

AS POSSÍVEIS ORIGENS DA QUÍMICA MODERNA

Ana Maria Alfonso-Goldfarb

Pontifícia Universidade Católica de São Paulo - São Paulo - SP

Márcia Helena Mendes Ferraz

Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto - Universidade de São Paulo - Ribeirão Preto - SP

Recebido em 14/4/92

Even in the XVIII th Century, Antoine-Laurent Lavoisier was considered the main personality of the Chemical Revolution in progress at that time. Historiographic revision in recent years of scientific revolutions has also had an impact on the so-called Chemical Revolution, and dislocated Lavoisier from the central role attributed to him for two centuries. The present paper resumes Lavoisier's works in an attempt to reconsider whether they were revolutionary or not. Nowadays transformations or revolutions in the sciences are known to depend on neither a paramount name nor a major work. Nevertheless, an in-depth study of Lavoisier's writings shows that they were of vital importance for the establishment of what it is now called Modern Chemistry.

Keywords: Chemical Revolution, Transformations in the Sciences, Theory of Oxygen, Pneumatic Chemistry, Composition of Matter, Modern Chemistry.

Segundo a visão clássica da história da química, existe uma única e clara origem para essa ciência em sua formulação moderna: Antoine Laurent Lavoisier e seu grupo de pesquisadores. Essa paternidade histórica seria devida a dois motivos principais: 1) A derrubada da teoria do flogístico, último bastião da velha teoria sobre a natureza e ainda com profundas raízes na alquimia; 2) A reutilização da química pneumática, teoria promissora que datava do século anterior a Lavoisier e que este soube valorizar colocando num novo e conveniente contexto.

A estes somem-se as aclamadas experiências de Lavoisier - famosas por sua precisão - e sua preferência pela elaboração de um trabalho em termos quantitativos e teremos quase todos os contornos de uma ciência moderna.

Essa visão é considerada pela maioria dos historiadores da ciência na atualidade como uma "caricatura do real". Entretanto, como nos lembra C.Perrin, destacado estudioso das origens da química, toda caricatura tem seu fundo de realidade¹, pois a reivindicação de "paternidade" da disciplina que nasce em finais do século XVIII, bem como os dois motivos principais supracitados para embasar tal reivindicação, foram do próprio Lavoisier e encontram-se em sua memória de 1777 à Academia Real de Ciências intitulada: "Reflexões sobre o flogístico". Senão vejamos:

" ... se tudo se explica em química de uma maneira satisfatória sem a ajuda do flogístico, só por isso é infinitamente provável que esse princípio não exista, que seja um ser hipotético, uma suposição gratuita ... uma opinião que vejo como um erro funesto à química, e que me parece ter retardado consideravelmente os progressos (desta) pela maneira equivocada de filosofar que ela introduziu. Rogo-lhes, meus leitores ... despojarem-se tanto quanto possível, de todo preconceito; verem nos fatos apenas o que lhes apresentam, banirem tudo o que o raciocínio supôs, transportarem-se por um momento, se possível, de que sua teoria existiu" ².

Os "tempos anteriores a Stahl", aqui referidos, como nos explica o próprio Lavoisier mais adiante, são aqueles em que a química pneumática de Boyle a Boerhaave parecia oferecer

um futuro promissor à disciplina. A aceitação das reivindicações de Lavoisier pela maioria da "comunidade científica" da época virá quando, após alguns anos de publicação dessa memória, tornarem-se conhecidos os experimentos sobre a composição da água em que seu nome e o de Laplace estavam envolvidos e que, como veremos mais tarde, foram a peça final que faltava à sua teoria. A teoria elaborada por Lavoisier e seu grupo tomou a forma de um mito na própria época de seu nascimento, não só pelo caráter polêmico (em relação ao já estabelecido), mas principalmente pelo novo *status* que aparentemente emprestara à química que, sob a roupagem da nova nomenclatura, aparecia como a última e mais instigante das novidades científicas. Esse mito teria se aderido como uma pele, um revestimento, à história da química, adaptando-se às transformações e maturações desse organismo: assimilando o caráter nacionalista e apologético da ciência na França do século XIX, ou sendo assumido como divisor de águas entre a ciência química e pré-química no século XX³.

Nos últimos vinte anos, numa espécie de urgência trazida pela proximidade da comemoração dos dois séculos do *Traité Elementaire de Chimie* (obra máxima de Lavoisier), e à luz da moderna historiografia da ciência - num movimento parecido ao que temos assistido sobre a própria Revolução Francesa - muitas questões têm sido levantadas sobre a natureza da suposta "Revolução Química" introduzida por Lavoisier e seus seguidores.

As perguntas seriam, grosso modo, as seguintes:

Teria existido de fato uma "Revolução Química"? Ou foi esta denominação dada ao auge de um processo referente aos estudos sobre a composição da matéria? Em tal caso, não teria sido Lavoisier apenas um ponto chave numa longa transformação das idéias da química que de fato só ganharia corpo - e modernidade - com trabalhos como os de Dalton e Avogadro? Seria, pois, esta uma "revolução" com a duração de mais de um século? Se for afirmativa a resposta a essa questão, não teríamos que substituir o termo "revolução" por transformação? Ou ainda, se de fato o trabalho de Lavoisier e seu grupo foi "revolucionário" em relação à conceituação que se fazia de ciência química na época, teria esta entrado a partir de tal trabalho efetivamente em sua fase moderna? A estas questões ainda se agrupam aquelas sobre a natureza de tal "revolução", a saber: Que revolução seria esta em que o próprio

Lavoisier não soube precisar o ponto focal? (Ao longo de suas memórias a natureza de sua "revolução" vai mudando, tornando-se, por fim, muito ampla e vaga a oposição que fazia às outras teorias). Quais seriam os conceitos realmente novos em seu sistema? Ou ainda: Que revolução foi esta que em menos de vinte anos teve seus conceitos principais desmontados pelos estudos de Humphry Davy? Estas questões foram levantadas por importantes historiadores da química na atualidade, tais como: J. B. Gough, R. Siegfried, B. J. Dobbs, F. L. Holmes e A. Donovan, entre outros⁴. Sendo que Donovan, o último aqui citado, ainda acrescenta uma questão muito interessante sobre a revolução química de Lavoisier: teria sido esta uma revolução em química? E em tal caso a química seria considerada como uma ciência já estabelecida e o aspecto revolucionário seria rebaixado a nível de mera transformação nessa ciência. Ou seria esta uma revolução na ou para a química? Ou seja, com ela a química teria se introduzido de fato na ciência moderna, o que preserva o caráter revolucionário dessa teoria em seu sentido mais pleno⁵.

Pareceu-nos que uma forma de elucidarmos tais questões talvez fosse a volta aos trabalhos de Lavoisier e seu grupo, para assim avaliar melhor ao que estes se contrapunham e com o que concordavam, para, a partir daí, compreender seu sistema químico. E só então julgar a dimensão revolucionária de seu trabalho.

A fórmula para penetrarmos na obra de Lavoisier nos foi dada por Perrin, que acredita ser a chave para abordar esses trabalhos a própria noção que Lavoisier tinha deles: a de um "projeto", um grande projeto cheio de ramificações gerando novos projetos e assim *ad infinitum*. Esta visão parece encaixar-se muito bem à imagem desse pensador francês, um verdadeiror *polimat* da ciência do século XVIII, cujos estudos cobriram desde a geologia até a pneumática, e desde a iluminação de Paris até a pesquisa sobre explosivos. Estava ele sempre envolvido com o que chamava de "planos" onde programava antecipadamente experimentos dedicados ao estudo de pontos problemáticos da ciência da época. Naturalmente, suas pesquisas restritas à química acompanharam esse mesmo padrão, senão vejamos:

Dedicado aos estudos dos reservatórios de água de Paris, Lavoisier dá início a um plano de pesquisa acerca da solubilidade de vários materiais em água. Ao que aproveita para agregar seu interesse sobre as propriedades dos minerais, cujo estudo vinha desenvolvendo num projeto conjunto com J.E. Guettard, o grande geólogo francês do século XVIII. Surge daí seu primeiro trabalho apresentado à Academia Real de Ciências de Paris, em 1765, sendo este já um estudo de cunho químico, onde desenvolve a questão das propriedades de vários tipos de gipsita e, em particular, de sua água de cristalização. Preocupava-lhe o fato de que quando aquecido moderadamente (+ ou - 120°C) o material macerado em contato com a água recristaliza novamente, solidificando-se. Enquanto que, se sobreaquecido, este material perde a propriedade de cristalização na presença de água. Lavoisier

*"afirmava que não especularia sobre as razões para essa ocorrência. Poderia, sim, fazer algumas sugestões ou conjecturas, mas especulações desse tipo estariam fora de lugar na ciência química onde os experimentos devem controlar cada avanço ..."*⁶

Lavoisier teria inaugurado, assim, a estratégia de *hipoteses non fingo* na química.

O experimento não era original, A.S. Marggraf já havia determinado a composição da gipsita em 1750 em Berlim, mas o que nos interessa aqui é notar como este estudo inicial se encaixa nos "projetos" de trabalho de Lavoisier. O jovem, que então contava 21 anos de idade, já demonstra af uma forma de procedimento que irá manter ao longo de seus estudos: Por um lado, a precisão mais absoluta possível e o cuidado

de repetir (ou buscar) experimentos contendo questões problemáticas (por exemplo, as teorias da época não davam conta da explicação do fato de a gipsita não recristalizar se sobreaquecida). Por outro lado, não avançar conclusões que escapassem à justificativa experimental⁷.

Aliás, cabe lembrar aqui que Lavoisier - assim como a maioria dos estudiosos em química desse período - tinha conhecimento de que as teorias químicas da época não conseguiam explicar um sem número de problemas, que permaneciam insolúveis, enquanto uma quantidade igual deles permanecia fracamente justificada. Não havia uma única teoria do flogístico, senão os vários experimentadores tendo como pano de fundo a influência dessa teoria, que a aplicavam e modificavam conforme o rumo de seus trabalhos. Havia, portanto, várias teorias do flogístico, o que também era verdade em relação às teorias dos chamados químicos newtonianos ou mecanicistas. Lavoisier era, pois, apenas cuidadoso em relação a esses fatos e não - ao menos no princípio - um contestador⁸.

Será durante a realização de seus "projetos", nos anos seguintes, que Lavoisier irá delinear os primeiros questionamentos em relação a essas teorias.

Em 1765, vamos encontrar uma série de observações feitas pelo químico francês a respeito do aumento de peso de certos materiais a partir da calcinação dos mesmos. Suas dúvidas envolvem a explicação dada pelos flogistas para esse fato, pois segundo estes, o flogístico era uma substância tão extremamente leve que chegava a ter *peso negativo*, diminuindo o peso do material quando a este se agregava. Ao se desprender do material durante a calcinação, este último recuperava seu peso original, que havia diminuído graças ao *peso negativo* do flogístico a ele agregado! Lavoisier considera as conclusões não muito esclarecedoras e acredita que essa questão mereceria um futuro projeto de investigação. Estamos no ano de 1766, quando Lavoisier recebe um prêmio por seu plano sobre a iluminação de Paris, no desenvolvimento do qual tomará contato com os problemas envolvidos na combustão e calcinação ao buscar novos comburentes, mais eficazes e baratos do que os já conhecidos⁹.

No ano de 1768, através de uma série de experimentos minuciosos com os quais Lavoisier pretende verificar a teoria de Boyle a respeito dos fenômenos de combustão e calcinação aos quais se relacionava a questão da interconvertibilidade dos elementos, o estudioso francês tem seu primeiro choque frontal com os adeptos do mecanicismo pneumático - como vimos anteriormente a segunda grande corrente química nessa época. Boyle havia chegado à conclusão, no século anterior, de que o material terroso encontrado num frasco hermeticamente fechado, contendo água e submetido a contínuo aquecimento era prova da conversão da água em terra. Um experimento diverso, envolvendo crescimento de plantas, mas tendo o mesmo objetivo, havia sido elaborado por Van Helmont no século XVII¹⁰. Lavoisier irá destilar ininterruptamente por 101 dias uma amostra de água num pelicano selado e submetido a aquecimento brando, onde irá se verificar a formação do material terroso. Após a pesagem detalhada do frasco, da amostra de água e do material terroso, Lavoisier prova que este último era advindo do vidro do pelicano e não produto da "transmutação" da água em terra. Além disso, Lavoisier também fizera a pesagem do sistema antes e depois da abertura do selo, comprovando outro equívoco nas conclusões de Boyle. Segundo este, o aumento de peso do sistema final obedecia ao mecanismo de ganho de peso em todas as combustões e calcinações, que seria o da penetração das "partículas de fogo" no recipiente. Lavoisier observa que se este princípio fosse verdadeiro, o aumento do peso já deveria ter ocorrido ainda com o frasco selado, e que a diferença de peso entre o frasco selado e depois de aberto deveria ser atribuída antes ao "ar" admitido - de forma ruidosa - no interior do recipiente no exato momento da abertura deste. Boyle observara o ruído, mas sua obsessão pela teoria sobre as "partículas penetrantes"

do fogo não lhe permitira chegar à conclusão devida¹¹.

A hipótese sobre o papel do "ar" na química será guardada, a partir dessa ocasião, carinhosamente por Lavoisier e usada em seus próximos projetos de pesquisa. Combinada a essas novas idéias do químico francês, estará a desconfiança a respeito de todas as formas genéricas e não comprováveis de "princípios", "elementos" e afins. Desconfiança esta que irá num crescendo conforme se desenvolvem seus projetos experimentais¹².

Chegamos ao ano de 1772 - o "ano crucial" para Lavoisier, segundo Henry Guerlac, um dos mais autorizados estudiosos do químico francês - no decorrer do qual este teria a oportunidade de levar a cabo uma série de experimentos para pôr à prova vários dos pontos problemáticos das teorias então vigentes. Eram três, basicamente, as preocupações de Lavoisier nesse período: 1) A verdadeira natureza dos metais e minerais (conforme a terminologia utilizada na época que diferenciava uns dos outros); 2) A questão do aumento do peso nos fenômenos envolvendo a ação do fogo; 3) o papel do "ar" nesses processos e na "revivificação" das então chamadas cais "metálicas" - nossos óxidos, para cuja denominação e estudo do processo, Lavoisier virá a desempenhar papel fundamental-.

A questão do "ar", como vimos anteriormente, era algo que já vinha chamando a atenção de Lavoisier há tempos. Na verdade, este assunto fora o fulcro da chamada química pneumática no século anterior, tendo-se depois dividido em dois ramos principais: o dos mecanicistas ou químicos newtonianos, uma miríade de seguidores de Boyle na Inglaterra e alguns poucos no continente, como Boerhaave; e a dos flogistas ingleses cujas figuras mais destacadas seriam J. Black, J. Priestley e H. Cavendish. A química pneumática, que para alguns historiadores teria dado seus melhores frutos até então mais à física do que à própria química, parecia destinada a se tornar uma ciência de estudiosos ingleses não fosse o entusiasmo com que alguns poucos continentais a retomaram¹³.

Lavoisier e um pequeno grupo de franceses, formado em torno de G.-F. Rouelle e, posteriormente, de Michel Bucquet - experimentadores e demonstradores do Jardim do Rei - enveredam por esse caminho e encontram inicialmente pouca receptividade entre seus pares¹⁴. Lavoisier, que já havia atacado algumas das idéias de Boyle - sobretudo no que concerne ao mecanicismo-atomista mais rude deste - ainda assim permanece na crença de que se bem desenvolvidas as idéias dos pneumáticos poderiam trazer resultados interessantes. Quanto a isto, basta nos lembrarmos do início de sua fala nas "Reflexões sobre o flogístico". Entusiasma-se, particularmente, com o trabalho de um botânico newtoniano chamado Stephen Hales, que estudara o papel do ar atmosférico no crescimento de plantas e animais. Hales extrairia o "ar" de vários materiais, mas por acreditar que esse "ar" era o mesmo em todos os casos, funcionando apenas como um cimento que mantinha unidas as partículas dos corpos - por isso considerar-se newtoniano - preocupou-se apenas com a quantidade de "ar" extraído de cada um dos materiais e não com a qualidade deste. Seus relatos experimentais nos mostram um Hales minucioso na medição do volume ocupado pelo "ar" de um determinado material após o que, sem pestanejar, liberava esse "ar" sem se inteirar do que havia medido¹⁵.

Esse "ar" genérico inicial, começa a ganhar mais forma a partir da descoberta de Black sobre o "ar fixo" (nosso dióxido de carbono/ gás carbônico) assim chamado porque se encontrava fixado aos materiais dos quais Black conseguiu extraí-lo¹⁶.

Lavoisier fica profundamente influenciado pelas observações de Black e, apesar de sua admiração por Hales, tem clareza suficiente para perceber o erro na avaliação qualitativa deste em relação ao "ar" extraído dos corpos. O "ar" de fato não era um mero meio mecânico onde os processos químicos ocorriam, ele certamente participava na formação dos corpos - como já havia notado Hales - mas, mais ainda, os experi-

mentos de Black demonstravam que não era somente o "ar" genérico e homogêneo o que existia, mas os "ares", provavelmente vários. E isso instigava Lavoisier porque, se fosse verdade, ficaria definitivamente provado que o "ar" não é um meio, mas talvez uma multiplicidade invisível participando da matéria química¹⁷. E será movido por essas idéias que Lavoisier dará início a seu grande projeto na busca da compreensão do papel do "ar" (ou dos "ares") nos processos químicos, durante o "ano crucial" de 1772. Esta série de experimentos passaram pela combustão de diamantes (realizada em conjunto com P. J. Macquer, L. C. Cadet e M. J. Brisson), calcinação e combustão - processos que Stahl já havia dado como equivalentes - de enxofre, fósforo e vários metais. Seria interessante notarmos aqui que Lavoisier e seu grupo farão uso de poderosas lentes durante os experimentos num processo que seria chamado "via seca", uma forma pouco usada até então. Esses experimentos levantariam algumas questões peculiares sobre a calcinação e a combustão¹⁸, pois o papel do ar fica aí mais evidenciado. O diamante não evapora, fica então claro com o uso das lentes que este entra em combustão se o "ar" estiver presente; os minerais, como o enxofre, têm seu peso aumentado exatamente como os metais. Mas, vamos citar o próprio Lavoisier:

"Há oito dias atrás descobri que o enxofre, queimando, ao invés de perder peso, muito pelo contrário ganha ... o mesmo acontecendo com o fósforo; esse aumento de peso vem de uma prodigiosa quantidade de ar que é fixado durante a combustão ...

*Essa descoberta estabeleci através de experimentos que considero decisivos, pois levaram-me a pensar que aquilo que é observado na combustão de enxofre e fósforo pode muito bem estar acontecendo no caso de todas as substâncias que ganham peso por combustão e calcinação: e estou persuadido de que o aumento de peso das cais metálicas é devido às mesmas causas. O experimento confirmou completamente as minhas conjecturas: fiz a redução do litargírio [cal de chumbo, o nosso monóxido de chumbo] em vasos fechados com o aparato de Hales [aquecendo a cal de chumbo com carvão], e observei que assim que a cal se transformou em metal, uma grande quantidade de ar foi liberada e que esse ar formou um volume 1000 vezes maior que a quantidade de litargírio empregada ..."*¹⁹

Lavoisier acredita que o ar combinado com o material ocupa pouquíssimo espaço - uma das questões levantadas pelos opositores dessa idéia - porque perde sua elasticidade na combinação, recuperando-a ao ser liberado.

O interesse de Lavoisier pelo ar insere-se, além do mais, com nítida justeza, em sua busca de componentes quantificáveis para a construção do universo de processos químicos, até então constituído por luz, calor e fogo. Por exemplo, o próprio Macquer, um dos companheiros de Lavoisier nos experimentos com o diamante, acredita ser um fenômeno flogístico o que estavam assistindo. Posto que, para ele, a essência do flogístico era a luz, ou seja, exatamente o que estava sendo manipulado através das possantes lentes de aumento. Lavoisier refuta prontamente essa argumentação através de uma simples pergunta: Por que essa mesma luz (se de fato essa luz era o flogístico em seu estado mais puro) que transformara o metal em cal não "revivificava" esta cal novamente em metal sob a ação das lentes?...

Assim, para Lavoisier, o metal passa a ser um composto de terra vitrificável + um princípio inflamável (até aqui nada de novo)²⁰, mas a estes acrescenta o "ar fixo" como uma constante. Todavia, em 1773, começa a fazer críticas mais duras à fusão feita por Hales entre o ar atmosférico e o "ar" liberado na combustão. Críticas que irá estender a Black e seus seguidores por insistirem na natureza completamente di-

versa do ar atmosférico e do "ar fixo" - que, afinal, bem poderia ser parte do primeiro-. Parece-lhe que a resposta não está nem bem com um extremo (que tudo confunde) nem bem com o outro (que tudo faz divergir).

Suas questões sobre qual seria a natureza do ar que entra na formação dos corpos e qual a relação deste com o ar liberado não estavam nem sequer no escopo das duas conjecturas anteriores²¹. A partir daí segue-se uma bateria de experimentos sobre a "revivificação" do minium (óxido vermelho de chumbo) com carvão. Comparando o "fluido elástico" liberado nesse processo com o "ar fixo" de Black, conclui que estes se equivalem²². A pergunta para Lavoisier passa a ser então: O que entra na composição dos corpos é somente o "ar fixo"? Então Black tinha razão? Lavoisier deixa entrever sua indefinição a esse respeito; alguma coisa não se encaixa nesse quebra-cabeças e as reticências encontradas em seus escritos desse período parecem mostrar isso, cheios que estão de idas e vindas e titubeações.

A seqüência desses escritos que vão de 1772 a 1774 será grosso modo a seguinte. À nota selada de novembro de 1772, acima referida, em que o papel do ar nas reações de combustão e calcinação é estabelecido, segue-se o longo memorandum escrito em seu caderno de laboratório em fevereiro de 1773, onde Lavoisier coloca a crítica às teorias sobre o ar elaboradas até então, em particular no caso de Hales e Black, como vimos anteriormente. É tal a sua convicção que a clarificação desses pontos nebulosos sobre a participação do ar no universo químico estabelecerá um novo panorama nas ciências naturais, que o estudioso francês chega a prever: "uma revolução na física e na química"²³. Nessa mescla de expectativa e dúvida tem seqüência suas publicações com os *Opúsculos Físicos e Químicos*, em janeiro de 1774, onde o experimento com o minium parece resolver o problema da natureza do "ar" desprendido durante a redução, com a igualdade que estabelece entre o "ar fixo" e o "fluido elástico". Mas permanece ainda a dúvida para Lavoisier sobre a relação entre este "ar" desprendido e aquele fixado durante a combustão/calcinação ... o quebra-cabeças persiste.

Nessa época, por não encontrar coerência entre as várias peças que tem em mãos para formular uma teoria, Lavoisier "comete" o que consideramos o seu "primeiro malabarismo". Em outubro de 1774, conhece Priestley quando da visita deste a Paris que, numa conversa informal, comunica-lhe a descoberta do que ele chamava de "ar puro", obtido pelo aquecimento da "cal de mercúrio"²⁴. Lavoisier deve ter reprocessado a informação de Priestley para o seu próprio código, a saber: se nem sempre é o "ar fixo" a sair das substâncias, então este não deve ser o único a com elas se combinar.

Nova série de experimentos é planejada para demonstrar que 1) o precipitado vermelho de mercúrio é uma cal, o que Lavoisier comprova aquecendo-o - como tradicionalmente - com carvão e obtendo o também tradicional "ar fixo"; 2) que o novo "ar" obtido pelo aquecimento dessa cal sem a adição de carvão é diferente do "ar fixo". Suas idéias devem então ter chegado a um patamar de maturidade tal que lhe foi possível dar o rápido salto: o "ar puro" é o que na verdade se combina com o metal durante a calcinação, formando a cal, e o "ar fixo" nada mais é do que esse "ar puro" liberado e combinado com a "matéria carbonácea" proveniente do carvão em queima.

Senão vejamos:

*"Uma vez que o carbono desapareceu completamente na revivificação da cal de mercúrio, e obtivemos nada além de ar fixo e mercúrio, somos forçados a concluir que o princípio ao qual até agora se tem dado o nome de ar fixo" é o resultado da combinação da porção eminentemente respirável do ar ("ar puro") com o carvão."*²⁵

O flogístico deixa de ser, a partir desse momento, um dos

termos da equação química para Lavoisier, em compensação, o "ar puro" é imediatamente incorporado, digamos que quase num ato de fé, já que para ser completa a teoria que vinha desenvolvendo com seu grupo, ainda várias sessões de esforço concentrado - em torno de planos e projetos - faziam falta²⁶.

De qualquer maneira, enquanto a teoria em formação ainda dependia de um grande número de refinamentos para se tornar a nova teoria química, o "ar eminentemente respirável" tornava-se sua vedete. Apoiado por toda uma rede de experimentos, entrava na reinterpretação de todas as formas de "combustão" ou fenômenos que passam a ser considerados similares: combustão propriamente dita (via ígnea), respiração (via seca), e o ataque com ácidos (via úmida).

Neste último caso, os experimentos desenvolvidos por Lavoisier ao longo de 1777 o levarão à conclusão de que o "ar eminentemente respirável" é o princípio constituinte da acidez. Um princípio comum a todos os ácidos, que por isso receberia a denominação de "oxigênio", do grego *formador de ácidos*. E já que a combustão envolve o oxigênio, todo produto gerado por ela deveria dar origem a um ácido (os ácidos seriam "óxidos aquosos" para Lavoisier)²⁷.

Aqui está exatamente o ponto onde falta a peça para a articulação da nova teoria química a que se propunha o grupo ao redor de Lavoisier. Chegamos então ao momento que consideramos seu "segundo malabarismo". Nessa época vinham se desenvolvendo vários experimentos com o que então se chamava "ar inflamável" (nosso hidrogênio), dando continuidade e ampliando aqueles realizados no século anterior. A marca característica desses experimentos era o trabalho com uma multiplicidade de "ares inflamáveis", para seleção dos quais não existia um padrão único. Será Cavendish o primeiro a chamar a atenção para o fato, advertindo que o "ar inflamável" a ser estudado deveria ser o produto da reação de metais com ácido diluído. As observações de Cavendish estimulam uma nova série de estudos, agora com o "ar inflamável" por ele padronizado, a que irão se dedicar além do próprio Cavendish, Priestley e Watt entre outros. Entretanto, para Lavoisier e seus seguidores, o estabelecimento desse novo padrão para o "ar inflamável" acrescentava mais um problema à comprovação de sua teoria: a queima do "ar inflamável" com o "princípio acidificante" (o "ar eminentemente puro" ou oxigênio) não produzida um ácido. Aliás, parecia não produzir nada apesar da aparente perda de peso dos componentes. Ao final do processo apenas algumas gotículas de água eram encontradas, provavelmente fruto da condensação da umidade do ar durante a reação, e portanto apenas uma falha na elaboração do experimento!

Por fim, guiado por uma série de observações a respeito da densa nuvem de vapor surgida durante a reação (numa campânula de vidro fechada), Cavendish chega à conclusão de que o produto final desta era pura e simplesmente água. Por ser um adepto do flogístico, o estudioso inglês irá explicar o processo nos seguintes termos: "ar inflamável" (e, portanto, altamente flogisticado) + "ar puro" (bom para a respiração e, portanto, altamente deflogisticado) = água. Que também poderia ser traduzido por ar puro (oxigênio) = a água - flogístico, ou seja, o "ar deflogisticado" nada mais é do que água desprovida de flogístico. Do que podemos concluir que a água é a estranha combinação de uma substância riquíssima em flogístico, quase que a exemplificação deste, com outra que era a própria ausência desse "princípio".

Estamos nos primeiros anos da década de 80 do século XVIII, e a história que se segue ainda é motivo de discussão entre os estudiosos das origens da química moderna. Cavendish faria as suas descobertas sobre a composição da água, mas levaria algum tempo (mais de um ano) para torná-las públicas. Lavoisier que entre 1781-82 realizara os experimentos de resultados frustrantes com o "ar inflamável", fica sabendo através de um amigo comum sobre os resultados obtidos por Cavendish a respeito da questão que o vinha preocupando nos

últimos tempos. Desenvolve então uma série de experimentos - contando com a parceria de P. S. Laplace - que deitarão luz sobre os fatos obscuros e procederão ao ajuste final da teoria.

Existe uma série de lances, por parte dos seguidores de Lavoisier, e contra-lances por parte daqueles que apoiavam Cavendish, que não iremos aprofundar aqui. Apenas adiantaremos que esta discussão envolve a primazia da descoberta da composição da água e a omissão, ou simplesmente o descaso por parte de Lavoisier, em relação aos experimentos de Cavendish em seus relatos²⁸.

Através dos trabalhos com Laplace, Lavoisier conseguiria a análise e a síntese da água e com isto, além de solucionar seu problema sobre o ácido não obtido nos experimentos de 81-82, que auxiliaria no refinamento de sua teoria, também consegue uma prova final da inexistência do flogístico. Este seria um princípio absolutamente descartado do estudo dos processos químicos. E, principalmente, com a comprovação de que a água não era um elemento simples, concluiu o desmantelamento da teoria dos elementos: não era possível provar a interconvertibilidade; o fogo não era presença elementar e, portanto, detectável nas reações químicas; o ar atmosférico era um composto de vários "ares", já aí bastante bem estabelecidos; e, finalmente, a água, o último reduto elementar, desfazia-se e recompunha-se em partes diante dos experimentadores²⁹. Através da nova teoria sobre a água, Lavoisier e seu grupo também desvendam o problema apresentado por aquelas reações com óxidos metálicos que não exalavam "ar inflamável"³⁰.

As peças passam então a se encaixar quase que numa ordenação matemática, oferecendo por fim a Lavoisier sua tão almejada previsibilidade teórica. Um dos biógrafos de Lavoisier (A. McEvoy) considera que tenha sido a influência de E.B. de Condillac o que levou Lavoisier "a mapear de forma tão matemática e precisa o panorama da química"³¹. De fato, seus instrumentos de laboratório observavam critérios de exatidão de fazer inveja aos físicos. E isto era algo pouco comum entre os químicos da época, bastando para isso lembrarmos do comentário feito por G.-F. Venel na *Encyclopédie* (no verbete "Chimie") a respeito do uso do termômetro pelo químico, para ele tão inócua e desnecessário quanto o uso feito desse instrumento pelo médico³² !!!

Lavoisier confirma suas idéias sobre a necessidade de precisão no desenvolvimento da teoria quando em seu *Traité élémentaire de chimie* critica as teorias anteriores por partirem de conceitos vagos e desconhecidos para através deles atingir "fatos conhecidos e palpáveis". Sua proposta era exatamente o contrário, partir de fatos conhecidos para chegar a conceitos gerais. E nesse sentido, engana-se quem diz que o calórico é uma mera substituição do flogístico e de seu caráter difuso e geral³³.

A química passa então a se basear em um sistema funcional de elementos simples onde esses elementos serão o ponto final de uma análise que sempre poderia ser levada mais e mais longe. Aumenta ao infinito também, a possibilidade de ampliação e de desdobramentos da disciplina, lançando-a por isso - e aqui cremos sem dúvida - à modernidade. Essa possibilidade de uma articulação móvel, instável mas metódica, para a química será fundamental na medida em que as próprias teorias de Lavoisier podem ser superadas (como de fato o foram) por seguidores de seu próprio sistema. Abre-se um caminho para pensar em termos químicos todo o universo de fenômenos que antes pareciam restritos à física, como a questão do ar sempre assumido como mero meio mecânico pelos próprios químicos. A mudança radical de atitude em relação ao *status* dos fenômenos químicos será a causa principal da aceitação de sua nova nomenclatura, (elaborada em conjunto com Guyton de Morveau, A.F. Fourcroy, C.L. Berthollet) que emprestaria coerência e homogeneidade ao corpus teórico recém articulado.

Sem esta nova nomenclatura - onde as regras de linguagem e da matemática se fundem para a normatização dos fenômenos quí-

micos - teria sido infinitamente mais complicado (do que já foi) a introdução de certas inversões importantes da composição química colocadas pela nova teoria. Assim, muito do que era simples se tornou composto e vice-versa, por exemplo: a cal metálica (que antes era um corpo simples) em relação ao metal, passa a ser considerada um material composto.

Estaríamos também, pela primeira vez em milênios, diante da possibilidade da reorganização de uma nomenclatura - cujo caos já se havia tornado um mal crônico - onde nomes de constituintes apareciam em compostos dos quais não participavam ou deixavam de aparecer onde faziam de fato parte integrante³⁴. Essa correção e normatização dos rumos da química, essa mudança em seu *status* teórico, trariam o aumento de confiabilidade desta. Senão vejamos, era hábito entre os químicos, amantes do rigor e da ordem, utilizarem a linguagem da História Natural para fugir à vaga conceituação química até então existente. O próprio Fourcroy é um exemplo disso, já que em seus primeiros trabalhos acaba classificando as "gorduras" no reino animal³⁵.

Muita coisa ainda fica por ser levantada a respeito da aceitação que esta nova teoria química alcançaria. Mas, definitivamente, a ciência "qualitativa" do invisível mudaria radicalmente de *status* epistemológico e metodológico (e, parecidos, ontológico também). E se isto definitivamente não se constituiu numa revolução em e na ciência, então o que deveria ser discutido inicialmente é o próprio conceito de revolução, tema que aliás mereceria outra pesquisa à parte.

REFERÊNCIAS E NOTAS

1. C. E. Perrin; "Research Traditions, Lavoisier and the Chemical Revolutions", *Osiris*, 4 (1988), p. 56.
2. A. L. Lavoisier; "Refléxions sur le phlogistique", *Oeuvres*, II, Paris, 1862, p. 623-4.
3. A. Donovan, "Lavoisier and the Origins of Modern Chemistry", *Osiris*, 4 (1988), p. 217-19.
4. A literatura desse debate encontra-se muito bem representada nos seguintes trabalhos: C. E. Perrin, "Revolution or Reform: the Chemical Revolution and Eighteenth Century Concepts of Scientific Change", *History of Science*, 25 (1987), p. 395-423; H. Guerlac, "The Chemical Revolution: a Word from Monsieur Fourcroy", *Ambix*, 23 (1976), p. 1-4; J. B. Gough, "Some Early References to Revolution in Chemistry", *Ambix*, 29 (1982), p. 106-9; A. Levin, "Venel, Lavoisier, Fourcroy, Cabanis and the Idea of Scientific Revolution: the French Political Context and the General Patterns of Conceptualization of Scientific Change", *History of Science*, 22 (1984), p. 303-20; R. Siegfried e B. J. Dobbs, "Composition, a Neglected Aspect of Chemical Revolution", *Annals of Science*, 24 (1968), p. 275-93; R. Siegfried, "Lavoisier and the Phlogistic Connections", *Ambix*, 36 (1989), p. 31-40; B. Bensaude-Vincent, "Une mythologie révolutionnaire dans la chimie française", *Annals of Science*, 40 (1983), p. 189-6; J. B. Cohen, "The Eighteenth Century Origins of the Concept of Scientific Revolution", *Journal of the History of Ideas*, 37 (1976), p. 257-88.
5. Donovan, *loc. cit.*, p. 215
6. D. McKie, *Antoine Laurent Lavoisier: Scientist, Economist, Social Reformer*, Schuman, N. York, 1952, p. 44.
7. Perrin, *loc. cit.*, p. 55-64; sobre Lavoisier como planejador da ciência, especialmente p. 61-4 e 81; J. M. Stillman, *The Story of Alchemy and Early Chemistry*, Dover, N. York, 1960, p. 515; F. L. Holmes, "Lavoisier's Conceptual Passage", *Osiris*, 4 (1988), p. 88.
8. Perrin, "Lavoisier's Thoughts on Calcination and Combustion, 1772-1773", *Isis*, 77 (1986), p. 661-2; D. Oldroyd, "An Examination of G. E. Stahl's Philosophical Principles of Universal Chemistry", *Ambix*, 20 (1973), p. 36-52.
9. Perrin, *loc. cit.* (1988), p. 55-64.

10. H. M. Leicester, *The Historical Background of Chemistry*, Dover, N. York, 1971, p. 105-6; A. M. A. Goldfarb, *Da Alquimia à Química*, Nova Stella/EDUSP, S. Paulo, 1988, p. 203-4.
11. McKie, *op. cit.*, p. 62-4; A. J. Ihde, *The Development of the Modern Chemistry*, Dover, N. York, 1984, p. 60; Leicester, *op. cit.*, p. 134-40.
12. A. L. Lavoisier, *Tratado elemental de química*, Alfaguara, Madrid, 1982, p. 10-11.
13. Ihde, *op. cit.*, p. 32-54; Leicester, *op. cit.*, p. 130-7; Goldfarb, *op. cit.*, p. 194 e seq.; Stillman, *op. cit.*, p. 461-98.
14. A. F. de Fourcroy, *Elements of Chemistry and Natural History*; *apud*: Siegfried, "The Chemical Revolution in the History of Chemistry", *Osiris*, 4 (1988), p. 43.
15. Ihde, *op. cit.*, p. 33-5; Leicester, *op. cit.*, p. 132-3 e 140; Stillman, *op. cit.*, p. 461-3.
16. Houve um avanço nessa direção com o gás silvestre de Van Helmont no século XVIII, mas lembremo-nos que suas idéias sobre o gás como algo diferente do ar comum, não causaram impacto na época e foram esquecidos depois. Goldfarb, *op. cit.*, p. 202; sobre Black, vide Stillman, *op. cit.*, p. 464-7; Leicester, *op. cit.*, p. 132-4; Ihde, *op. cit.*, p. 35-8.
17. Lavoisier, "Sur la combustion en général", *Oeuvres*, II, p. 225-33.
18. Essas, até então, eram realizadas pela "via ígnea" (através do fogo) ou "via úmida" (pelo ataque de ácidos e álcalis).
19. Lavoisier, "Details historiques sur la cause de l'augmentation de poids qu'acquièrent les substances métalliques, lorsqu'on le chauffe pendant leur exposition à l'air", *Oeuvres*, II, p. 103.
20. Até aqui não muito distinto das teorias de Stahl (com o flogístico) e Geoffroy (e seu princípio sulfuroso na teoria das afinidades). Perrin, *loc. cit.* (1988), p. 66-8.
21. Caderno de Laboratório de Lavoisier de 1773, datado erroneamente de 1772. Perrin, *loc. cit.* (1986), p. 647-66; McKie, *op. cit.*, p. 73-4.
22. Lavoisier, "La nature du principe qui se combine avec des métaux pendant leur calcination et qui en augmente les poids", *Oeuvres*, II, p. 125-7.
23. Lavoisier, Memória de 1773, *apud* McKie, *op. cit.*, p. 74.
24. McKie, *op. cit.*, p. 82-3; Holmes, *loc. cit.*, p. 83-4.
25. Lavoisier, "La nature du principe...", *loc. cit.*, p. 128.
26. Stillman, *op. cit.*, p. 520 e seq.; McKie, *op. cit.*, p. 88-9 e 93-5; Holmes, *loc. cit.*, p. 88 e seq..
27. Leicester, *op. cit.*, p. 143; Ihde, *op. cit.*, p. 157-8; Stillman, *op. cit.*, p. 522-3.
28. Mais detalhes sobre esta controvérsia, vide: Stillman, *op. cit.*, p. 495-7; McKie, *op. cit.*, p. 116-22.
29. Lavoisier e Meusnier realizam novo e interessante experimento de análise da água, qual seja, o gotejamento de água sobre ferro aquecido ao rubro no qual ocorre decomposição da água com liberação de hidrogênio, e reação do oxigênio com o ferro formando o óxido. Lavoisier, *op. cit.*, p. 83-90; sobre a destruição dos elementos clássicos a partir da nova teoria de Lavoisier, vide Perrin, *loc. cit.* (1988), p. 56-7 e 76-8.
30. Vide McKie, *op. cit.*, p. 122-4.
31. J. G. McEvoy, "Continuity and Discontinuity in the Chemical Revolution", *Osiris*, 4 (1988), p. 203-5; Perrin, *loc. cit.* (1988), p. 77.
32. G. F. Venel, verbete "Chymie", In D. Diderot e J. R. d'Alembert, ed. *Encyclopédie, ou Dictionnaire raisonné des sciences, des arts et des metiers, par une Société des gens de lettres*, Paris, 1753, vol. III, p. 420-1.
33. Lavoisier, *op. cit.*, p. 8 e 9; sobre a questão do calórico ser ou não substituto do flogístico, vide Perrin, *loc. cit.* (1988), p. 78.
34. Lavoisier, *op. cit.*, p. 11-6; Morveau, Lavoisier, Bertholet e De Fourcroy, *Méthode de nomenclature chimique*, in: *Cahiers d'Histoire et de Philosophie des Sciences*, 6, (1983).
35. Alguns químicos tais como A. F. de Fourcroy, depois de se tornarem adeptos da nova teoria química, passam a deixar de lado o uso da classificação inerente à história natural para fazer uso de uma classificação finalmente química. A esse respeito, vide Siegfried, *loc. cit.*, p. 40 e seq.

Publicação financiada pela FAPESP