

O PAPEL INICIADOR DE LAVOISIERⁱⁱ

Danielle Fauque

Groupe d'Histoire et Diffusion des Sciences d'Orsay (GHDSO) - Bât. 307 - Université de Paris - XI - 91405 Orsay Cedex - França

Recebido 3/1/95; aceito em 12/3/95

The Lavoisian method is reviewed using as examples the Lavoisier's theories for combustion and acids, and his discovery of the oxygen as a chemical element. The main aspects of the theories accepted at that time are revisited and some peculiarities of his background in chemistry are presented, including a chronological summary of his fundamental works. Finally, a brief exam on the *Traité élémentaire de chimie* (1789) and on the Lavoisier's heritage is presented.

Keywords: Lavoisier; combustion theory; 18th century chemistry.

No dia 8 de maio de 1794, pouco depois das cinco horas da tarde, Lavoisier subia os degraus que o conduziam ao cadafalso. Ele era o quarto dos vinte e oito *fermiers généraux*ⁱⁱ condenados na manhã do mesmo dia numa paródia de processo. As intervenções a seu favor não haviam tido êxito e os poucos amigos que lhe restaram fiéis tornaram-se eles próprios suspeitos. A Academia das Ciências de Paris decretou o ano de 1994 o ano da química, em honra de Lavoisier.

O mitoⁱ do fundador da química dita moderna, a imagem do gênio que revolucionou a química começou a ser difundida por Fourcroy em 1796 em sua *Notice sur les travaux de M. Lavoisier*. Esta imagem idealizada foi reforçada pelo julgamento de J. B. Dumas em 1837 em suas lições de "filosofia química", em que o cientista francês sustenta que Lavoisier introduzira a balança na química, o que era sem qualquer dúvida exagerado, a balança tendo estado em uso por séculos nas operações da arte^{2d}. Enfim em 1874, Wurtz, amargurado pela derrota de 1870ⁱⁱⁱ começava seu *Dictionnaire de chimie* por a química é uma ciência francesa, ela é devida a Lavoisier, de imortal memória. Se alguns autores suavizaram mais tarde estas proposições, foi preciso esperar a segunda metade do século XX para que finalmente estudos menos partidários fossem empreendidos. Muitos manuscritos de Lavoisier são ainda inéditos³. O trabalho de pesquisa fundamental, atualmente em curso, revela-nos um Lavoisier menos emblemático, mais próximo de nossa condição humana, e esclarece aos poucos as etapas sucessivas de seu pensamento na elaboração de uma nova química. Longe de nós a idéia de um gênio que, por pura intuição, na solidão de seu laboratório, engendra uma teoria englobando os fatos numa explicação unitária. Ao contrário, a nova maneira de conceber a química refere-se à abertura de Lavoisier com relação à sociedade científica de sua época. Os intercâmbios entre pessoas esclarecidas ao longo dos encontros no laboratório do Arsenal ou dos elegantes jantares de Madame Lavoisier^{2o} tiveram um papel importante na elaboração do pensamento lavoisiano. A leitura das obras especializadas, dos artigos dos cientistas publicados nas memórias acadêmicas ou nos periódicos alimentaram a reflexão do sábio francês^{4,5}. Por suas observações, freqüentemente pertinentes, os químicos cépticos, ou que estivessem enganados, obrigaram Lavoisier a

aprofundar-se ainda mais, a propor uma teoria mais e mais aperfeiçoada. Este intercâmbio incessante, relativamente rápido, fonte de uma renovação permanente de idéias, permitiu desembocar na revolução química em relativamente pouco tempo se se pensar na dificuldade encontrada pela teoria das atrações de Newton ou a difusão do sistema métrico.

Tentaremos retrazar uma pequena parte do método lavoisiano tomando como exemplo a elaboração de sua teoria da combustão e em seguida a dos ácidos, isto é, seguindo passo a passo o nascimento do oxigênio como elemento químico^{2a}.

No preâmbulo, recordaremos os traços principais das teorias então aceitas, daremos algumas noções a respeito da formação química do sábio francês e resumiremos a cronologia de seus trabalhos fundamentais. Terminaremos com um exame rápido do *Traité élémentaire de chimie* (1789) e da herança lavoisiana.

TORNAR-SE UM QUÍMICO NOS ANOS 1760

O curso mais célebre de Paris era aquele lecionado por G.-F. Rouelle no *Jardim do Rei*. Nele, Rouelle expunha a doutrina dos quatro elementos: a terra, a água, o ar e o fogo. O fogo era aparentado com o flogisto de G.-E. Stahl, cujo *Tratado do enxofre* acabava de ser publicado em francês (1766). A terra inflamável ou flogisto (princípio do fogo, matéria do fogo) estava extremamente disseminada. Quando um corpo queimava, liberava seu flogisto⁶. Assim o carvão, que queimava melhor, era constituído praticamente só de flogisto. Quando um metal era calcinado ao ar, adquiria um aspecto terroso. Ele havia liberado seu flogisto e se transformara em cal metálica*. Para reformar o metal, era suficiente devolver o flogisto à cal por intermédio do carvão. A combustão era muito bem interpretada graças a esta teoria. Os químicos flogísticos ou discípulos de Stahl não consideravam a quantidade de matéria ou massa como uma grandeza pertinente, como um elemento de análise, de apreciação da experiência ou de fonte de informação; a teoria do flogisto não era uma química da quantidade, mas permanecia como uma química das qualidades. A abordagem experimental, embora comportasse medidas que permitissem às reações serem mais eficazes, era apenas o meio de descobrir novas substâncias e determinar suas propriedades. Era já muito e devemos à destreza de alguns químicos flogísticos um enriquecimento considerável da lista de compostos conhecidos. Com efeito, no começo da segunda metade do século das luzes, novos metais haviam sido descobertos, novos e numerosíssimos ácidos orgânicos haviam sido isolados e enfim a variedade dos "ares"* começava a persuadir a uns e outros que eles formavam uma nova classe de corpos. Estas descobertas haviam produzido o aparecimento concomitante de novas

ⁱ Para os termos antigos, assinalados por asterisco, consultar o glosário ao final do artigo.

ⁱⁱ *Fermier général*: pessoa que tinha concessão governamental, no antigo regime, para cobrar impostos, auferindo lucros consideráveis (N. T.).

ⁱⁱⁱ Derrota francesa na guerra franco-prussiana (N. T.).

Traduzido do francês pelo Prof. Carlos A. L. Filgueiras, UFMG.

técnicas de laboratório. Havia sido necessário aprender a recolher esses "ares" sobre uma cuba com água e em seguida sobre uma cuba com mercúrio, depois estudar suas propriedades, em particular sua solubilidade em água e nos diversos solventes, sua combustibilidade e sua ação sobre um organismo vivo.

Black, na Grã-Bretanha, mostrara que havia um ar fixado no calcário e que a calcinação do calcário podia separá-lo, liberá-lo. Este ar fixo* turvava a água de cal, não permitia sustentar a vida, e extinguiu a chama de uma vela. Priestley também estudara as emanações das cervejarias e observara os mesmos efeitos; este ar mefítico era perigoso. Em 1766, Cavendish recolhera o ar saído das efervescências de um ácido sobre um metal. Este ar ardia muito bem e era extremamente leve, por isto lhe dera o nome de ar inflamável*. Mas as perguntas permaneciam: o que são estes ares? São modificações do ar comum, do ar atmosférico no qual vivemos, ou são verdadeiramente substâncias individuais dotadas de propriedades constantes que permitam caracterizá-las?

Na verdade a química era obscura e os seres que a populavam pareciam reinar numa certa desordem. Ademais, havia um problema que interpelava os mais tenazes, os mais cépticos: como explicar que, por ocasião da calcinação, a cal obtida possuía um peso (uma massa) superior àquela do metal que lhe havia dado origem? Isto desafiava o bom senso. A teoria de Stahl era muito conveniente para a interpretação das reações, pois tinha a qualidade de unir sob um princípio comum muitas reações aparentemente diversas, mas embaraçava-se com este problema de pesos.

Lavoisier, formado no curso de matemática de La Caille, nas lições do químico La Planche, aluno de Rouelle, em seguida do próprio Rouelle, e nas lições do *abbé* Nollet, imaginou escrever um curso de química provavelmente desde 1764⁷, que poria um pouco de ordem na disciplina que, não obstante, era bem representada na Academia. No entanto tomou parte numa expedição com o mineralogista Guettard rumo à França oriental. Ele parecia então inclinar-se preferentemente pela mineralogia e pela geologia. Ao passar por Estrasburgo adquiriu um importante conjunto de livros de química, entre os quais o *De re metallica* de Agricola (1555), que ainda desfrutava de autoridade^{2f}.

Em 1765, sua *Análise do gesso* o fez notado pela Academia das Ciências. Nesta obra utilizou um método original, baseado no uso do areômetro, uma espécie de densímetro, que se deve talvez considerar como o germe de todo o seu método. Pouco depois escreveu uma memória sobre a determinação de pesos específicos de líquidos que generalizava o uso daquele instrumento.

No ano de sua admissão à Academia Real das Ciências de Paris, 1768, fez um estudo da água destilada utilizando o areômetro. O problema colocado era o seguinte: quando se redestila a água destilada, resta sempre um resíduo terroso no fundo do alambique; logo, a água se transforma em terra, o que estava de acordo com a teoria dos quatro elementos. Lavoisier aplicou aqui o método dos balanços e o controle da densidade da água com o areômetro. Por um lado mostrou que a água não variava de densidade e por outro que a massa do resíduo terroso correspondia à perda de massa do recipiente. Uma análise elementar lhe fez ver igualmente que o resíduo continha sílica, a mesma que constituía as paredes do balão. Em conseqüência, ele tinha o direito de argumentar que a água não se transformava em terra. Não era esta a primeira vez que ele punha em dúvida a natureza dos quatro elementos. Talvez o ar não fosse um elemento que exista por si próprio, talvez não passasse de um fluido em expansão, água reduzida a vapor, ou ainda a combinação da água com a matéria do fogo (1766). Os experimentos deviam poder responder a este gênero de perguntas. Lavoisier então documentou-se, leu, estudou, manipulou.

DO AR FIXO AO AR VITAL

Em 1772, Magalhães^{iv}, ex-religioso de origem portuguesa, residente em Londres e informante fiel da Academia, escreveu que Priestley havia descoberto uma propriedade asséptica do ar fixo, aplicável particularmente à conservação dos alimentos no mar⁵. Trudaine solicitou então a Lavoisier que estudasse o que poderia vir a tornar-se uma vantagem para o exército. Este ar fixo parecia ser desconhecido a essa data na França. Em 1774, Bergman, na Suécia, definiu-o como um ar ou um fluido elástico que se desprendia durante a decomposição dos corpos, e supôs que os ares não eram todos idênticos, que alguns se inflamavam, enquanto outros apagavam o fogo, parecendo estar anteriormente fixados aos corpos. Eles podiam desprender-se dos álcalis ou das terras, por ação do fogo ou dos ácidos, ou por fermentação. Havia um vasto campo de investigação a ser percorrido.

No dia 20 de fevereiro de 1773, Lavoisier escrevia em suas notas que estava a ponto de introduzir uma **revolução na física e na química**. No mês de julho leu na Academia Real das Ciências seus *Opúsculos físicos e químicos*, inteiramente consagrados ao estudo dos diferentes ares descobertos até aquela data. No início da obra teve o cuidado de retrair toda a história dos trabalhos dos predecessores, como para se inscrever melhor na continuidade do progresso do conhecimento químico, mostrando por contraste a especificidade de sua própria pesquisa.

Ele estudou em particular a calcinação dos metais conhecidos e sua redução pelo carvão. Inicialmente lembrou que a calcinação é impossível sem o ar comum, que os metalurgistas haviam observado há muito tempo o desprendimento ruidoso de um fluido elástico por ocasião da redução de uma cal de metal. Lavoisier verificou que este fluido é o ar fixo.

Para isto, retomou numerosas vezes a redução do mênio pelo carvão, aquecendo uma mistura desses dois corpos em ausência de ar num cano de fuzil. O ar fixo que se desprende em grande abundância só pode ser formado pela reação dessas duas substâncias.

Por meio do vidro ardente^v Lavoisier também retomou a calcinação do chumbo sobre a cuba de mercúrio, observando que o aumento de peso do chumbo está de acordo com a diminuição de peso do ar, e esta depende da quantidade de ar na campânula sobre a cuba. Como na redução do mênio pelo carvão, Lavoisier descreveu esta experiência, realizada também em recipiente fechado, sob a forma de um balanço de pesos. O gás recolhido após a reação apaga a vela, mas não tem qualquer ação sobre a água de cal e não se dissolve na água. É pois distinto do ar fixo e do ar das efervescências. Por enquanto ele ainda não lhe deu nenhum nome.

Na primavera de 1773, sua convicção estava formada: quando um metal se calcina, uma parte do ar da atmosfera se fixa ao metal:

"que várias circunstâncias pareceriam levar a crer que todo o ar que respiramos não é próprio para fixar-se entrando na combinação das cais metálicas, mas que existe na atmosfera um fluido elástico particular que se encontra misturado com o ar, e que é no momento em que a quantidade deste fluido contido sob a campânula se esgota que a calcinação não pode mais ocorrer" [Oeuvres. t.I, p.621].

Falta identificar este gás. Experiências semelhantes com o estanho em 1774 conduziram-no a concluir que o ar que se combina com os metais é mais pesado que o ar da atmosfera e que aquele que resta é menos pesado [Oeuvres, t. II, p. 184-193].

^{iv} João Jacinto de Magalhães, expatriado português na Inglaterra, autor de várias obras científicas, membro da Royal Society e amigo de Priestley (N. T.).

^v Vidro ardente: por meio de uma lente ou de um espelho côncavo, faz-se convergir a luz do sol sobre o local da mistura reacional a fim de inflamá-la (Prancha 1, Fig.11).

O PAPEL DO PRECIPITADO *PER SE**

O precipitado *per se* - que interessava a muitos químicos - é obtido por forte aquecimento do mercúrio ao ar durante várias semanas. A cal de mercúrio* obtida tem a propriedade de regenerar o mercúrio e produzir o ar fixo quando aquecida com carvão. Mas ela pode também regenerar o mercúrio se for aquecida ainda mais intensamente, sem adição de carvão, isto é, sem adição de flogisto. O precipitado *per se* é pois uma exceção à regra geral. Bayen (1725-1798), farmacêutico notável, sabia como obter um precipitado *per se* de grande pureza que, por aquecimento, liberava um gás que ele percebia ser diferente do ar fixo, mas sem avançar além disto.

Durante o verão de 1774, Priestley (1713-1804) também se interessa pela calcinação do precipitado *per se* e, no dia primeiro de agosto de 1774, verifica que o gás alimenta vivamente a chama de uma vela. Em outubro, durante uma viagem a Paris, comunica sua descoberta ao surpreso Lavoisier. Embora tendo feito alguns ensaios em novembro, o cientista francês não retomou seriamente seus experimentos sobre o precipitado *per se* até fevereiro de 1775; nesta ocasião ele compreendeu todo o significado da descoberta de Priestley.

Na sessão pública da Páscoa de 1775, Lavoisier leu sua **Memória sobre a natureza do princípio que se combina com os metais durante sua calcinação e que lhes aumenta o peso**. Avançava assim a proposição a que seus experimentos o conduziram:

“o princípio que se une aos metais durante sua calcinação, que aumenta seu peso e que lhes constitui o estado de cal, não é outra coisa senão a porção mais salubre e mais pura do ar”[Oeuvres, t. II, p. 123].

Em seguida expõe seus experimentos sobre o precipitado *per se*. Esta substância, diz o sábio francês, é inteiramente uma cal metálica que, quando misturada ao carvão e aquecida, fornece mercúrio e ar fixo, mas que tem também a propriedade de se reduzir facilmente sem carvão, o que permite revelar mais facilmente as propriedades gerais deste tipo de substância. Ela constitui pois um exemplo típico de cal metálica: os resultados dos experimentos aos quais será submetida poderão ser aplicados ao conjunto das outras cal metálicas. Lavoisier aquece nas mesmas condições materiais a mesma quantidade de precipitado *per se* de mesma origem (Prancha 1, Fig. 2). Para comparar com o experimento precedente, ele aquece mais fortemente e só modifica um único parâmetro químico: o carvão está ausente. A análise dos produtos da reação se faz igualmente nas mesmas condições. Obtém-se mercúrio e um gás cuja análise mostra que se trata da “parte mais salubre do ar”, que o mercúrio havia fixado quando de sua calcinação. Lavoisier generaliza então a demonstração para o conjunto das cal metálicas:

“é muito verossímil que todas as cal metálicas dariam, como a cal de mercúrio, apenas o “ar eminentemente respirável”, se se pudesse reduzi-las todas sem adição, como se reduz o mercúrio precipitado *per se*”[Ib. p. 127].

ONDE CADA UM RECLAMA SEU DIREITO...

Imediatamente se instalou a polêmica. Quem era o inventor desse novo gás, Priestley ou Lavoisier? Ora, o sueco Scheele (1742-1786) também havia descoberto o oxigênio bem antes e havia assinalado o fato a Lavoisier. Em 15 de outubro de 1774 escrevera-lhe que, por aquecimento, o carbonato de prata liberava um ar que ele chamava de **ar do fogo*** e do qual descrevia precisamente as propriedades; ele fornecia a Lavoisier os pormenores do seu experimento mas, acrescentava, seu material sendo muito rudimentar, esperava um experimento em maior escala de parte do cientista francês para confirmar suas observações. Este jamais respondeu ao sábio sueco.

Priestley assinalou ter dado a solução a Lavoisier durante

aquele jantar de outubro de 1774; a partir daí ele denominou este gás de **ar desflogisticado***. O metal que se calcinava ao ar liberava o flogisto, logo não restava sob a campânula senão o ar flogisticado*. Aquecendo-se o precipitado *per se*, a cal de mercúrio retomava o flogisto, e o ar restante era o ar desflogisticado.

Bayen também reclamou, e lembrou um autor antigo, Jean Rey (m. 1645) que, em 1640, havia explicado o aumento de peso dos metais calcinados pela absorção do ar atmosférico pela substância.

Lavoisier não conhecia este autor caído inteiramente no esquecimento e cujas proposições nunca haviam dado frutos. Ele lhe rendeu justiça como um longínquo precursor, mas soube fazer reconhecer a fecundidade de suas próprias interpretações que, com elegância, explicaram a composição do ar, a formação dos óxidos e o que ele pensava ser a constituição dos ácidos.

A COMPOSIÇÃO DO AR COMUM

Se isso nos parece convincente, ainda era preciso determinar se esta parte do ar comum era uma parte independente, um fluido em si num ar atmosférico que não seria pois um corpo simples, ou então se não passava de uma modificação.

O estudo do ar nitroso* forneceria a Lavoisier o meio de mostrar que o ar era composto, de determinar a natureza e as proporções das partes constituintes do ar. A facilidade de reação do monóxido de nitrogênio com o oxigênio dava um teste fácil de executar para medir a quantidade de dióxigênio numa amostra de gás.

Após ter repetido os experimentos de Priestley⁴, Lavoisier anuncia em 20 de abril de 1776 que, contrariamente às asserções do cientista inglês,

“parecia provado (...) que o ar que respiramos só contém um quarto de ar verdadeiro, que este ar verdadeiro está misturado, em nossa atmosfera, com três ou quatro partes de um ar nocivo, uma espécie de mofeta*”[Ib., p. 137].

Todavia a posição de Priestley permanecia inalterada: o oxigênio e o azoto são meras modificações do ar comum. O oxigênio é o ar desflogisticado; o azoto é o ar flogisticado.

A descoberta da composição do ar era pois uma etapa importante. Assim, desde meados de 1775, Lavoisier parecia ter achado a chave de seu sistema, o objeto que lhe permitirá obter a generalização que ele deseja estabelecer na química, classificando os fatos em torno de um mesmo ato, de um mesmo dinamismo. A rota estava aberta para passar da substância do ar, agora identificada, ao princípio desta substância que inter-vém sozinho na formação dos corpos.

DA NOVA TEORIA DA COMBUSTÃO...

Em 1777, Lavoisier propõe uma “nova teoria da combustão, contrária àquela de Stahl”, definida a partir de quatro observações:

- 1ª. em toda combustão ocorre desprendimento de calor (matéria do fogo) ou de luz;
- 2ª. a combustão só se dá no ar puro*, e os corpos que ardem, os combustíveis, cessam de se consumir se o ar puro for suprimido;
- 3ª. em cada combustão ocorre decomposição do ar puro e o corpo queimado aumenta de peso à proporção da quantidade de ar puro destruída;
- 4ª. em toda combustão o corpo queimado se transforma em ácido por adição da substância do ar puro que aumentou seu peso.

Ele retomaria várias vezes a combustão do fósforo e do enxofre. Nos dois casos os produtos da reação levavam a ácidos. Ademais, em 1774 Lavoisier havia procedido a uma série de experimentos sobre o ar e o ar nitroso descoberto por Priestley em 1772. Este ar devia combinar-se com alguma coisa oriunda do ar comum para dar com a água um ácido.

Ele anotara suas primeiras reflexões sobre a natureza dos ácidos.

A calcinação dos metais - combustão lenta, segundo Macquer - obedece às três primeiras leis, mas não à quarta, pois produz uma cal metálica, e não um ácido.

Ao longo da combustão, o ar puro libera sua matéria do fogo ao unir-se ao combustível. Fica aparente que o processo de troca lavoisiano se parece com o negativo exato do processo de troca do flogisto; todavia ele é mais rico, mais explicativo que este último, o que o sábio francês justifica^{vi}.

... À TEORIA DOS ÁCIDOS

Se agora Lavoisier economiza o flogisto - noção doravante inútil - é para colocar a matéria do fogo ou do calor ou da luz, fluido imponderável, no cume de seu sistema. Embora ele não queira admiti-lo, é exatamente um sistema que ele está a fundar. Ele explicou o papel de uma substância imponderável, chave nos fenômenos de combustão, e por extensão nos diferentes estados da matéria. É preciso agora explicar o papel central da substância chave, que é o ar puro, na constituição de uma família de corpos que não cessa de crescer, os ácidos. Mas já as memórias de 1776 a 1779 ganham em clareza, em simplicidade, em elegância ao mesmo tempo experimental e narrativa. As conseqüências parecem óbvias. Entretanto, seus contemporâneos não estão convencidos, e as numerosas repetições dos mesmos experimentos mostram ainda as hesitações, o escrúpulo.

O PRINCÍPIO OXIGÊNIO

Em 23 de novembro de 1779, a memória **Considerações gerais sobre a natureza dos ácidos e sobre os princípios de que eles são compostos** define tão precisamente o papel do oxigênio que sua denominação parece óbvia. O princípio da acidez sobrepõe aqui o princípio da combustibilidade. Era preciso para este **ar vital** ou **ar puro** que parece ter a propriedade de engendrar os ácidos um nome que lembre esta reatividade. É o mecanismo de troca de substratos materiais que está aqui posto à frente. Se a química é a arte de analisar e de recompor cada vez mais precisamente os corpos químicos, o estágio de decomposição mais longínquo marca momentaneamente o corpo com um caráter de simplicidade que permite denominá-lo elemento.

A teoria dos sais havia sido uma parte importante da química do século XVIII. Um conhecimento mais preciso da composição dos ácidos e dos álcalis dos quais eles provinham permitiria como conseqüência defini-los melhor. Daí o interesse de Lavoisier por um estudo metucioso dos ácidos⁸, enquanto esperava talvez debruçar-se sobre a classe dos álcalis. Em 1779, Lavoisier estimava poder generalizar que todos os ácidos contêm o princípio do ar puro e que este princípio é acidificante; em conseqüência, ele propunha dar-lhe o nome oxigênio. Este oxigênio associado à matéria do fogo forma o **ar puro**; o ar puro com o carvão forma o ácido calcário*; com o ar nitroso o ácido do nitro*; com o enxofre o ácido vitriólico*; com o fósforo o ácido fosfórico; com as substâncias metálicas as cal metálicas, com algumas exceções.

O grau de acidez da substância formada depende da

quantidade de oxigênio que ela pode fixar, logo de seu grau de afinidade com este. Assim, o excesso de oxigênio na cal de ferro tem propriedades salinas. Não parece excluído para Lavoisier que as cal metálicas que ainda não têm o caráter ácido possam adquiri-lo por uma superoxigenação que os métodos experimentais não permitiam realizar por enquanto.

Lavoisier analisou também em particular os ácidos orgânicos descobertos por Scheele, e o ácido oxálico analisado por Bergman (1735-1784). Ele pôs em evidência a presença do princípio oxigênio, que o confortava em relação à validade de sua teoria. Há entretanto um caso que constitui um problema: o do ácido marino*. Se afirmava que estava

“no estado de mostrar em seguida que não há nenhum ácido, se não se trata talvez daquele do sal marino, que não se possa decompor e recompor e ao qual não se possa retirar ou devolver à vontade o princípio da acidez” [Ib.p.250], ele cedia, todavia, à tentação da generalização demasiado precoce^{2a}.

Os ácidos, exceto um, estudados por Lavoisier, são oxoácidos, podendo-se pois desculpar seu engajamento, ainda mais que o papel da água na formação dos ácidos não está aí esclarecido^{vii}.

Mal o oxigênio estava bem caracterizado como elemento, Lavoisier se ocupou da matéria do calor, logo denominada calórico.

DA MEDIDA DA MATÉRIA DO CALOR À COMPOSIÇÃO DA ÁGUA

No início dos anos 1780, Lavoisier e Laplace haviam trabalhado junto sobre a medição da quantidade de calor^{2c}. Lidas na Academia das Ciências em junho de 1783, suas memórias são citadas pela posteridade como um exemplo de utilização do método científico. Uma verdadeira estratégia de medição foi mostrada, em que o experimento devia dar conta dos fatos independentemente da hipótese escolhida a respeito da natureza do calor. Aliás, os dois autores tinham, a este respeito, idéias opostas. Para Laplace, o calor era um efeito do movimento das partículas, ao passo que, para Lavoisier, ele era um fluido sutil, imponderável, que passa de um corpo a outro. Não obstante, era mensurável.

Mas logo a notícia de um notável experimento de Cavendish se espalhava. O cientista inglês obteve uma quantidade apreciável de água queimando o ar inflamável no ar vital. Monge estava ocupado em realizar o mesmo experimento. Em fevereiro e março de 1785, com Meusnier, diante de um público de personalidades, Lavoisier apresentava o experimento de análise e síntese da água em grande escala^{2b}. Eles decompueram a água e, recolhendo em seguida os gases, efetuaram sua síntese. Esta água era o único produto da combustão. Para a ocasião, Lavoisier havia mandado construir um grande gasômetro^{2g}; podia-se medir a qualquer instante as quantidades de gás que reagiam. O experimento foi considerado um êxito e a notícia correu por toda a Europa.

O ano de 1785 foi um ano decisivo para Lavoisier. Na química, ele estava agora suficientemente seguro de seus resultados para conduzir o último combate contra o flogisto.

REFLEXÕES SOBRE O FLOGISTO

Em 28 de junho e em 13 de julho de 1785, num tom muito combativo, o sábio francês respondia a Kirwan, químico flogístico irlandês cujo **Ensaio sobre o Flogisto** se opunha às proposições de Lavoisier. Ao longo de sessões agitadas, após

^{vi} Nesta memória, Lavoisier define igualmente os três estados da matéria: “Enfim, todos os corpos ou quase todos podem ser obtidos em seus três estados (sólido, líquido ou gasoso) de acordo com a quantidade de fogo que eles contêm. Todos os corpos (...) obedecem a duas forças, o fluido ígneo, a matéria do fogo, que tende continuamente a separar as moléculas, e a atração que contrabalança esta força. Enquanto a última destas forças, a atração, for vitoriosa, o corpo permanece no estado sólido; estas duas forças estando num estado de equilíbrio, o corpo se torna líquido; enfim, quando a força expansiva do calor o arrebatou, o corpo toma o estado aeriforme” [Oeuvres, t.II, p. 641].

^{vii} Ver a memória “sobre a dissolução dos metais nos ácidos”, **Histoire de l'Académie Royale des Sciences pour 1782, avec les Mémoires**, Mém. p. 492, na qual Lavoisier aborda “a calcinação pela via úmida”.

uma resenha histórica sobre o princípio do fogo, Lavoisier sublinhava as contradições que a utilização do flogisto comportava na química, verdadeiro Proteu que mudava de propriedade a cada instante, que valia para uma determinada propriedade e seu contrário. A nova teoria explicava de forma muito mais simples, sem flogisto, os fenômenos da combustão e da calcinação, o que permitia desmontar todos os argumentos, uns após os outros. A matéria do calor não era o flogisto. A verdadeira matéria do calor, para o cientista francês, era aquele algo, aquele princípio que intervém na dilatação dos corpos quando eles são aquecidos. Princípio hipotético, é claro, mas que permitia explicar os três estados da matéria.

Iniciada assim em 1777 pela memória sobre a teoria da combustão, a revolução química, segundo Lavoisier, terminava em 1785, com esse golpe de misericórdia no flogisto. Entretanto, restavam pontos sombrios. Se bem que a água seja um composto de hidrogênio (filho da água ou gerador de água) e oxigênio^{viii}, ela não é um ácido. Mas a causa estava decidida. Os químicos franceses mais conhecidos se converteram um após o outro, como Berthollet, Fourcroy, Chaptal ou Guyton de Morveau⁹.

A NOVA NOMENCLATURA (1787)

A doutrina dos químicos franceses, como a chamavam seus detratores, precisava agora fazer escola. Para a conversão definitiva, impunha-se a idéia de uma nova linguagem. As numerosas substâncias químicas, nomeadas ao acaso de sua descoberta, tornavam difícil o trabalho da memória. Guyton de Morveau, químico de Dijon, já se havia preocupado com o problema. Em 1787, ele trabalhou neste tema com Lavoisier e seus colegas. A nova nomenclatura, sistemática, foi em sua maioria formada a partir de raízes gregas e cada nome devia dar uma idéia das propriedades da substância designada. O preâmbulo a este novo dicionário bilíngüe - a primeira parte, do nome antigo ao nome novo, e a segunda parte, do nome novo ao termo antigo - explicava a metodologia utilizada. Com

este método, os corpos ainda desconhecidos podiam ser nomeados a partir de sua descoberta.

Esta linguagem introduzia uma ruptura na química^{ix}. Embora contestada por uma parte dos químicos, a nomenclatura se espalhou rapidamente. Em uma dezena de anos numerosas traduções saíram à luz.

O TRATADO ELEMENTAR DE QUÍMICA (1789)

Para completar a conversão ou a adesão a esta nova química, era desejável um livro de referência. Em 1789, Lavoisier publicou o *Traité élémentaire de chimie*. Escrito na nova linguagem segundo um plano original, o livro apareceu desde logo como um texto fundador. Este tratado se dirigia aos iniciantes, àqueles que iam tornar-se os químicos de amanhã. Daí a uma geração os livros atuais se tornariam ilisíveis, e o livro de Lavoisier seria a única fonte. Nova ruptura que selava definitivamente a revolução química.

O plano do tratado diferia dos livros do mesmo gênero utilizados na época. Estes se pareciam mais a uma história natural das substâncias químicas descritas umas depois das outras^x. Lavoisier dividiu sua obra em três partes. A primeira tratava da formação dos fluidos aeriformes, do ar, do oxigênio e do calórico. Ele punha à frente a reação química, mais particularmente aquela que fazia intervir o oxigênio e o calórico. Sob a forma de quadros, a segunda parte apresentava as combinações dos ácidos e das bases salificáveis; a terceira parte concernia aos aparelhos e ao material de laboratório, explicava sua utilização, e apresentava as precauções a tomar para levar um experimento a bom termo. Esta parte, diz Lavoisier, é nova e propriedade pessoal sua. Com efeito, uma grande parte das montagens propostas servia aos gases, a sua produção, sua separação, sua caracterização e a sua conservação (Figura 1).

Era uma nova maneira de conceber a ciência, que fazia da arte de analisar e recompor as substâncias o objetivo supremo da química.

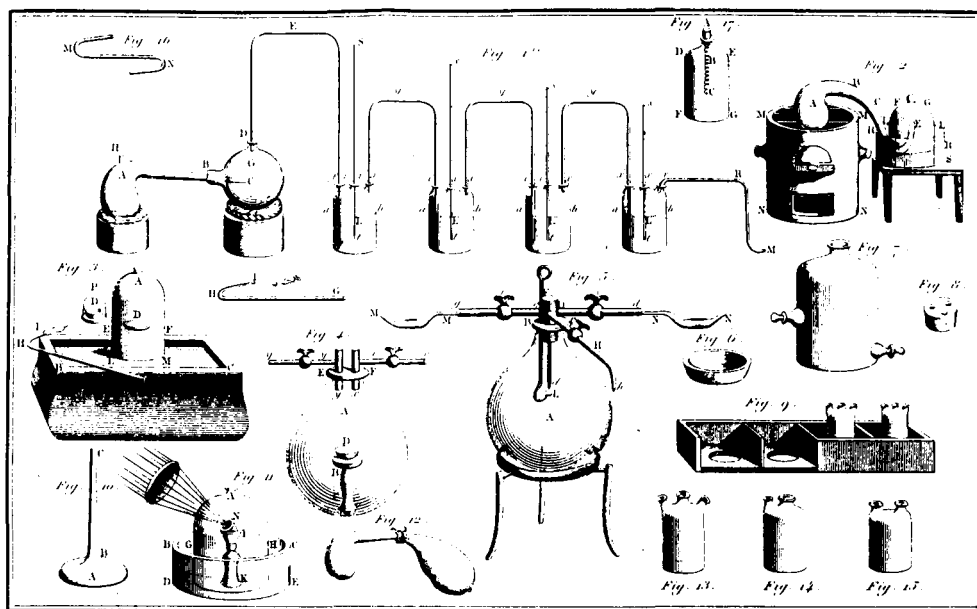


Figura 1. Ilustração extraída do *Traité élémentaire de chimie*. No original, Prancha IV.

^{viii} Aqui a autora se refere no original à mudança de nome do elemento, inicialmente proposto por Lavoisier como *oxygene*, e agora mudado por ele para *oxygène* (N.T.).

^{ix} Os historiadores da química se dividem entre duas escolas de pensamento. Para M. Beretta³ é uma ruptura; para B. Bensaude-Vincent¹⁰ é uma mudança sem ruptura.

^x Ver em particular o estudo que F. Abbri consagra a Fontana, na Itália¹¹.

Nessa época Lavoisier perseguia outros tipos de experimentos, mas sempre ligados à troca de oxigênio. Com Seguin estudou a respiração animal e vegetal e a transpiração. Os anos 1780 viram igualmente o cientista francês efetuar pesquisas na agricultura, favorecer o desenvolvimento da indústria química, participar na elaboração de pólvoras de melhor desempenho...

CONCLUSÃO

Com a Revolução, Lavoisier foi levado a outros tipos de atividades econômicas e financeiras^{xi}, tomou parte na comissão de pesos e medidas e em inúmeros outros comitês. Lavoisier era um homem de uma capacidade de trabalho fora do comum. Não há campo que ele não haja explorado e em que não tenha aplicado seu método pessoal de balanços.

Desaparecido Lavoisier, os químicos de seu círculo, como Berthollet ou Fourcroy, desenvolveram seus métodos. Tiveram carreiras brilhantes sob o Império e fundaram a Escola Politécnica. Berthollet criou a Sociedade de Arcueil onde Gay-Lussac e Thénard fizeram brilhantes descobertas. Fourcroy foi o mestre de Vauquelin, com quem Liebig e Chevreul se formaram. Os planos dos cursos de química seriam por muito tempo inspirados pela apresentação lavoisiana, dando ao oxigênio um papel central^{xii}.

Mas a contestação da teoria do oxigênio, já formulada nos anos 1780, tomou amplitude. Foi justamente o caso do ácido muriático* que enfraqueceria todo o sistema, quando H. Davy mostrou pela eletrólise que esta substância é composta apenas de hidrogênio e cloro, e deveria pois chamar-se ácido clorídrico.

Dos trabalhos de Lavoisier restou todavia o método fecundo baseado nas comparações ponderais e na análise-síntese, ou experimento circular. Por este fato, a balança tornou-se um instrumento emblemático da química, e substituiu, neste papel, a retorta e a serpentina de destilação. Lavoisier foi o pai-fundador talvez, o iniciador seguramente, que deixava a seus filhos os instrumentos para reconhecer e explorar todo um mundo.

A. Ladenburg, professor em Breslau no fim do século XIX, em seu tratado **História do desenvolvimento da química de Lavoisier a nossos dias**, considerava Lavoisier como um cientista sem par que havia introduzido uma ruptura teórica e experimental numa química já constituída como disciplina acadêmica, que por isto pôde desenvolver-se. Se Ladenburg recoloca os trabalhos do cientista francês num desenvolvimento contemporâneo extremamente rico, ele também descreve de maneira muito pormenorizada as outras vias diversas e promissoras da química daquela época. Mas esta é uma outra história.

ANEXO

A Nova Nomenclatura¹⁰

“Com relação aos corpos que são compostos por duas substâncias simples, como seu número é já bem considerável, é indispensável classificá-los. Na ordem natural das idéias, o nome da classe e do gênero é aquele que lembra as propriedades comuns a um grande número de indivíduos; o da espécie é aquele que leva a idéia às propriedades particulares de alguns indivíduos. Esta lógica natural pertence a todas as ciências; procuramos aplicá-la à química.

Os ácidos, por exemplo, são compostos de duas substâncias da ordem daquelas que consideramos como simples, uma que constitui a acidez e que é comum a todos; é desta substância que deve ser tirado o nome da classe ou do gênero; a outra é

própria a cada ácido, que é diferente para cada um deles, que os diferencia uns dos outros, e é desta substância que deve ser tirado o nome específico.

Mas, para a maior parte dos ácidos, os dois princípios constituintes, o princípio **acidificante** e o princípio **acidificado**, podem existir em proporções diferentes que constituem igualmente pontos de equilíbrio ou de saturação, como se observa no ácido vitriólico e no ácido sulfuroso; exprimimos estes dois estados do mesmo ácido fazendo variar a terminação do nome específico.

As sais metálicas são compostas de um princípio que é comum a todas, e de um princípio particular próprio a cada uma: devemos igualmente classificá-las sob um nome genérico, derivado do princípio comum, e diferenciá-las umas das outras pelo nome particular do metal ao qual elas pertencem.

As substâncias combustíveis que, nos ácidos e nas sais metálicas, são um princípio específico e particular, são suscetíveis de tornar-se por sua vez um princípio comum a um grande número de combinações (...). Devemos ainda juntar estas diferentes combinações sob nomes genéricos, derivados daquele da substância comum, com uma terminação que lembre aquela analogia, e especificamo-las por um outro nome derivado de sua própria substância”.

[Extraído de **Méthode de nomenclature chimique proposée par MM. de Morveau, Lavoisier, Berthollet et de Fourcroy**, Paris, Cuchet, 1787, pp. 19-21].

“O ácido sulfúrico exprimirá o enxofre saturado de oxigênio tanto quanto ele possa sê-lo; isto é o que se chamava de ácido vitriólico.

O ácido sulfuroso exprimirá o enxofre unido a uma quantidade menor de oxigênio: isto é o que se chamava de ácido vitriólico sulfuroso volátil, ou ácido vitriólico flogisticado.

Sulfato será o nome genérico de todos os sais formados pelo ácido sulfúrico.

Sulfeto será o nome dos sais formados pelo ácido sulfuroso.

Sulfeto anunciará todas as combinações do enxofre não levado ao estado de ácido, e substituirá assim de uma maneira uniforme os nomes impróprios e pouco concordantes de fígado de enxofre*, de hépar*, de pirita*, etc.”[Ib., pp. 40-41].

GLOSSÁRIO

Damos aqui o significado dos termos antigos dado pelo **Méthode de Nomenclature (1787)** com seu significado moderno (em itálico), à medida do possível.

Ácido calcário: ácido carbônico, ácido aéreo, ácido atmosférico, ácido melfítico, ácido carbonoso, *dióxido de carbono*, produzido pela ação de um ácido sobre o calcário.

Ácido do nitro: *ácido nítrico*.

Ácido marino: ácido muriático, *ácido clorídrico*.

Ácido marino desflogisticado: ácido muriático desflogisticado, ácido muriático oxigenado, ácido marino aerado, gás cloro, *dicloro*.

Ácido muriático: ver ácido marino.

Ácido nitroso: ácido nitroso rutilante, ácido nitroso flogisticado, ácido nitroso fumegante, espírito de nitro fumegante, *ácido nítrico*.

Ácido vitriólico: óleo de vitriolo, *ácido sulfúrico*.

Álcalis: termo geral para as bases tais como o *hidróxido de potássio*, *hidróxido de sódio*, *amônia*.

Alume: *sulfato duplo de potássio e de alumínio hidratado*.

Ares: termo geral designando os gases.

Ar desflogisticado: ar do fogo, ar eminentemente respirável, ar puro, ar vital, gás oxigênio, *dioxigênio*.

Ar do fogo: ver ar desflogisticado.

^{xi} J. P. Poirier⁵ para o papel de Lavoisier na economia; A. Donovan⁴ para o estudo do homem Lavoisier em seu meio social.

^{xii} Ver, por exemplo, o **Traité de Chimie**, de Thénard (1815-1836), várias vezes reeditado.

Ar eminentemente respirável: ver ar desflogisticado.
 Ar fixo: Gás ácido carbônico, ar factício, *dióxido de carbono*.
 Ar flogisticado: mofeta, ar viciado, gás nitrogênio, *dinitrogênio*.
 Ar inflamável: gás hidrogênio, *dihidrogênio*.
 Ar nitroso: *monóxido de nitrogênio*.
 Ar puro: ver ar desflogisticado.
 Ar vital: ver ar desflogisticado.
 Cal: termo genérico para os *óxidos*.
 Cal de mercúrio: *óxido vermelho de mercúrio* ou precipitado *per se*.
 Cal metálica: *óxido metálico*.
 Calórico: matéria do calor, princípio do calor, princípio imponderável cuja quantidade maior ou menor num corpo define seu estado físico; dá a propriedade de elasticidade aos gases por sua tendência à expansão.
 Fígado de enxofre: *hépar*, termo genérico para os *sulfetos*.
 Flogisto: Princípio inflamável de Stahl.
 Hépar: ver fígado de enxofre.
 Mofeta: ver ar flogisticado.
 Muriato superoxigenado de potassa: *clorato de potássio*.
 Óleo de vitríolo: ver ácido vitriólico.
 Ouro fulminante: Óxido de ouro amoniacal.
 Oxigênio: ver ar desflogisticado.
 Pirita: Termo para os sulfetos metálicos de ferro ou de cobre.
 Potassa: *Carbonato de potássio*.
 Precipitado *per se*: *Óxido vermelho de mercúrio*.
 Salitre: nitro, *nitrate de potássio*.
 Sal marino: *cloreto de sódio*.
 Soda: *carbonato de sódio*.
 Soda cáustica: *hidróxido de sódio*.

REFERÊNCIAS

1. Bensaude-Vincent, B., "Lavoisier, mémoires d'une révolution", Flammarion, Paris, 1993.
2. L'Actualité chimique, no. 2, março-abril de 1994, revista da Sociedade Francesa de Química, número especial do bicentenário de Lavoisier, conjunto de artigos coordenados por D. Fauque, dentre os quais:
 - 2a. Fauque, D., "De la chimie des gaz à la théorie des acides: du rôle de l'oxygène (1772-1779)", p. 22-26.

- 2b. Compain, J.C.: "L'eau, la fin d'un élément", p. 27-31.
 - 2c. Brouzeng, P. e Fauque, D., "Eléments d'histoire d'un concept disparu: le calorique", p. 32-35.
 - 2d. Bensaude-Vincent, B., "La balance: un univers de mesure", p. 36-39.
 - 2e. Poirier, J. P., "Madame Lavoisier", p. 44-47.
 - 2f. Beretta, M., "La bibliothèque de Lavoisier", p. 48-51.
 - 2g. Jacomy, B., "Une visite au laboratoire de Lavoisier", p.52-54.
3. Beretta, M., "The enlightenment of matter: the definition of chemistry from Agricola to Lavoisier", Watson Publishing International, 1993.
 4. Donovan, A., "Antoine Lavoisier, Science, administration and revolution", Blackwell, Oxford, 1993.
 5. Poirier, J. P., "Antoine-Laurent de Lavoisier (1743-1794)", Pygmalion, G. Watelet, Paris, 1993.
 6. Fauque, D., "La chimie avant Lavoisier", L'Actualité chimique, no. 1, Jan-Fev. 1994, p. 57-63.
 7. Beretta, M., "A new course in chemistry, Lavoisier's first chemical paper", Bib. Nuncius, XIII, L.S. Olschki, Firenze, 1994.
 8. Crosland, M., "Lavoisier's theory of acidity", Isis, (1973), 64, 306-325.
 9. Goupil, M (ed.), "Lavoisier et la révolution chimique", actes du colloque, Ecole Polytechnique, Sabix, Paris, 1989.
 10. Guyton de Morveau, Lavoisier, Berthollet, Fourcroy, "Méthode de nomenclature chimique", introduction de B. Bensaude-Vincent, Seuil, Paris, 1994.
 11. Abbri, F., "Science de l'air: studi su Felice Fontana", Brenner, Cosenza, 1991.

Bibliografia suplementar não citada no texto

1. Bensaude-Vincent, B., "Dans le laboratoire de Lavoisier", coll. le Monde en poche, Nathan, Paris, 1994.
2. Daumas, M., "Lavoisier", Gallimard, Paris, 1941.
3. Id., "Lavoisier, théoricien et expérimentateur", PUF, Paris, 1955.

Obras de Lavoisier

1. Lavoisier, A. -L., "Oeuvres", ed. J. B. Dumas, Paris, 1864 - 1986.
2. Id., "Oeuvres, Correspondance", vol. V, ed. M. Goupil, Académie des Sciences, diff. Blanchard, Paris, 1993.
3. Id., "Traité élémentaire de chimie", 2 t., reedição, J. Gabay, Paris, 1992.