encontrou nenhum aumento no peso total das matérias, era natural concluir a partir daí que não fora a matéria do fogo, nem qualquer outro corpo exterior, que penetrara a substância do vidro e se combinara com a água para formar a terra; restava determinar se a terra devia sua origem à destruição de uma parte de água, ou à do vidro. Nada era mais fácil de decidir, após as precauções que eu havia tomado; bastava, de fato, determinar se era o peso do recipiente ou o da água que havia sofrido diminuição.

Ou seja: ele implicitamente admite que, se nada penetrou através do vidro, o peso total deve ser constante; e, inversamente, que se o peso permaneceu constante nada dotado de peso penetrou no sistema. É claro que, para alguém que não admita a lei da conservação da massa, o experimento é inconclusivo, pois poderia ocorrer que, ao mesmo tempo, a água se transformasse em terra pela combinação do fogo e que o fogo tivesse peso, mas que o peso total ficasse praticamente constante, "por coincidência", por ter havido uma redução do peso dos componentes durante o processo. Portanto, já neste antigo experimento, Lavoisier está **utilizando**, sem colocar em dúvida, o princípio de conservação de peso.

No prosseguimento do artigo de Lavoisier, isso fica ainda mais claro. Após concluir que nada entrou nem saiu do recipiente, ele vai tentar determinar se a "terra" provém da água ou do recipiente. Abre o pelicano, separa a água, a "terra" e seca o aparelho. Ao pesá-lo, verifica uma redução de peso de 17,4 grãos. Pesa a terra formada e obtém apenas 4,9 grãos. Conclui que a água deve conter ainda, dissolvida, uma certa quantidade de terra. Está, novamente, supondo que o peso não pode ter sofrido alteração nessa transformação. Destilando a água, Lavoisier obtém um resíduo sólido. Pesando-o, obtém o valor de 15,5 grãos e, portanto, a quantidade total de "terra" obtida é de 20,4 grãos. Há, portanto, um **excesso** de três grãos, que não se pode atribuir à matéria do pelicano⁴⁶. Novamente, Lavoisier supõe que não pode ter havido mudança de peso durante a transformação do material do pelicano na "terra". Vai, então, propor duas explicações "ad hoc" para a diferença observada: (1) o excesso de "terra" se deve à dissolução da matéria dos recipientes nos quais a água foi colocada após ser retirada do pelicano e na qual ela foi destilada; (2) a "terra" pode conter água combinada à mesma durante a cristalização.

A primeira explicação é muito fraca: a dissolução que poderia ocorrer, com a água já saturada após os 101 dias do primeiro experimento, seria desprezível. A segunda explicação seria fácil de testar: bastaria aquecer a "terra", pois a água de cristalização seria separada por esse processo. Pode-se pensar que a primeira crítica seria anacrônica e que Lavoisier não conhecia o fenômeno de saturação; mas ele fala explicitamente, nesse mesmo artigo, sobre isso. Portanto, Lavoisier **não consegue dar conta** da diferença de peso observada; mas nem chega a pensar na hipótese de que possa ter ocorrido uma variação de peso durante a transformação estudada.

É curioso também indicar que, para completar sua "prova"

de que a "terra" provém do vidro do pelicano, Lavoisier resolve fundir esse resíduo para transformá-lo novamente em vidro. Ocorre, porém, que o resíduo obtido não se funde:

Adicionarei ainda que essa terra ou é infusível ou, pelo menos, muito difícil de derreter; pois o fogo ao qual a submeti e que teria sido mais do que suficiente para fundir o vidro mais duro e mais refratário, nem mesmo a amoleceu. Admito que essa última circunstância formaria uma objeção bastante forte contra o que descrevi nesta memória, se fosse possível argumentar contra os fatos; pode-se objetar, realmente, que se essa terra não passa de uma porção de vidro dissolvido e recolhido pela evaporação, ela deveria conservar ainda a propriedade essencial que caracteriza o vidro, ou seja, a capacidade de ser fundido. Não consegui, até aqui, descobrir a razão desse fenômeno; ademais, como é importante não deixar nenhuma incerteza sobre as verdades fundamentais e sobretudo sobre aquelas que se referem à natureza dos elementos, estou determinado a repetir uma segunda vez a experiência da coação da água, por mais lenta e aborrecida que ela seja; ocupo-me com isso no momento em que essa memória é impressa e comunicarei incessantemente à academia o resultado que tiver obtido⁴⁷.

Jamais Lavoisier apresentou qualquer outro trabalho sobre o assunto. Embora sejamos tentados a aceitar que Lavoisier estava correto; que o pó provinha do vidro do pelicano; que por algum motivo desconhecido esse pó não podia ser derretido - apesar de essa parecer a melhor alternativa, é importante notar que Lavoisier não mostrou que essa é a única explicação; e que seria possível explicar os fatos de modo completamente diferente se abandonássemos a lei da conservação da massa.

Deve-se assinalar aqui que, na mesma época, independentemente de Lavoisier, o experimento foi também realizado por dois outros autores. Um deles foi H. T. Scheffer⁴⁸, cujo trabalho, realizado em torno de 1750, foi publicado apenas em 1775. Scheffer manteve um pelicano aquecido durante dois anos e observou que a quantidade de "terra" obtida parava de aumentar após um certo tempo. Ele atribuiu essa "terra" ao pó existente em fendas do pelicano e na dissolução de seu material; mas não realiza testes químicos nem pesagens.

O outro pesquisador foi K. G. Scheele. Ele tomou 1/4 de onça de neve destilada, colocou essa água em um matraz de vidro com bico fino, ferveu a água, tampou hermeticamente o matraz e depois o colocou sobre o fogo durante 12 dias e 12 noites. Após esse tempo, deixou que o matraz esfriasse, separando a água do pó, por decantação. Observou que o líquido produzia reações alcalinas, como o desprendimento de amônia quando misturado ao sal amoníaco, e tornava verde o suco de violetas (um antigo indicador ácido/base). Verificou que a "terra" se comportava como "terra vitrificável" (sílica), podendo ser fundida quando misturada com cal. Depois de secar completamente o matraz, notou que sua superfície interna, até a altura onde havia sido colocada a água, estava fosca, sem brilho. Concluiu que a "terra" havia provindo da decomposição do vidro pela água⁴⁹.

3.5. Os experimentos sobre calcinação do estanho e do chumbo

Para completar a análise do "episódio Lavoisier", vamos também comentar seus experimentos sobre a causa do aumento do peso dos metais aquecidos ao fogo - trabalho de grande importância, por mostrar o papel do ar (ou, mais exatamente, do oxigênio) nas reações químicas.

Neste seu trabalho⁵⁰, publicado em 1774, Lavoisier investiga um fenômeno conhecido desde muito tempo antes: vários metais, quando aquecidos, podem perder suas características

metálicas, transformando-se em um tipo de cal (daí o nome "calcinação"); e, nesse processo, o peso final é maior do que o peso inicial. O fenômeno é facilmente observado com o estanho e o chumbo, que se derretem a baixa temperatura e que, submetidos continuamente ao fogo, adquirem uma crosta semelhante à nata que se forma pela fervura do leite; essa crosta, quando retirada, forma-se novamente, e é constituída, como o sabemos hoje, por óxido metálico. Na época anterior a Lavoisier, imaginava-se que a transformação ocorria pela reação do metal com o fogo, pois ignorava-se o papel do ar em reações químicas.

Como já foi rapidamente indicado acima, Jean Rey havia estudado esse fenômeno em 1630 e havia concluído que o aumento do peso se devia ao "ar espessado" que se combinava com os metais. Mas é a Lavoisier que se atribui o esclarecimento definitivo do fenômeno⁵¹.

Descrevendo apenas os passos essenciais do trabalho, pode-se dizer que Lavoisier coloca uma certa quantidade de estanho metálico dentro de um balão de vidro e o pesa, obtendo 13 onças, 2 grosas e 2,50 grãos. Depois, aquece um pouco o balão (para expulsar parte do ar) e o fecha, pesando novamente o sistema. Observa uma redução de peso de 5,63 grãos (cerca de 365 mg), devida à saída do ar. Submete então o balão ao fogo e observa sua calcinação, até que ela parece estacionar. Pesa novamente o balão, ainda fechado, observando que seu peso sofreu uma redução de 0,27 grãos (cerca de 18 mg), que considera desprezível: "Esta diferença é tão pequena, que ela pode ser considerada como nula..."⁵². Ele conclui, como no caso anteriormente descrito, que a formação da cal de estanho não foi devida à sua combinação com o fogo, pois o peso total teria variado, se isso tivesse ocorrido. Depois, abrindo o recipiente e deixando que entre o ar exterior, observa um aumento de peso e procura mostrar que o aumento de peso do metal calcinado provém da parte do ar que se combinou com o mesmo. Como no caso da "transformação da água em terra", Lavoisier utiliza sempre, de forma implícita, o princípio de conservação de peso nas transformações químicas, sem justificá-lo nem colocá-lo em dúvida.

Note-se que, no caso destes experimentos de calcinação, o peso total é muito menor de que no caso dos experimentos com a água e a variação de peso que Lavoisier desprezou é significativa: 18mg, em um total de 370 g, correspondem a cerca de uma parte em 20.000 - e a balança de Lavoisier certamente tinha uma sensibilidade superior a essa. Ou seja: mesmo quando, nessas suas experiências, Lavoisier observa variações de peso, em recipiente fechado, superiores ao erro estimado do instrumento, ele prefere acreditar que cometeu algum engano, do que admitir uma alteração real do peso dos reagentes.

Lavoisier não é o único, nessa época, a estudar o fenômeno de calcinação de metais e a utilizar a lei de conservação do peso. De acordo com Partington, em 1763-4, Chardenon havia estudado o mesmo fenômeno e chegou a uma conclusão semelhante a Lavoisier. Nesse seu trabalho, Chardenon afirma que "... é um princípio geralmente adotado que o peso absoluto de um corpo não pode aumentar senão pela adição de novas partes de matéria. A lei dos contrários indica portanto que ele não se pode tornar mais leve a não ser pela subtração dessas mesmas partes"⁵³.

É curioso que nem tudo ocorre, nas experiências, de acordo com as previsões de Lavoisier. Embora no caso do estanho os resultados estivessem de acordo com o que ele esperava, o mesmo não ocorreu no caso do chumbo. Ele comenta, ao final do artigo: "Tentei repetir com o chumbo essas mesmas experiências que acabo de relatar sobre o estanho. Mas, como já disse, só conseguir realizar uma única experiência e ela apresenta resultados extraordinários, que me deixam na incerteza e que me levam a deixar de publicá-los"⁵⁴.

Encontra-se uma descrição de experimentos realizados por

Lavoisier com o chumbo, em seus "Opúsculos físicos e químicos". No entanto, esses experimentos são de **redução** do óxido de chumbo e não de calcinação. De qualquer forma, é interessante descrevê-los rapidamente⁵⁵. Ele toma 6 onças e 6 dracmas de "cal" de chumbo e, após a redução, obtém 5 onças, 7 dracmas e 66 grãos do metal. A redução de peso foi, portanto, de 6 dracmas e 6 grãos. A reação é realizada recolhendo-se o gás que se desprende. Lavoisier obtém 560 polegadas cúbicas do gás e estima seu peso: se sua densidade fosse igual à do ar, esse volume corresponderia a 3 dracmas e 41 grãos; no entanto, Lavoisier estima uma densidade um pouco superior à do ar (no caso, a densidade do oxigênio) e obtém 4 dracmas e 34 grãos. Há ainda uma diferença de 1 dracma e 44 grãos, ou 116 grãos. Como explicar essa diferença? Lavoisier observa gotículas líquidas no interior do recipiente e conjectura que poderia haver se formado um pouco de água. Faz novo experimento e recolhe a água formada, obtendo 24 grãos. Muito pouco para explicar a diferença observada. O que Lavoisier conclui? Que, provavelmente, a diferença de peso se deve à água formada que se dispersou em vapores, ou a uma maior densidade do "fluido elástico" (gás) formado. No entanto, ele **não verifica** essa explicação!

3.6. O peso do calor

Embora não teste o princípio de conservação do peso nas reações químicas, Lavoisier se dá ao trabalho de testar, com o auxílio de Laplace, uma outra hipótese essencial utilizada em todos os seus raciocínios: a de que o calor que entra ou sai dos sistemas, por ocasião das reações químicas, não altera seu peso. Esse estudo, datado de 1783, e que é pouco citado, é bastante interessante⁵⁶.

Neste trabalho, Lavoisier discute a mudança do peso do fósforo e do enxofre quando os mesmos são queimados. O aumento de peso é atribuído por Lavoisier à parte do ar (oxigênio) que se combina com o fósforo ou com o enxofre; mas ele discute também outra possibilidade: não poderia essa mudança de peso ser atribuída ao calor que escapa dessas substâncias quando elas são queimadas? Neste caso, o peso do calor deveria ser negativo, evidentemente. Para testar esta idéia, realiza o seguinte experimento: 8 grãos de fósforo são queimados em um frasco selado; o peso do frasco é o mesmo antes e depois da combustão (depois de esfriar). Lavoisier indica que a precisão da balança é de 1/4 de grão. Supondo que todo o fósforo tenha se queimado, este teste mostra que o peso da mudança devida ao calor era menor do que 1/32 (ou 3%) do peso total. Isso pode parecer um teste sem muito significado, mas era altamente relevante, no contexto considerado, pois as mudanças de peso do enxofre e do fósforo, quando queimados, podiam ser de até mais de 100%.

Após este teste químico, é feito um novo experimento puramente físico. Para testar se o calor tem algum peso, Lavoisier e Laplace investigaram se um frasco com água tinha seu peso alterado quando a água congelava. Através de medidas anteriores, eles haviam determinado que a queima de 92 grãos de fósforo era capaz de derreter uma libra de gelo, com o calor despreendido. Portanto, esse novo experimento (muito mais seguro do que a queima de uma grande quantidade de fósforo em um frasco fechado) podia ser comparado com as medidas de mudança de peso do fósforo na combustão.

O experimento do gelo foi realizado da seguinte maneira: um frasco de vidro foi enchido com uma libra de água, a uma temperatura inicial próxima à de seu ponto de congelamento. O frasco foi fechado hermeticamente e pesado. O frasco foi então colocado em uma mistura de neve e sal, até que a água congelasse. O frasco foi então pesado novamente. Depois, o gelo foi derretido e o processo repetido várias vezes. O relato do experimento indica que não se observou nenhuma alteração de peso. Como a precisão da balança é estimada em 1/10

de grão, e como uma libra corresponde a 9.126 grãos, a mudança de peso da água ao ser congelada ou fundida foi inferior a uma parte em 92.000 ou 0,0011%.

É interessante assinalar que Lavoisier, muito antes de seus experimentos, já possuía uma concepção prévia de que o fogo não pode alterar o peso dos corpos. Em um dos seus registros de laboratório, Lavoisier se refere a Buffon que "parece ter provado por experiências que ele considera conclusivas que a matéria do fogo pesa e que um corpo que atingiu a incandescência tem de 1/350 a 1/600 dele [de fogo] em sua massa" - mas afirma que Boerhaave já havia mostrado que uma barra de ferro incandescente não muda de peso⁵⁷. Assim, antes de seus experimentos sobre calcinação de metais Lavoisier já admitia que o fogo (ou calor) não altera o peso dos corpos, aceitando o testemunho de Boerhaave contra o de Buffon.

3.7. A fundamentação da lei da conservação do peso

Os exemplos que foram acima apresentados mostram que Lavoisier acreditava no princípio de conservação do peso e o utilizava, desde os seus primeiros trabalhos, sem nunca ter se ocupado com sua fundamentação. No entanto, embora Lavoisier não discuta diretamente a fundamentação do princípio de conservação da massa, pode-se tentar imaginar como ele tentaria fundamentá-lo, a partir de evidências indiretas.

Em torno de 1792, Lavoisier estava planejando uma nova versão do seu "Tratado elementar de química". Um manuscrito sem data, intitulado "Sur la manière d'enseigner la chimie", desta época, permite perceber que Lavoisier considerava seu livro incompleto e que desejava reformulá-lo completamente. Neste manuscrito⁵⁸, após várias considerações que não nos interessam aqui, Lavoisier indica que um curso de química deve começar pelo estudo das propriedades gerais da matéria. E inicia a seguinte descrição:

*A primeira e mais geral dessas propriedades é o peso. Todos os corpos pesam. Nossa experiência é quotidiana, nós o sentimos em todos os instantes*⁵⁹.

Depois de comentar sobre a universalidade da existência do peso e da atração gravitacional entre os corpos celestes, Lavoisier afirma:

*Sem nos elevarmos até essa altura que está além da esfera dos conhecimentos químicos, nós admitiremos aqui como verdade da experiência que todos os corpos da natureza se atraem na razão de suas massas e na razão inversa do quadrado de suas distâncias e que essa força existe não apenas nos corpos considerados em bloco, mas nas moléculas integrantes que entram em sua composição; de modo que as moléculas de um pedaço de mármore ou de qualquer outra matéria que seja exercem umas sobre as outras uma ação completamente semelhante às que as moléculas da Lua ou de qualquer outro planeta exercem umas sobre as outras*⁶⁰.

O manuscrito acaba abruptamente pouco depois deste ponto. Vê-se, no entanto, que Lavoisier considerava essencial, nessa nova versão do "Tratado", começar pela discussão do peso e da atração entre as moléculas do corpo. É bem possível que ele pretendesse discutir a lei da conservação do peso nas reações químicas e podemos conjecturar que ele procuraria fundamentar esse princípio através da Física, como Kant: já que a força gravitacional (que produz o peso) é exercida por cada partícula da matéria, individualmente; e como essas partículas não se alteram nas reações químicas, sofrendo apenas separações e reuniões, é plausível que suas forças gravitacionais não sejam alteradas por essas reações e que, portanto, o peso total dos reagentes, em uma reação química, não deve

sofrer alterações. Se Lavoisier pensava assim, é fácil compreender o motivo pelo qual ele nunca pensou em testar esse princípio: porque era uma consequência da lei da atração gravitacional, ou seja, era um princípio físico, que não precisava ser colocado em dúvida nem testado através de experimentos químicos. Pode-se pensar que descrever o princípio de conservação do peso nas reações químicas como um princípio físico seja uma distorção injustificável; mas, como vimos, Kant, nessa mesma época, dá exatamente essa denominação ao princípio.

4. O "PRINCÍPIO DE LAVOISIER"

Após tudo o que foi apresentado, pode-se perguntar: afinal, por que motivo se denomina a lei da conservação da massa nas reações químicas de "princípio de Lavoisier"? Afinal, ele não foi o primeiro a afirmá-lo nem procurou fundamentá-lo.

Não é difícil justificar este nome. Na verdade, pode-se considerá-lo justo. Como indica Ostwald⁶¹, Lavoisier não foi o primeiro a estabelecer a lei da conservação do peso nas reações químicas, mas reconheceu a importância dessa lei e a utilizou contra a teoria do flogístico. Metzger⁶² indica que Lavoisier nunca anunciou esse princípio como uma novidade, jamais o discutiu, mas foi o primeiro a utilizá-lo como base de toda a pesquisa e teoria química; após Lavoisier, todos os aceitam como uma verdade básica.

Até que ponto ficou claro, desde o início, para todos, que Lavoisier estava empregando um novo método? Aparentemente, desde o início de seus trabalhos. Em uma apreciação da obra de Lavoisier, feita por Horne e Fourcroy⁶³, eles dizem: "[Lavoisier] sentiu sobretudo que a arte de fazer experiências realmente úteis e de contribuir aos progressos da ciência analítica consistia em nada deixar escapar, tudo recolher, tudo pesar. É a essa idéia engenhosa, à qual são devidas todas as descobertas modernas..."

É, de fato, bastante marcante a diferença entre o estilo do trabalho de Lavoisier e o de outros químicos da época. Folheie-se, por exemplo, uma obra de Priestley, como os famosos "Experiments and observations on different kinds of air"⁶⁴. Não se encontra, nessa obra, qualquer preocupação sistemática de pesar os reagentes e os produtos e testar dessa maneira as teorias químicas estudadas. Perrin⁶⁵ observa que "Os métodos de Lavoisier eram não apenas pouco usuais na química, eles eram contrários ao espírito da metodologia química como ela foi expressa por Venel na *Encyclopedia*." Havia, portanto, uma originalidade na prática de Lavoisier.

No entanto, não foi desde o início que se vinculou a Lavoisier o princípio de conservação do peso nas reações químicas. Para os químicos posteriores, os principais resultados das pesquisas de Lavoisier eram, obviamente, os resultados químicos; e, em 1836, Dumas se sente obrigado a chamar a atenção para o papel do princípio de conservação do peso e sua associação com Lavoisier:

A partir dessa longa seqüência de experimentos, após tantos testes decisivos que confirmaram, todos eles, suas idéias, Lavoisier se convenceu de que em todas as reações a quantidade de matéria empregada se encontra sempre de novo nos produtos, sob uma outra forma, sem dúvida, mas com o mesmo peso.

*Ninguém ainda apresentou Lavoisier como tendo introduzido esse ponto de vista no estudo da Química; no entanto, creio que posso assegurar-vos que isso era uma coisa à qual ele atribuía uma alta importância*⁶⁶.

A linguagem empregada por Dumas parece indicar que, nessa época, ninguém falava em um "princípio de Lavoisier" nem descrevia a lei da conservação do peso como uma componente essencial do trabalho do mesmo. A partir daí, é ver-

dade, houve exageros de todos os tipos. Como se vê pela citação acima, o próprio Dumas já está ultrapassando os limites da verdade ao dizer que Lavoisier fez "testes decisivos que confirmaram, todos eles, suas idéias".

Em meados do século, Wurtz adiciona uma nova pedra ao edifício da mitologia de Lavoisier, afirmando:

Lavoisier imagina os corpos simples... como dotados do poder de se unirem entre si, de modo a formar os corpos compostos, de tal modo que se encontra na combinação toda a matéria ponderável dos corpos constituintes. Esses grandes princípios formam a base da química. Universalmente aceitos, eles nos parecem hoje tão simples, tão indiscutíveis, que eles se impõem de uma forma, como axiomas. Eles não o eram então, e é uma glória durável de Lavoisier tê-los proclamado, ou, diríamos melhor, demonstrado. Ele o fez em uma série de trabalhos fortemente encadeados pela idéia dominante e tornados imortais pela sagacidade das experiências, a clareza da exposição, o rigor das deduções⁶⁷.

A versão de Wurtz é inexata. Como foi indicado acima, é impossível encontrar nas obras de Lavoisier essa cadeia de trabalhos em que se apresente uma rigorosa dedução e demonstração do princípio de conservação do peso nas reações químicas.

Não é objetivo deste trabalho difamar Lavoisier. Como vimos, ele próprio nunca se arvorou em criador ou demonstrador desse princípio. Foram autores posteriores e não muito bem informados que distorceram os fatos e criaram essa interpretação que acabou por se popularizar através de livros didáticos. Mas a grandeza de Lavoisier é suficientemente garantida por aquilo que ele realmente fez. Não é preciso inventar fatos para torná-lo um genial pesquisador.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Até algum tempo atrás, ensinava-se que a ciência partia da observação dos fatos e, a partir daí, recusando qualquer idéia pré-concebida, eram construídas indutivamente todas as teorias. O próprio Lavoisier talvez partilhasse dessa concepção de ciência, como o mostram os trechos acima transcritos do prefácio de seu "Tratado elementar de química". Em sua época, predominava na França a concepção empirista de ciência, difundida por Condillac, que é citado por Lavoisier. No entanto, a própria prática científica desmente essa concepção empiricista de ciência. Não é pela "pura observação" dos fatos que a ciência progride. Os mais importantes experimentos são planejados e interpretados dentro de um contexto teórico que os guia e esclarece. Assim foi e assim será. Lavoisier não estava errado ao utilizar pressupostos teóricos em sua pesquisa. Mas é difícil romper com a concepção de ciência que ainda vigora popularmente.

Embora Lavoisier não estivesse errado ao utilizar pressupostos teóricos, pode surgir um certo incômodo com a constatação de que ele poderia ter testado o princípio da conservação da massa. Isso é verdade. Ele não fez tudo o que poderia ter feito. Mas não se pode acusá-lo de ter feito pouco.

Pode-se imaginar que, embora Lavoisier não tivesse testado esse princípio, logo depois, pela sua importância, alguém deve ter realizado cuidadosos testes para dar-lhe uma fundamentação adequada. Curiosamente, isso não ocorreu. A partir do final do século XVIII, os químicos passaram a admitir e utilizar, em geral, o princípio de conservação da massa nas reações químicas. O que, na verdade, estava estabelecido era que não se notava grande variação de peso em reações químicas executadas em recipientes fechados. Mas em qualquer série de reações químicas mais ou menos complicadas, era comum que a quantidade dos reagentes aumentasse ou diminuísse um pouco de peso. Isso não trazia nenhum incômodo, pois sem-

pre se podia pensar (como havia feito o próprio Lavoisier) que havia algum erro experimental.

Foi apenas cem anos após Lavoisier que surgiram os primeiros testes sistemáticos e rigorosos do princípio de conservação da massa nas reações químicas. E, para espanto de todos, alguns dos testes mais cuidadosos mostraram violações desse princípio. Mas isso é uma outra história, que será descrita em um artigo futuro.

AGRADECIMENTOS

Os autores são gratos ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) por auxílios e bolsas que permitiram a elaboração desta pesquisa.

REFERÊNCIAS E NOTAS

1. Meyerson, Émile; "Idenfité et réalité", 5. ed., J. Vrin; Paris (1951), capítulo 4. Sobre as próprias concepções de Meyerson, ver a obra de Sée, Henri; "Science et philosophie d'après la doctrine de M. Émile Meyerson", Félix Alcan; Paris (1932).
2. Ao longo deste trabalho, não se fará uma distinção clara entre a massa e peso. Todos sabemos a diferença: o peso é uma força (a força de atração que o corpo sofre, pela gravidade terrestre) e varia de ponto para ponto da Terra; a massa ou inércia é conceitualmente distinta do peso e não depende da existência de uma atração gravitacional. No entanto, como os autores que serão citados neste trabalho usam indiferentemente esses dois termos, seria tedioso enfatizar a cada passo essa distinção. Apenas quando for necessário, portanto, se chamará a atenção para a diferença entre as duas grandezas.
3. Aristóteles, *Metaphysica* I.3, 983 b 7-19. As citações de Aristóteles são aqui indicadas com a paginação padrão da edição grega de Bekker e traduzidas a partir da versão inglesa: Ross, W. D.(ed.); "The works of Aristotle translated into English", 12 vols., Oxford University; Oxford (1968), vol.8.
4. Aristóteles, *Metaphysica* I.3, 983 a 24-31. Trecho grifado pelo tradutor.
5. Aristóteles, *Metaphysica* 1013 a 24-26; conferir o trecho equivalente na *Physica* 194 b 24-26. A versão inglesa da "Física" na edição de Ross (nota 4) é de R. P. Hardie e R. K. Gaye.
6. Aristóteles, *Metaphysica* 1013 b 17-20; *Physica* 195 a 16-17.
7. Lucretius Carus, Titus; *De rerum natura* I, 149-264. As citações aqui apresentadas foram traduzidas a partir da versão bilingüe: Lucrèce; "De la nature", texto e trad. por Alfred Ernout, 2 vols., Belles Lettres; Paris (1972), pp. 7-11.
8. Lucretius, *De rerum natura* I, 254-269.
9. Luciano de Samosata - pensador cínico do século II D.C.
10. A 'mina' é uma antiga medida de massa, correspondendo aproximadamente a um valor entre meio a um quilograma.
11. Meyerson, "Identité et réalité" (nota 1), p. 168.
12. Meyerson, "Identité et réalité" (nota 1), p. 172.
13. Lavoisier, Antoine Laurent; *Mém. Ac. Sc. Paris* (1770) 73, 90. Reimpresso em "Oeuvres de Lavoisier", Imprimerie Impériale; Paris (1862), vol. II, pp. 1-28. O trecho citado encontra-se na página 2.
14. *Apud* Partington, J. R.; "A short history of chemistry", MacMillan; London (1951), p. 46.
15. Duhem, Pierre; *Rev. Gén. Sc.* (1906), 17, 769.
16. Rey, Jean; "Essays sur la recherche de la cause pour laquelle l'estain et le plomb augmentent de poids quand

- on les calcine”, Guillaume Millanges; Bazas (1630). Reimpressão Rouault; Paris (1777), p. 49, *apud* Meyerson (nota 1), p. 176-7.
17. Jean Rey, *apud* Metzger, Hélène: “Les doctrines chimiques en France du début du XVII^e à la fin du XVIII^e siècle”, Albert Blanchard; Paris (1969), p. 385.
 18. Kant, Immanuel; “The critique of pure reason”, trad. J. M. Meiklejohn, Encyclopaedia Britannica; Chicago (1952), pp. 74-6.
 19. Kant (nota 18), p. 75.
 20. Kant, Immanuel; “Vom Uebergange von den metaphysische Anfangsgruenden der Naturwissenschaft zu Physik”, *apud* Meyerson (nota 1).
 21. Kant, Immanuel; “Premiers principes métaphysiques de la science de la nature”, trad. J. Gibelin, J. Vrin; Paris, (1971), p. 127.
 22. Kant, “Premiers principes” (nota 21), p. 126.
 23. Para uma visão geral da obra de Lavoisier, veja-se o artigo: Tosi, Lucia; *Quím. Nova* (1989), 12 (1), 33.
 24. Lavoisier, A. L.; “Traité élémentaire de chimie”, in: “Oeuvres de Lavoisier” (nota 12), vol. I. Existe uma tradução em inglês desta obra, publicada na coleção “Great books of the western world” da Encyclopaedia Britannica, que é de fácil consulta em muitas bibliotecas. No entanto, a tradução não é confiável.
 25. Lavoisier, “Traité élémentaire de chimie” (nota 24), p. 3.
 26. Lavoisier, “Traité élémentaire de chimie” (nota 24), p. 4.
 27. Ilustração tirada de Lavoisier, “Traité élémentaire de chimie” (nota 24), planche IV, figure 3.
 28. As unidades utilizadas por Lavoisier são: a libra, que equivale a 16 onças; a onça, que vale 8 dracmas; a dracma, que vale 72 grãos. As relações com o sistema métrico são as seguintes: uma libra equivale a 489,5058 g, uma onça equivale a 30,6 g, uma dracma equivale a 3,82 g e um grão equivale a 0,0531 g. Esses valores são fornecidos por Partington, J. R.; “A history of chemistry”, MacMillan; London (1962), vol. 3, p. 377.
 29. Lavoisier, “Traité élémentaire de chimie” (nota 24), p. 51.
 30. Lavoisier, “Traité élémentaire de chimie” (nota 24), p. 52.
 31. Lavoisier, “Traité élémentaire de chimie” (nota 24), p. 53.
 32. Lavoisier, A. L.; *Mém. Ac. Sc. Paris* (1777), 65. Reimpresso em “Oeuvres de Lavoisier” (nota 24), vol. II, pp. 139-52. É interessante também assinalar que em 1800 Brisson, ao relatar o experimento de Lavoisier sobre a queima do fósforo, não chama a atenção para os aspectos relativos ao peso dos reagentes, provavelmente por não considerá-los parte essencial do trabalho. Ver: Brisson, M. J.; “Éléments ou principes physico-chimiques”, Bossange, Masson et Besson; Paris (an VIII - 1800), pp. 34-8. Os leitores interessados em mais informações sobre esses experimentos cruciais de Lavoisier poderão consultar, por exemplo: Perrin, C. E.; *Isis* (1986) 77, 647; Guerlac, H.; *Arch. Int. Hist. Sc.* (1959), 12, 137.
 33. Uma “onça” equivale a cerca de 30,6 g, como já foi indicado (nota 28).
 34. Lavoisier, “Traité élémentaire de chimie” (nota 24), pp. 76-7.
 35. Meyerson, “Identité et réalité” (nota 1), p. 188.
 36. Lavoisier, “Traité élémentaire de chimie” (nota 24), p. 101.
 37. Lavoisier, “Traité élémentaire de chimie” (nota 24), p. 108.
 38. Lavoisier, “Traité élémentaire de chimie” (nota 24), vol. III, p. 777-86.
 39. Lavoisier, A. L.; *Mém. Ac. Sc. Paris* (1770), 73, 90. Reimpresso em “Oeuvres de Lavoisier” (nota 24), vol. II, p. 1-28. Esta publicação é às vezes citada como a primeira memória de Lavoisier, mas isso não é fato. Dois anos antes, ele já havia apresentado uma outra memória à Academia (ver nota 40).
 40. O método utilizado havia sido desenvolvido e apresentado em uma memória anterior, em 1768: Lavoisier, in: “Oeuvres de Lavoisier” (nota 24), vol. III, pp. 427-50.
 41. Lavoisier (nota 39), p. 15.
 42. Lavoisier (nota 39), p. 16.
 43. A questão da forma exata do pelicano utilizado por Lavoisier é de difícil decisão. Partington (nota 28, p. 377) e outros autores indicam uma forma de alambique com dois tubos que entram no corpo do aparelho. Esse tipo de aparelho é de fato atestado em gravuras alquímicas; veja-se, por exemplo, Multhauf, Robert P.; “The origins of chemistry”, Franklin Watts; New York (1967), p. 192, gravura I, figura K; ver também Child, Ernest: “The tools of the chemist”, Reinhold; New York (1940), p. 74, canto direito inferior da gravura. No entanto, não encontrei nenhuma fonte alquímica que afirmasse ser esse o aparelho chamado “pelicano”. Pelo contrário, a forma com um só tubo entretanto no corpo do aparelho é atestada em: Facca, Gian Carlo; “L'alchimia e gli alchimisti”, Ulrico Hoepli; Milano (1934), p. 128 (fig. 20). A forma com um só tubo lembra muito mais a lenda do pelicano, descrita mais adiante.
 44. “Tractatus aureus” [1610], p. 44, *apud* Jung, Carl Gustav; “Psychology and alchemy”, trad. R. F. C. Hull, Pantheon; New York (1953), p. 123, nota de rodapé.
 45. Sobre os aspectos simbólicos do pelicano, ver, por exemplo: Frutaz, A. Pietro: “Enciclopedia cattolica”, Ente per l'Enciclopedia Cattolica e per il Libro Cattolico; Città del Vaticano (1952), vol. 9, pp. 1088-9. As lendas aparecem nos “Salmos” de David, no “Physiologus” (bestiário medieval), em comentários de Santo Agostinho, de Tomás de Aquino, na “Divina Comédia” de Dante e muitas outras obras. Uma obra onde podem ser encontradas várias imagens alquímicas do pelicano é a de Jung (nota 44). Ver figs. 54, 89, 112, 148. Ver também a figura à p. 426, que reúne a serpente ouroubouros e o pelicano.
 46. Não se deve pensar que essa diferença seja pequena ou desprezível. Trata-se de cerca de 15% em uma massa total de cerca de 1 grama.
 47. Lavoisier (nota 39), p. 26.
 48. Ver: Schufle, J. A.; *J. Chem. Ed.* (1986), 63, 928.
 49. Scheele, K. G.; “Traité chimique de l'air et du feu”, trad. Baron de Dietrich, Hôtel Serpente; Paris (1781), pp. xii-xiv. O tradutor indica, em uma nota no final do volume (p. 259) que o abade Fontana, em artigo publicado em 1779, havia excluído a possibilidade de que a água houvesse atacado o vidro porque não havia observado a alteração descrita por Scheele: o vidro continuava transparente e polido.
 50. Lavoisier, A. L.; *Mém. Ac. Sc. Paris* (1774), 351. Reimpresso em “Oeuvres de Lavoisier” (nota 24), vol. II, p. 105-21.
 51. O trabalho de Jean Rey estava esquecido, na época; mas foi lembrado logo após a divulgação do trabalho de Lavoisier. Em um apêndice histórico datado de 1792, Lavoisier se refere ao trabalho de Rey. Ver: “Oeuvres de Lavoisier” (nota 24), vol. 2, P. 99-104. Sobre o contexto dessa pesquisa de Lavoisier e sobre a teoria do flogístico, veja-se o clássico estudo; Partington, J. R.; Mckie, Douglas; *Ann. Sc.* (1937), 2, 361; (1983), 3, 1, 337; (1939), 4, 113.
 52. Lavoisier (nota 50), p. 110.
 53. *Apud* Partington (nota 28), vol. 3, p. 377. Atribui-se também a Lomonosov, em 1740, a discussão do fenômeno de calcinação dos metais e o uso do princípio de conser-

- vação do peso para estabelecer o papel do ar nesse fenômeno. Ver: Ihde, Aaron J.; "The development of modern chemistry", Harper & Row; New York (1966), p. 80.
54. Lavoisier (nota 50), p. 118.
55. Lavoisier, A. L.; "Opuscules physiques et chimiques", in "Oeuvres de Lavoisier" (nota 24), vol. I, pp. 439-655. A descrição relevante se encontra às páginas 604-7.
56. Lavoisier, A. L.; *Mém. Ac. Sc. Paris* (1783), 416. Reimpresso em "Oeuvres de Lavoisier" (nota 24), vol. II, p. 616-22.
57. Berthelot, M.; *C. Rend. Ac. Sc. Paris* (1902), 135, 549.
58. Ver a transcrição desse texto às páginas 456-60, em: Bensaude-Vincent, Bernadette; *Br. J. Hist. Sc.* (1990), 23, 435.
59. Lavoisier, *apud* Bensaude-Vincent (nota 58), p. 459.
60. Lavoisier, *apud* Bensaude-Vincent (nota 58), p. 460.
61. Ostwald, Wilhelm; "L'évolution d'une science - la chimie", Ernest Flammarion; Paris (1921), pp. 22-3.
62. Metzger, Hélène; "La chimie", E. Blanchard; Paris (1930), pp. 90-1.
63. O texto de Horne e Fourcroy é transcrito em: "Oeuvres de Lavoisier" (nota 21), vol. 1, pp. 417-31.
64. Priestley, Joseph; "Experiments and observations on different kinds of air", 3ª ed., J. Johnson; London (1781), 3 vols.
65. Perrin, C. E.; *Osiris* (1988), [2] 4, 53; ver p. 63.
66. Dumas, M.; "Leçons sur la philosophie chimique professées au Collège de France"; 2ª ed., Gauthier-Villars; Paris (1878), pp. 170-1. O original é de 1836.
67. Wurtz, A.; "Histoire des doctrines chimiques depuis Lavoisier jusqu'à nos jours", L. Hachette, Paris (1869).

Publicação financiada pela FAPESP