

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE CIÊNCIAS E  
MATEMÁTICA**

**EDSON GOMES DOS SANTOS**

**ANÁLISE DA REVOLUÇÃO QUÍMICA DE LAVOISIER EM ARTIGOS  
CIENTÍFICOS, PUBLICADOS NO BRASIL, NA ÓTICA DE THOMAS  
KUHN.**

**MARINGÁ – PR**

**2012**

**EDSON GOMES DOS SANTOS**

**ANÁLISE DA REVOLUÇÃO QUÍMICA DE LAVOISIER EM ARTIGOS  
CIENTÍFICOS, PUBLICADOS NO BRASIL, NA ÓTICA DE THOMAS  
KUHN.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência e a Matemática do Centro de Ciências Exatas da Universidade Estadual de Maringá, para defesa, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Educação para a Ciência e a Matemática. Área de concentração: Ensino de Ciências e Matemática.

Orientador: Prof. Dr. Ourides Santin Filho

**MARINGÁ – PR**

**2012**

## CIP – CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO

S2373a Santos, Edson Gomes dos.

Análise da revolução química de Lavoisier em artigos científicos, publicados no Brasil, na ótica de Thomas Kuhn / Edson Gomes dos Santos.

2012.

123 f.

Orientador: Prof<sup>o</sup> Dr. Ourides Santin Filho.

Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Maringá. Centro de Ciências Exatas. Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência e a Matemática. 2012.

1. Lavoisier, Antoine-Laurent, 1743-1794. 2. Kuhn, Thomas. 3. Revolução Química. 4. Química, História. 5. Ciências, História. I. Santin Filho, A., Dr. II. Título.

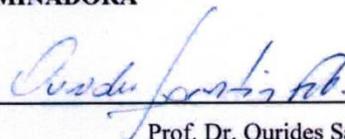
CDU 37:54(81)

**EDSON GOMES DOS SANTOS**

**Análise da Revolução Química de Lavoisier em artigos Científicos,  
publicados no Brasil, na ótica de Thomas Kuhn**

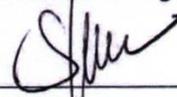
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência e a Matemática do Centro de Ciências Exatas da Universidade Estadual de Maringá, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Educação para a Ciência e a Matemática.

**BANCA EXAMINADORA**



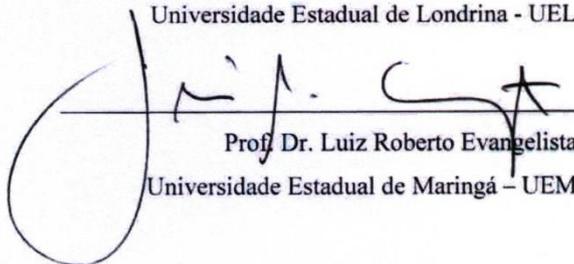
Prof. Dr. Ourides Santin Filho

Universidade Estadual de Maringá – UEM



Prof. Dr. Sérgio de Mello Arruda

Universidade Estadual de Londrina - UEL



Prof. Dr. Luiz Roberto Evangelista

Universidade Estadual de Maringá – UEM

Maringá, 13 de fevereiro de 2012.

À minha mãe Isabel Gomes dos Santos,  
por uma vida dedicada à sua família.

## AGRADECIMENTOS

À minha esposa Fernanda Pepinelli e meu filho Nathan Pepinelli, por compreenderem minha ausência em diversos momentos nesses últimos anos.

Ao Prof. Dr. Ourides Santin Filho, pelas aulas estimulantes e pela orientação.

À Prof. Dra. Marta Bellini por contribuir muito para minha formação durante o curso.

Aos amigos Nailor Marques por me ensinar que o conhecimento não ocupa espaço e adoça nossos corações, Raul Zermiani pelas horas de conversa e taças, Rogério dos Reis (Galóis) meu segundo irmão, Ledyane Forestcki e Daniel Gardelli pela paixão à filosofia da Ciência, Luiz Carlos Rodrigues (Seu Carlos) pela sabedoria e simplicidade, João Câncio Neto pela amizade, ao grande camarada Prof. Dr. Fabiano César Cardoso pelo incentivo contínuo.

À meu irmão Fábio Gomes dos Santos, meu pai José Fabiano Santos, e meus sogro e sogra, Nelson Pepinelli e Eline Pepinelli.

## **Análise da Revolução Química de Lavoisier em artigos científicos, publicados no Brasil, na ótica de Thomas Kuhn.**

### **RESUMO**

A abordagem histórica e descritiva proposta por Thomas Kuhn, da transformação do pensamento científico, pressupõe a noção de *revolução científica*, etapa em que o arcabouço teórico, metodológico e instrumental de uma teoria científica (paradigma) é substituído por outro. Essa abordagem expõe o profundo caráter filosófico, histórico e social das Ciências, na medida em que mostra que as mudanças de paradigma são processos socialmente complexos e não-lineares. Em sua obra clássica *A Estrutura das Revoluções Científicas*, Kuhn, na qualidade de físico, traz detalhados exemplos de revoluções científicas ocorridas na Física. Na Química, ele afirma que o trabalho de Lavoisier constituiu-se também numa revolução, e comenta a impossibilidade de fazer atribuição da “descoberta” de novos elementos químicos (em particular do oxigênio) aos cientistas que com este gás se envolveram em meados do século XVIII. Após os trabalhos de Kuhn, diversos filósofos e historiadores da Ciência especularam a cerca da epistemologia da Física. Na Química, pelo menos no Brasil, tais discussões só recentemente têm-se feito presentes. Neste trabalho analisamos o caráter revolucionário da obra de Lavoisier, na concepção de Kuhn, apresentados nos artigos publicados no Brasil e que têm se constituído em importante meio de divulgação e de discussão epistemológica do trabalho do químico francês no ensino médio e superior no Brasil. Após exposição necessária do trabalho de Lavoisier e seus contemporâneos, apresentaremos os principais trabalhos que existem no Brasil, que discutem sua epistemologia, especialmente os artigos publicados nas Revistas, Química Nova e Química Nova na Escola. Os argumentos contidos nestes últimos serão discutidos à luz dos pressupostos de Kuhn que caracterizam esse momento da Ciência.

**PALAVRAS-CHAVE: Lavoisier, Thomas Kuhn, revolução química, história da ciência.**

## ABSTRACT

The historical and descriptive approach proposed by Thomas Kuhn about the transformation of scientific thought, presupposes the notion of scientific revolution, the moment which the theoretical, methodological and instrumental principles of a scientific theory (paradigm) are replaced by another ones. This approach exposes the profound philosophical, historical and social aspects of the Sciences, because it shows that paradigm shifts are complex and nonlinear social processes. On his classic work *The Structure of Scientific Revolutions*, Kuhn discusses, as a physicist, detailed examples of scientific revolutions that occurred in physics. In Chemistry, he says that the work of Lavoisier was also revolutionary, and he comments about the impossibility of being assigned to a single scientist the "discovery" of new chemical elements. In particular, the discovery of oxygen could not be attributed to the scientists who were involved with this gas in the mid-eighteenth century. After Kuhn's works, several philosophers and historians of science have speculated about the Physics epistemology. In Chemistry, at least in Brazil, such discussions have only recently been initiated. In this dissertation we analyze the revolutionary nature of Lavoisier's works, under Kuhn's perspective, within important papers published in Brazil and used in high school and graduate courses to discuss the epistemology of the work of the french chemist. After the exposure of Lavoisier's works and those of his contemporaries, we show the main literature that exists in Brazil, discussing their epistemology, especially the papers published in the journals *Química Nova* and *Química Nova na Escola*, which we discuss under the light of Kuhn's assumptions that characterize this moment in Science.

**KEYWORDS:** Lavoisier, Thomas Kuhn, the chemical revolution, history of science.

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	08
2. JUSTIFICATIVA E OBJETIVOS .....	12
2.1 História, Filosofia e Educação Científica .....	12
2.2 Lavoisier nos Livros Didáticos de Química .....	14
2.3 Lavoisier em Artigos Científicos .....	15
2.4 Problemas de Pesquisa .....	15
2.5 Objetivos do Trabalho .....	16
3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS .....	17
3.1 Análise Textual Discursiva como Aporte Metodológico .....	17
3.1.1 A Desmontagem de Unitarização do Texto .....	18
3.1.2 A Categorização .....	19
3.1.3 A Construção do Metatexto .....	21
3.2 Os textos Analisados .....	22
4. O PENSAMENTO QUÍMICO NO PERÍODO DE LAVOISIER .....	28
4.1 A teoria do Flogístico .....	28
4.2 Aspectos da Química Pneumática .....	30
4.2.1 O <i>ar fixo</i> de Joseph Black (1728-1799) .....	31
4.2.2 O <i>ar inflamável</i> de Henry Cavendish (1731-1786) .....	32
4.2.3 O <i>ar de fogo</i> de Carl Scheele (1742-1786) .....	33
4.2.4 O <i>ar desflogisticado</i> de Joseph Priestley (1733-1804) .....	35
4.2.5 O <i>oxygène</i> de Antoine Laurent Lavoisier (1743-1794) .....	37
5. O REFERENCIAL EPISTEMOLÓGICO: Kuhn - paradigmas, crises e revoluções .....	51
6. ANÁLISE DOS TEXTOS .....	68
6.1 Definição das categorias <i>a priori</i> .....	69
6.2 Análise dos Artigos .....	72
6.2.1 Análise do artigo: TOSI .....	72
6.2.2 Análise do artigo: ALFONSO-GOLDFARB e FERRAZ .....	88
6.2.3 Análise do artigo: FAUQUE .....	96
6.2.4 Análise do artigo: FILGUEIRAS .....	105
6.2.5 Análise do artigo: OKI .....	110
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	115
8. REFERÊNCIAS .....	118
9. ANEXOS .....	124

# 1 INTRODUÇÃO

O objetivo deste trabalho é analisar as concepções de autores que publicaram seus trabalhos sobre a vida e a obra de Lavoisier nas revistas *Química Nova* e *Química Nova na Escola*, buscando verificar se suas abordagens permitem caracterizá-la como uma Revolução na Química, sob a ótica de Thomas Kuhn, bem como fazer considerações a respeito do tema. Esses trabalhos estão disponíveis ao público em geral, o que inclui, evidentemente, professores de ensino médio e ensino superior. Vale destacar que esses trabalhos foram, até bem pouco tempo, as únicas referências mais confiáveis disponíveis no Brasil acerca do trabalho do químico francês e de seus contemporâneos.

O que despertou nosso interesse pelo tema foram as discussões acerca do *status* epistemológico do trabalho de Lavoisier conduzidas na disciplina de História e Filosofia da Ciência do Curso de Pós-graduação em Educação para a Ciência e a Matemática da Universidade Estadual de Maringá. Assim, a nosso ver, torna-se importante investigar qual é a abordagem que é dada nesses trabalhos e o quanto eles podem efetivamente ser adotados como exemplo para a epistemologia de Kuhn.

Segundo Beltran et al. (2004), as pesquisas autônomas em história da ciência surgiram nas primeiras décadas do século XX, enviesadas principalmente pela visão de George Sarton (1885-1956), historiador da ciência e fundador da revista *Isis*, periódico que até hoje é exclusivamente dedicado a publicações da área. Essa visão foi baseada na perspectiva de que o desenvolvimento do conhecimento científico é cumulativo, contínuo, progressivo e inevitável. Ainda segundo as autoras, essa perspectiva gerou anacronismos, pois pressupunha “todo o conhecimento passado objetivando o presente e, portanto criava uma interminável linhagem de ‘precursores’ ou ‘pais’ da ciência” (BELTRAN; GOLDFARB; FERRAZ, 2004, p. 51).

Para Fourez (1995) as pesquisas não focavam os aspectos sociais da produção do conhecimento científico, mas tão-somente o seu entorno pois,

Não se considerava que a ciência como tal pudesse ser estudada pela sociologia, mas admitia-se que, em torno da ciência, toda uma série de fenômenos podia ser considerada, seja pela sociologia, seja pela psicologia (Fourez, 1995, p.170).

A partir da década de 1940 surgiu uma tendência denominada externalista, em que as pesquisas em história da ciência se desenvolveram numa perspectiva social e política. Nessa linha, historiadores, filósofos e epistemólogos abordaram a ideia de que a Ciência é uma atividade histórica e socialmente construída.

Conforme Beltran et al. (2004), a ideia de que a ciência não se desenvolveu de forma homogênea e acumulativa e que fatores externos influenciam nesse desenvolvimento tomou corpo e contribuiu para que as pesquisas em história da ciência se afastassem cada vez mais das ideias de Sarton. Para Fourez (1995), pesquisadores como Robert King Merton, também na década de 1940, passaram a abordar mais intensamente a prática científica e a sociologia da comunidade de cientistas, ou seja, analisaram suas carreiras, suas recompensas, retribuições publicações, congressos, etc.

Sem analisar os conteúdos científicos ou os resultados das pesquisas (sempre considerados como de ordem racional e, portanto, impossíveis de serem estudados sociologicamente), os sociólogos queriam compreender os usos e costumes dos investigadores, as suas maneiras de se organizar, a sua carreira, a sua maneira de competir, as suas ambições, etc (FOUREZ, 1995, p. 171).

Já na década de 1960, Thomas S. Kuhn rompe definitivamente com a historiografia continuísta e estabelece que a pesquisa científica tem motivações fundadas nos seus antecedentes históricos, filosóficos e sociais,

Desta vez, aceita-se que a pesquisa científica é influenciada pelo seu ponto de partida, suas “lentes”, seus preconceitos, seus projetos subjacentes, etc. Aqui, a sociologia – ou história da ciência – começa a considerar *como os elementos sociais podem estruturar o conhecimento científico* (FOUREZ, 1995, p. 171).

Em sua obra mais conhecida, *A Estrutura das Revoluções Científicas*, Kuhn introduz as noções de *paradigma* e de *revolução científica*. Paradigma seria algo como uma espécie de “alicerce de pensamento” em cada ciência. Um conjunto de leis, modelos, teorias, instrumentos e exemplares, que determinam como deve ser a prática científica, enquanto que o termo Revolução Científica aponta para os períodos de mudança do paradigma, em que o pensamento e a prática científica são parcial ou totalmente modificados.

Diversos trabalhos (GIL-PÉREZ et al, 2001; FERNÁNDEZ, 2000; CACHAPUZ, 2005; MARTINS 2006) têm apontado que tanto os livros didáticos, utilizados para o ensino de ciências, quanto os professores que utilizam tais livros, apresentam uma visão distorcida a respeito da natureza do desenvolvimento da ciência. Os livros enfatizam os resultados alcançados pela Ciência, as teorias e conceitos que aceitamos e as técnicas de análise que utilizamos, mas não costumam apresentar outros aspectos, tais como o modo que essas teorias e esses conceitos foram construídos, como os cientistas trabalham, quais as ideias que não aceitamos hoje (mas eram aceitas antigamente), por que elas sofreram rejeição e quais as relação entre ciência filosofia e religião (MARTINS, 2006).

As pesquisas em ensino de ciências têm mostrado a relevância do papel desempenhado pela História e Filosofia da Ciência (HFC) para o ensino e aprendizagem das ciências, promovendo a transição de concepções simplistas para concepções mais elaboradas do que vem a ser o pensamento científico e suas realizações (MARTINS, 2006; LUFFIEGO 1994). Algumas pesquisas no Brasil (ARRUDA et al, 2001; LIMA, 1999; PAULA, 2004) em ensino de ciências discutem a função desse ensino sob a ótica de sua natureza epistemológica. Elas apontam a necessidade de mudanças que devem ocorrer na formação escolar, fornecendo os subsídios necessários para a melhor compreensão da atividade científica.

A educação científica passa pelo conhecimento de aspectos históricos, epistemológicos e sociais da ciência, isto é, da noção de que as transformações do pensamento científico são, de fato, processos e não eventos localizados. Nesse sentido, no Brasil, trabalhos como os de Oki (2008) e, mais recentemente, o trabalho do grupo de História da Ciência e Ensino da PUC-SP (Beltran, M. H. R. e outros, 2011) vêm explorando as potencialidades de aproximação entre o ensino de HFC e o ensino de química.

No Brasil, nos últimos 20 anos, alguns trabalhos vêm sendo publicados sobre a vida e a obra de Antoine Laurent Lavoisier. Com esse enfoque, Silva e colaboradores (2009) e Vidal

e colaboradores (2007) investigaram como Lavoisier é apresentado em livros didáticos e examinaram algumas representações distorcidas, que atribuem a Lavoisier, isoladamente, a responsabilidade do nascimento do que se convencionou chamar de Química Moderna, reforçando a ideologia lavoisieriana da criação e sistematização do saber químico.

Em contrapartida, há outros trabalhos, tais como os de Martins (1993), Tosi (1989), Alfonso-Goldfarb e Ferraz (1993), Fauque (1995), Filgueiras (1995), Oki (2004), que analisam a obra de Lavoisier em seu aspecto histórico, filosófico, social e epistemológico. Essas publicações estão a disposição do público em geral, o que inclui os professores de Ensino Médio e superior, e ocupam importante papel na educação científica, em particular no Ensino de Química e também na formação de professores, fornecendo subsídios aos docentes para lidarem na escola com questões da natureza da Ciência a partir de sua história, num contexto mais crítico que a abordagem presente em materiais didáticos destinados ao ensino de ciências (SILVEIRA e PINTO, 2007).

Nesse sentido, entendemos a importância de se examinar a abordagem que estes trabalhos, dotados de extraordinário pioneirismo, dão ao trabalho de Lavoisier. Seria possível, a partir de sua leitura, compreender aquele momento histórico como uma revolução científica? Que indícios, contra ou a favor dessa ideia estão nesses trabalhos? Seriam eles bons instrumentos para se discutir as transformações na Química, sob a ótica da epistemologia de Thomas Kuhn? Essas foram algumas das questões que motivaram esse trabalho. Assim, no capítulo 2 justificamos nossa proposta de trabalho. No capítulo 3 abordamos o procedimento metodológico aqui adotado e fazemos uma descrição do conteúdo dos artigos analisados. No capítulo 4 expomos o pensamento científico dominante nos círculos científicos do período lavoisieriano, com detalhes do trabalho do químico francês e de seus principais contemporâneos. No capítulo 5 expomos as principais ideias da epistemologia de Thomas S. Kuhn, com base em sua principal obra. Por fim, no capítulo 6 fazemos uma análise dos principais trabalhos publicados em revistas especializadas em Química no Brasil, que abordam o trabalho de Lavoisier, análise fundamentada no pensamento de Kuhn.

## 2 JUSTIFICATIVA E OBJETIVOS

### 2.1 História, Filosofia e Educação Científica

Pesquisas em ensino de ciências têm mostrado, ao longo dos últimos anos, a relevância do papel desempenhado pela História e Filosofia da Ciência no ensino e aprendizagem das ciências. Dentre as razões para incorporação de maior conteúdo de História e Filosofia da Ciência nos currículos está o fato de que esta contribui para a humanização do ensino científico, facilitando a mudança de concepções simplistas para posições mais relativistas e contextualizadas sobre esse tipo de conhecimento (LUFFIEGO, 1994). A compreensão dos aspectos históricos e filosóficos da Ciência facilita e produz alfabetização científica, tornando o ensino mais empolgante e diminuindo a segmentação dos conteúdos (CHASSOT, 2003). Segundo Oki (2008) a História da Ciência é considerada conhecimento indispensável para a humanização da ciência e para o enriquecimento cultural, passando a assumir o elo capaz de conectar ciência e sociedade.

Matthews (1995), diz que, nos últimos 90 anos, o ensino de ciências foi abordado de forma dissociada do ensino de História e Filosofia da Ciência, fazendo com que sua compreensão se desse de forma distorcida, isto é, levando-nos a crer que o conhecimento científico é desenvolvido de modo “pronto” e “acabado”. Dessa forma, ignoram-se os percalços encontrados pelos pesquisadores ao longo da construção de tais conhecimentos. Segundo Gil-Perez (2001) e Fernández (2002), o público em geral, e especificamente estudantes e professores de ciências, apresentam concepções equivocadas e ingênuas sobre o desenvolvimento da ciência, em larga escala associadas a um suposto método científico único, algorítmico, bem definido e infalível, que se distancia largamente da forma como são construídos os conhecimentos científicos.

Matthews (1995) defende a relevância da História e da Filosofia da Ciência no ensino de ciências dizendo que o ensino *sobre* ciências é tão importante quanto o ensino *de* ciências, pois mostra a Ciência como parte integrante da sociedade, como transformadora da realidade social e não como um punhado de informações que só dizem respeito àqueles que a produzem. Ainda segundo este autor, o ensino de ciências, para romper com o tradicionalismo educacional, deve envolver dimensões históricas, filosóficas e sociológicas da ciência. Para ele isso não seria suficiente para resolver a crise instalada no ensino de ciências, mas

colaboraria para que este fosse mais significativo e menos dogmático. Segundo o mesmo autor:

A história, a filosofia e a sociologia da ciência não têm todas as respostas para essa crise, porém possuem algumas delas: podem humanizar as ciências e aproximá-las dos interesses pessoais, éticos, culturais e políticos da comunidade; pode tornar as aulas de ciências mais desafiadoras e reflexivas, permitindo, deste modo, o desenvolvimento do pensamento crítico; podem contribuir para um entendimento mais integral de matéria científica, isto é, podem contribuir para a superação do “mar de falta de significação” que se diz ter inundado as salas de aula de ciências, onde fórmulas e equações são recitadas sem que muitos cheguem, a saber, o que significam; podem melhorar a formação do professor auxiliando o desenvolvimento de uma epistemologia da ciência mais rica e mais autêntica, ou seja, de maior compreensão da estrutura das ciências bem como do espaço que ocupam no sistema intelectual das coisas (MATTHEWS, 1995, p. 165).

Para Luffiego (1994), não se trata de substituir os conteúdos escolares, que são parte da história do pensamento ocidental, mas sim de concebê-los sob um prisma epistemológico diferente e trabalhá-los com uma metodologia que não seja reducionista, capaz de conciliar as análises com uma visão global. Segundo Martins (2006), a História e Filosofia da Ciência não podem substituir o ensino comum de ciências, mas podem complementá-lo de várias formas. Para este autor, o estudo adequado de alguns episódios históricos permite: 1) compreender as inter-relações entre ciência, tecnologia e sociedade, mostrando que a ciência não é algo isolado da sociedade, mas faz parte de um desenvolvimento histórico, de uma cultura, de um mundo humano, sofrendo influências e influenciando, por sua vez, muitos de seus aspectos; 2) perceber o processo social (coletivo) e gradativo de construção do conhecimento, na medida em que promove uma visão mais concreta e correta da real natureza da ciência, seus procedimentos e suas limitações – o que contribui para a formação de um espírito crítico e desmitificado do conhecimento científico, sem, no entanto, negar seu valor; 3) compreender que a Ciência não é o resultado da aplicação de um “método científico” que conduz à verdade.

Se, para Luffiego (1994) e Martins (2006), o problema não seria resolvido com a substituição dos conteúdos escolares pelo ensino de História e Filosofia da Ciência, para Matthews (1995), a solução também não advém da sua inclusão como novo item no currículo, mas sim seu uso como ferramenta para a abordagem dos assuntos contidos nos programas, como fazem Inglaterra, Estados Unidos, Dinamarca e Holanda.

## 2.2 Lavoisier nos Livros Didáticos de Química

No ensino de química, Lavoisier e seu trabalho são pouco discutidos ou, quando isso é feito, eles são abordados como mitos. Investigações como a de Vidal e colaboradores (2007) analisam como Lavoisier é apresentado em livros didáticos, confrontando as ideias encontradas sobre o cientista com suas próprias palavras em sua obra *Traité Élémentaire de Chimie*, de 1789 (tradução inglesa). Para tal, foram destacados, em fragmentos escolhidos nessa obra, três aspectos do seu trabalho: (1) conservação da massa; (2) definição operacional de elemento químico; e (3) nova nomenclatura química.

A análise dos livros didáticos examinados na pesquisa mostrou que há unanimidade em atribuir a Lavoisier a autoria individual da lei da conservação da massa nas transformações químicas, lei que teria sido elaborado por indução. Em nenhum livro há trechos que relatam as ideias e os trabalhos de Lavoisier sobre definição de elemento químico ou à sua nomenclatura e nem a colaboração de outros cientistas em seus projetos.

Silva e colaboradores (2009) investigaram como Lavoisier e sua obra são apresentados em livros didáticos de educação básica e fizeram um contraponto entre as representações presentes nesses manuais com a história da ciência que discute a vida do cientista, com o objetivo de investigar as diferenças e semelhanças entre ambos. Como resultado observaram três representações mais recorrentes: (1) Lavoisier como “pai da química”; (2) como “fundador da química moderna”; e (3) a revolução química lavoisieriana.

Da leitura dos dois trabalhos citados, conclui-se que há concepções distorcidas sobre o desenvolvimento do trabalho científico de Lavoisier e que atribuem ao cientista (muitas vezes chamado de “gênio”), isoladamente, a responsabilidade do nascimento do que se convencionou chamar de Química Moderna. Essa visão distorcida destaca o papel da observação e da experimentação (excluindo a importância das hipóteses e teorias que orientam todo o processo de investigação) e que apresentam Lavoisier como um seguidor de um método quantitativo rigoroso e infalível, diminuindo a capacidade inventiva e criativa de seu trabalho.

## 2.3 Lavoisier em Artigos Científicos e Livros de Divulgação

Nos últimos 20 anos, no Brasil, diversos trabalhos foram publicados sobre a vida e a obra de Antoine Laurent Lavoisier. Dentre eles destacamos os artigos “*Lavoisier: uma revolução na química*” de Lúcia Tosi (1989), “*As possíveis origens da Química Moderna*” de Ana Maria Alfonso-Goldfarb e Márcia Helena Mendes Ferraz (1993), “*Lavoisier e a conservação da massa*” de Roberto de Andrade Martins e Lílian Al-Chuyer Pereira Martins (1993), “*Lavoisier, Hess e os primórdios da termoquímica*” de Aécio Pereira Chagas e Claudio Aioldi (1981). “*A Revolução Química de Lavoisier: uma verdadeira revolução?*” de Carlos Alberto Lombardi Filgueiras (1995), “*O papel iniciador de Lavoisier*” de Danielle Fauque (1995) e “*Paradigmas, Crises e Revoluções: A História da Química na Perspectiva Kuhniana*” de Maria da Conceição Marinho Oki (2004), sendo que os seis primeiros trabalhos foram publicados na revista Química Nova e o último na revista Química Nova na Escola, editadas pela Sociedade Brasileira de Química. Em geral, todos os artigos citados apresentam a vida e obra de Lavoisier em contexto mais amplo de discussão e interpretação histórica e estão disponíveis a todo o público no sítio da Sociedade Brasileira de Química ([www.sbq.org.br](http://www.sbq.org.br)). Estes materiais são amplamente divulgados junto aos professores do ensino médio e superior, que com ele tomam contato desde seus cursos de licenciatura, muitos dos quais são afiliados da SBQ.

Com relação a livros, destacamos a publicação no Brasil da obra de divulgação de M. S. Bell, *Lavoisier no ano um* (São Paulo: Companhia das Letras, 2005), a obra de C. A. L. Filgueiras, *Lavoisier - o Estabelecimento da Química Moderna - Coleção Imortais da Ciência* (São Paulo: Odysseus, 2002) e a obra capitular do cientista *Tratado Elementar de Química* (São Paulo: Madras, 2007). Danielle Fauque é autora de importante obra francesa, que coleta boa parte das memórias originais do pesquisador: *Lavoisier – La naissance de la chimie moderne* (Paris: Vuibert, 2003). Vale destacar ainda a interessante versão em inglês do *Traité* publicada pela Dover em 1965. Trata-se de uma edição fac-simile do *Elements of Chemistry, in a new systematic order, containing all the modern discoveries*, publicada originariamente em Edinburgo em 1790, a partir da tradução de Robert Kerr, da edição francesa de 1789.

## 2.4 Problema de Pesquisa

Diante dessa diversidade de trabalhos coube-nos perguntar: Qual é o status epistemológico do trabalho de Lavoisier apresentados em artigos científicos publicados no Brasil? Como ele foi influenciado pelos seus contemporâneos? A análise destes trabalhos nos permite inferir que houve uma *Revolução Científica* na Química, na visão de Thomas Kuhn?

As questões acima são fundamentais na compreensão do trabalho do pesquisador francês no desenvolvimento da Química. A ausência da contextualização de seu trabalho impede que seja minimamente relativizada sua importância ou que, pelo menos, sejam considerados os papéis de seus contemporâneos e antecessores na sua obra. Tal fato acaba contribuindo para a manutenção do mito de que Lavoisier foi um “gênio” ou foi o “pai da Química” que se convencionou chamar de “moderna”. Para além dessas questões, vemos com dificuldade a leitura e compreensão da obra de Thomas Kuhn e a aplicação direta de suas ideias nas obras nacionais que versam sobre o trabalho de Lavoisier.

## 2.5 Objetivos do Trabalho

Analisar as teses de autores que publicaram seus trabalhos sobre a vida e a obra de Lavoisier, nas revistas, Química Nova e Química Nova na Escola, buscando verificar se suas abordagens permitem caracterizá-lo como uma Revolução na Química, sob a ótica de Thomas Kuhn, bem como fazer considerações a respeito do tema.

A análise dessas obras, sob a ótica da epistemologia de Thomas Kuhn, pode, a nosso ver, fornecer subsídios importantes para que professores de História da Química, História da Ciência ou Filosofia/Epistemologia da Ciência possam empreender discussões epistemológicas mais profundas sobre a natureza científica da obra de Lavoisier fundamentadas na visão de Thomas Kuhn, bem como utilizar a análise realizada para discussões sobre revoluções científicas no sentido kuhniano do termo.

### **3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS**

#### **3.1 A Análise Textual Discursiva como aporte metodológico**

Considerando que os objetos de análise deste trabalho são textos escritos em português, optamos por utilizar um método qualitativo de análise documental, a saber, a análise textual discursiva.

Pesquisas qualitativas são utilizadas com o intuito de aprofundar a compreensão dos fenômenos investigados, análises textuais de materiais pré-existentes ou produzidos para a pesquisa, por meio de entrevistas ou outros registros que possam ser convertidos em textos. Neste trabalho, dentre as diversas possibilidades de análise interpretativa, optou-se pela Análise Textual Discursiva (ATD), modalidade interpretativa de textos que transita entre a análise de conteúdo e a análise de discurso, conforme a proposta de Moraes (2003) e Moraes e Galiuzzi (2007).

Segundo essa proposta, a Análise Textual Discursiva é compreendida como um processo cíclico, composto de três momentos interligados. Inicialmente procede-se à desmontagem dos textos, processo chamado de unitarização, que consiste em destacar elementos de significados, construindo as chamadas unidades de análise. Num segundo momento efetua-se o estabelecimento de relações mediante o procedimento chamado de categorização, que consiste em construir novas compreensões do fenômeno investigado. Por último, a produção do metatexto tem o objetivo de expressar as compreensões do pesquisador acerca do objeto de estudo.

Como esses três processos encontram-se interligados, o ciclo se aproxima de um sistema complexo de onde emerge a compreensão dos fenômenos investigados. Tal compreensão tem início num movimento de desestruturação da sua ordem através da produção de um conjunto desordenado e caótico de elementos unitários, seguindo-se por um processo auto-organizado de reconstrução, com o surgimento de novas coompreensões explicitadas em forma de produções escritas.

Segundo Moraes e Galiuzzi, a análise textual discursiva:

[...] pode ser entendida como o processo de desconstrução, seguido de reconstrução, de um conjunto de materiais linguísticos e discursivos, produzindo-se a partir disso, novos entendimentos sobre os fenômenos e discursos investigados. Envolve identificar e isolar enunciados dos materiais submetidos à análise, categorizar esses enunciados e produzir textos, integrando nestes, descrição e interpretação, utilizando como base de sua construção o sistema de categorias construído. O processo analítico encaminha a construção de uma estrutura de categorias e argumentos correspondente a um novo texto, capaz de sintetizar os principais elementos, dimensões ou categorias que podem ser lidos e interpretados nos textos submetidos à análise (MORAES; GALIAZZI, 2007, p.112).

Com esta metodologia propomos realizar esse movimento de desconstrução/construção dos discursos apresentados nas pesquisas relativas ao trabalho de Lavoisier.

### **3.1.1 A Desmontagem e Unitarização do Texto**

A Análise Textual Discursiva concretiza-se mediante um conjunto de documentos, o *corpus* da pesquisa, constituído essencialmente por produções textuais que serão analisadas (Moraes, 2003). A primeira etapa do ciclo corresponde a um movimento desconstrutivo, que se apresenta como parte importante da delimitação do objeto de pesquisa prescindida da participação ativa do pesquisador.

A desconstrução e unitarização do corpus consiste num processo de desmontagem ou desintegração dos textos, destacando seus elementos constituintes. Implica colocar o foco nos detalhes e nas partes componentes, um processo de divisão que toda análise implica. Com essa fragmentação ou desconstrução dos textos, pretende-se conseguir perceber os sentidos dos textos em diferentes limites de seus pormenores, ainda que compreendendo que um limite final e absoluto nunca é atingido (MORAES, 2003, p. 195)

De acordo com o autor, para se fazer uma leitura válida e pertinente dos documentos analisados é necessária uma profunda impregnação com os elementos do processo analítico, o

que possibilitará ao pesquisador decidir em qual extensão se processará a fragmentação, resultando em unidades de análises de maior ou menor amplitude.

No processo de unitarização há a necessidade de elaboração de sistemas de codificação que possibilitem tanto a localização das citações nos textos originais, como também a identificação e o relacionamento das unidades de significados entre os diversos textos analisados (MORAES, 2003).

Segundo Moraes (2003), a unitarização pode ser concretizada em três momentos distintos i) fragmentação dos textos e codificação de cada unidade; ii) reescrita de cada unidade de modo que assuma um significado o mais amplo possível, e iii) atribuição de um nome para cada unidade produzida. Essa fragmentação é feita por meio de várias leituras dos textos para a identificação das unidades de análise que constituem elementos de significado referente ao fenômeno investigado.

### **3.1.2 Categorização**

A segunda etapa do processo é o estabelecimento de relações, que consiste em “um processo de comparação constante entre as unidades definidas no processo inicial da análise, levando a agrupamentos de elementos semelhantes” (MORAES, 2003, p. 197). Esses agrupamentos ou conjuntos de elementos de significação semelhantes constituem o que o autor denomina de categorias.

Para Moraes (2003) pode-se proceder à categorização por meio de três métodos i) o dedutivo, que consiste em criar, com base nas teorias que fundamentam a pesquisa, as categorias, antes de examinar o *corpus* de textos; ii) o indutivo, que se baseia nas informações contidas nos *corpus* para a criação das categorias; e iii) o intuitivo, no qual as categorias “originam-se por meio de inspirações repentinas, *insights* de luz que se apresentam ao pesquisador, por uma intensa impregnação nos dados relacionados aos fenômenos” (MORAES, 2003, p. 198). De acordo com o autor, pode-se definir as categorias *a priori* (dedutivo) e caminhar para transformações gradativas no conjunto inicial de categorias, a

partir das análises das informações do *corpus* (indutivo) consistindo no que se denomina de análise mista.

Moraes (2003) afirma que o essencial no processo de categorização não é a sua forma e produção, mas sim o potencial que esses conjuntos encerram em possibilitar uma compreensão das informações do *corpus* em relação aos fenômenos investigados. Para o autor, isso é função das propriedades das categorias construídas, dentre as quais destaca: i) validade ou pertinência, que está relacionada à capacidade que a categoria possui em representar adequadamente as informações categorizadas, possibilitando melhor compreensão dos fenômenos investigados, e ii) homogeneidade, na qual as categorias precisam ser construídas a partir de um mesmo princípio conceitual, mas que não se excluem necessariamente, pois na ATD o que caracteriza a homogeneidade é o sentido associado a um contexto mais amplo.

A dependência que a categorização tem da teoria é um aspecto importante destacado por Moraes e deve ser considerada no momento da sua produção. Segundo o autor, toda categorização implica uma teoria e o conjunto de categorias é construído por meio desse referencial de abstração que o suporta, portanto, “da mesma forma como há muitos sentidos em um texto, sempre é possível construir vários conjuntos de categorias de uma mesma amostra de informações” (MORAES, 2003, p 200).

Para cada conjunto há a possibilidade de apresentar alguns sentidos que se podem extrair de um *corpus* textual. Há a necessidade de grande esforço do pesquisador para que a explicitação seja clara e convincente, porque isso não envolve apenas a caracterização das categorias, mas também o estabelecimento de relações entre os elementos que as compõem. Nas palavras do autor “esse é um momento em que o pesquisador necessita assumir mais decididamente sua função de autor de seus próprios argumentos (MORAES, 2003, p.200)”. O autor destaca ainda a importância da produção de argumentos em torno das categorias, pois a partir dos argumentos parciais de cada categoria, o pesquisador exercita a explicitação de um argumento aglutinador e sintetizador do todo que é utilizado para relacionar as diferentes categorias de sentido para a produção dos metatextos.

### 3.1.3 A Construção do Metatexto

Nessa etapa ocorre um movimento de reconstrução, na qual se produzem os metatextos que, segundo Moraes (2003), são constituídos de descrição e interpretação, representando o conjunto, um modo de compreensão e teorização dos fenômenos investigados.

A estrutura básica do metatexto é construída após a unitarização e categorização do *corpus*. Para Moraes (2003),

[...] uma vez construídas as categorias, estabelecem-se pontes entre elas, investigam-se possíveis seqüências em que poderiam ser organizadas, sempre no sentido de expressar com maior clareza as novas intuições e compreensões atingidas (MORAES, 2003, p. 202).

Paralelamente à elaboração de um argumento central ou tese para a análise do todo, como forma de exercício, o pesquisador pode construir argumentos ou teses parciais para cada uma das categorias, que devem consistir em argumentos capazes de construir a defesa da tese principal (MORAES, 2007). Por isso, o autor defende a impregnação intensa do pesquisador com o fenômeno investigado pois, para se alcançar esses argumentos originais, é necessário momento de inspiração e intuição e não apenas um exercício de síntese.

De todas as obras escritas por Thomas S. Kuhn, adotamos a sua mais conhecida “*A Estrutura das Revoluções Científicas*”, para nos fundamentar e definir as categorias que serão utilizadas para a análise dos textos escolhidos. A nossa escolha se deve ao fato de que tal obra contém a base epistemológica, desenvolvida por Kuhn durante sua carreira, para explicar o desenvolvimento científico, além de ser uma das obras de referência para estudos de filosofia e epistemologia da ciência em cursos de graduação e pós-graduação.

Para as definições das categorias foram realizadas leituras cuidadosas da *Estrutura*, fragmentando esse texto conforme os preceitos da Análise Textual Discursiva, de Moraes e Galiuzzi (2007). Com a fragmentação foi possível a escolha, *a posteriori* (método indutivo),

de categorias que nos permitem inferir sobre as características do conceito de Revolução Científica inicialmente proposto por Kuhn em sua obra mais conhecida. É importante frisar que não se trata de criar uma “receita” para ser aplicada aos textos que serão analisados para que se possa dizer se eles se encaixam em padrões previamente definidos. O que se deseja com esse procedimento é analisar, de uma maneira holística, os elementos que caracterizam as concepções de Kuhn sobre desenvolvimento científico que possam ser percebidos na leitura dos artigos que serão analisados. Posteriormente, as categorias levantadas pela análise da *Estrutura* serão utilizadas como categorias *a priori* (método dedutivo) para a leitura e interpretação dos artigos escolhidos.

### 3.2 Os Textos Analisados

Existem no Brasil e no exterior inúmeras publicações, entre livros, artigos científicos dissertações e teses em História da Química que discutem aspectos da química do século XVIII e especificamente a obra de Lavoisier e seus contemporâneos. Em nosso trabalho decidimos analisar apenas os artigos científicos, publicados no Brasil, que demarcam o momento da passagem da teoria do flogístico (ou flogisto) para a teoria da combustão pelo oxigênio, num contexto mais amplo, ou seja, escolhemos não analisar os textos que discutem apenas aspectos pontuais do trabalho do químico francês, mas sim aqueles que analisam todo o conjunto da sua obra. Dessa forma, após revisão bibliográfica em periódicos da área de ensino de ciências e ensino de química publicados no Brasil, encontramos cinco artigos que possuem essa característica. Tais artigos estão publicados nas revistas, Química Nova e Química Nova na Escola que estão disponíveis na rede mundial de computadores e constituem importantíssimo meio de divulgação dos conhecimentos químicos para a comunidade de professores dessa área no Brasil. Os artigos que serão analisados são:

A) TOSI, Lúcia. *Lavoisier: Uma revolução na Química*. Química Nova, vol. 12, p. 33-56, 1989.

B) FILGUEIRAS, Carlos A. L. *A revolução Química de Lavoisier: uma verdadeira revolução?* Química Nova, vol. 2, p. 219-204, 1995.

C) ALFONSO-GOLDFARB, Ana Maria Alfonso; FERRAZ, Marcia Helena Mendes; *As possíveis origens da Química Moderna*. Revista Química Nova. v. 16, n. 01, p. 63-38, jan., 1993.

D) FAUQUE, Danielle. *O Papel Iniciador de Lavoisier*. Química Nova, vol. 18, p. 567-573, 1995.

E) OKI, Maria da C. M. *Paradigmas, Crises e Revoluções: A História da Química na Perspectiva Kuhniana*. Química Nova na Escola, n. 20, p. 32-37, 2004.

Vejamos uma breve descrição do conteúdo desses trabalhos.

Em seu artigo, Lucia Tosi (1989) presta uma homenagem à Lavoisier, por ocasião do segundo centenário da publicação de sua obra "*Traité Élémentaire de Chimie*", enfatizando a contribuição fundamental de Lavoisier no surgimento de um novo paradigma na Química. O ensaio começa com uma pequena biografia do cientista, seguida de suas reflexões sobre a teoria dos quatro elementos de Aristóteles, quando a autora relata a importante experiência em que Lavoisier aqueceu, durante 101 dias, a água contida num pelicano fechado, verificando que não havia transformação desta em terra, contrariando as expectativas aristotélicas da época. O artigo continua pela descrição de suas contribuições mais significativas, dando relevância à sua percepção das dificuldades da teoria do flogístico e mostrando a formação do seu esquema conceitual sobre a combustão. Em seguida analisa seu pensamento através das suas pesquisas com os carbonatos, com os óxidos, experiências sobre a combustão do fósforo e do enxofre, a redução das calces (*calx*) ao metal e as numerosas experiências sobre a síntese e decomposição da água. Cita as experiências com o *vidro ardente* (conjunto de enormes lentes que concentravam luz solar) com as quais queima diamantes e outros materiais. Menciona também outros trabalhos de Lavoisier, relacionados com a teoria da combustão: calorimetria e respiração, análise elementar de substâncias orgânicas e as suas teorias sobre os ácidos e o calórico. Faz ainda uma breve descrição da longa controvérsia sobre a descoberta do gás oxigênio e, além disso, mostra a importante função do *Traité* ao estabelecer os fundamentos da química e ao definir a sua metodologia.

Em "A revolução Química de Lavoisier: uma verdadeira revolução?", Carlos A. Filgueiras (1995) discute como o título propõe, se o trabalho de Lavoisier e seus colaboradores se constituem numa revolução científica. Para tanto, o autor traz à tona as

ideias do filósofo da ciência Thomas Kuhn para subsidiar sua análise. O artigo tem início com o relato da importância da obra de Kuhn, especificamente *A Estrutura das Revoluções Científicas*, para a mudança de concepção da imagem corrente de Ciência. Diz que o conceito de revolução científica proposto por Kuhn faz parte da linguagem corrente e que por isso é justificável a análise dos trabalhos de Lavoisier e seus contemporâneos segundo seus pressupostos. O artigo segue com Filgueiras revisando a evolução histórica do conceito da palavra revolução, desde sua origem do latim, até a definição proposta por Diderot em sua Enciclopédia. Passa então a fazer um paralelo entre o significado de revolução utilizado em ciências e o utilizado na política. Discute, mais adiante, a influência social que algumas revoluções científicas operam e cita os critérios que Cohen<sup>1</sup> considera importante para chamar uma mudança de revolucionária. Filgueiras chama a atenção para o fato de que Lavoisier foi o primeiro cientista a antecipar seus projetos de pesquisa como revolucionários. Comenta sobre a existência de autores que não consideram o trabalho de Lavoisier revolucionário, mas sim um trabalho que torna a química uma ciência estabelecida. Porém cita autores que defendem que antes de Lavoisier a química já existia como ciência contendo suas próprias teorias e conceitos. A partir desse ponto, Filgueiras questiona sobre qual a importância da obra de Lavoisier para a Química e se ela pode ser reconhecida como revolucionária. Levanta um ponto polêmico dizendo que Lavoisier não foi um descobridor, mas sim um sistematizador e quantificador da ciência química. Diz que seu trabalho levou a derrubada da teoria do flogístico de Stahl, largamente aceito pelos químicos do século XVIII. Passa então a explicar os princípios dessa teoria e comenta em que medida ela foi bem sucedida e em que pontos possuía dificuldades, principalmente no que se refere à variação de massa na combustão dos corpos. Comenta que o método de pesagens rigorosas proposto por Lavoisier levou-o à conclusão do equívoco que constituía a teoria do flogístico. Após toda contextualização necessária, inicia a análise da mudança conceitual ocorrida com a nova teoria de Lavoisier e, para tal, fundamenta-se no livro *Conceptual Revolutions* de Paul Thagard. Segundo Filgueiras, nessa obra Thagard, ao contrário de Kuhn, sugere que a mudança conceitual ocorre em etapas. Dentro dessa linha de análise, questiona sobre o que faz com que um sistema conceitual seja substituído por outro e explica em termos de regras que competem em “força”, seja coerência, explicação de fenômenos conhecidos e outros que o sistema anterior não explica. Levanta outro ponto polêmico ao dizer que Lavoisier não foi o descobridor do

---

<sup>1</sup> Isaac Bernard Cohen (1914-2003) foi um historiador da ciência e professor da Universidade de Harvard na década de 1940. Foi pioneiro em pesquisas em história da ciência e sucessor de George Sarton como editor do periódico *Isis*.

princípio da conservação da massa, mas sim, aquele que explicitou de maneira clara e inequívoca. Comenta mais adiante a dívida de Lavoisier para com o desenvolvimento da química dos gases pelos ingleses, que contribuíram decisivamente para a consolidação de suas investigações. Mais adiante, Filgueiras cita as importantes conclusões de Lavoisier sobre a composição da água e do ar atmosférico, relatadas em seu *Traité Élémentaire de Chimie*, sobre a sistematização da nova nomenclatura química, com auxílio de colaboradores e sobre o êxito do *Traité* em difundir as novas ideias. Filgueiras finaliza seu artigo citando críticos aos trabalhos do químico francês.

Em “*As possíveis origens da Química Moderna*” Alfonso-Goldfarb e Ferraz (1993) iniciam apontando os principais motivos pelos quais existe a visão histórica que considera Lavoisier e seu grupo de pesquisa como os fundadores da química moderna. Seguem dizendo que, nos últimos vinte anos, algumas questões têm sido levantadas sobre a natureza da suposta “Revolução Química” e que pretendem investigar tais questões revisitando a obra de Lavoisier e seus colaboradores. Dessa forma, iniciam sua incursão lembrando o primeiro trabalho que o cientista apresenta à Academia Real, fruto de seus estudos sobre solubilidade de vários materiais em água. As autoras destacam a percepção que Lavoisier tinha das dificuldades que as poucas teorias químicas da época encontravam em explicar vários fenômenos observados. Em seguida analisam seu pensamento através das suas pesquisas, a partir de 1765, sobre o aumento de peso na calcinação de alguns materiais e suas investigações sobre as ideias de Boyle e van Helmont em relação à conversão de água em terra. O artigo continua com o relato do início das investigações de Lavoisier sobre o estudo dos *ares* (nome comum, na época, dado aos diversos gases) que vinham sendo analisados pelos químicos ingleses Priestley, Black e Cavendish, e pelo seu interesse no trabalho do botânico Stephen Hales sobre o papel dos *ares* no crescimento de plantas. O artigo segue citando os importantes trabalhos de Lavoisier com a combustão de diamantes, do enxofre, do fósforo e de vários metais através de um processo chamado *via seca*, no qual poderosas lentes concentravam os raios do sol, produzindo calor suficiente para a combustão desses materiais. As autoras relatam o encontro entre Lavoisier e Priestley, quando este faz relato sobre a descoberta de um novo “ar” a partir do aquecimento do óxido de mercúrio. Após esse encontro, Lavoisier estabelece uma nova série de experimentos pelos quais consegue resultados que lhe dão pistas mais concludentes sobre o papel dos “ares” no processo de calcinação. Já na década de 1780, Lavoisier e seu grupo concentram esforços na investigação de um ar que Cavendish chama de “*ar inflamável*” (identificado atualmente como gás

hidrogênio). Com a colaboração de Pierre Simon de Laplace, Lavoisier consegue realizar a síntese e a decomposição da água, dando refinamento à sua teoria, que dá o golpe de misericórdia na teoria do flogístico. Goldfarb e Ferraz seguem analisando as ideias do francês sobre elemento químico resumem sua proposta e de seus colaboradores em relação à nova nomenclatura química e terminam o artigo enfatizando a mudança radical, tanto metodológica quanto epistemológica, que a química passara e que, se esse processo não se constitui numa revolução, então deve-se discutir, de fato, o que significa o termo revolução.

No artigo “*O Papel Iniciador de Lavoisier*” Danielle Fauque (1995) inicia o texto comentando sobre a condenação de Lavoisier à guilhotina e sobre a construção da sua imagem como um gênio, um mito fundador da Química Moderna, difundida por autores após sua morte. Comenta que apenas na segunda metade do século XX é que as pesquisas têm mostrado um Lavoisier menos emblemático e mais humano. Fauque continua o artigo com a contextualização científica do período em que viveu Lavoisier, explicitando os principais pontos da teoria do flogístico, vigente na época, enfatizando seu caráter qualitativo. Fala sobre o desenvolvimento da química dos “ares” e as contribuições de figuras como Black, Priestley e Cavendish no isolamento e caracterização de alguns desses “ares”. Passa então a descrever o início da educação de Lavoisier e o processo pelo qual o químico francês iniciou alguns de seus trabalhos, como a análise do gesso e a determinação dos pesos específicos de líquidos, antes de ser admitido na Academia de Ciências. Cita também seus estudos sobre o aquecimento da água que contrariou a concepção aristotélica vigente. Mais adiante, Fauque inicia um relato sobre as investigações de Lavoisier sobre os “ares”, sobre a combustão, calcinação e redução de metais. Cita principalmente suas investigações com o chumbo e com o aquecimento do precipitado *per se* com e sem carvão. Relata a visita de Priestley à Paris e as informações que este repassou a Lavoisier sobre suas investigações com o mesmo precipitado *per se*. Continuando, Fauque fala sobre a memória que Lavoisier leu à academia na Páscoa de 1775, em que apresenta os resultados das suas investigações a suas hipóteses a respeito do papel do ar nas reações de combustão e calcinação. Cita também a controvérsia criada em relação à primazia da descoberta do oxigênio, se Priestley, Scheele ou Lavoisier. A partir de então, Fauque passa a relatar os trabalhos mais emblemáticos do francês, ou seja, os estudos sobre a composição do ar, uma explicitação mais elaborada sobre a teoria da combustão em que nega totalmente a existência do flogístico, uma teoria sobre a formação e constituição dos ácidos e a sua parceira com Laplace na tentativa de quantificar o que ele chamou de *calórico*. Relata também o embate contra Kirwan, ferrenho defensor da teoria do flogístico, sobre sua

parceria com Guyton de Morveau e outros na elaboração de uma nova nomenclatura química e sobre a publicação do *Traité Élémentaire de Chimie* em 1789, obra que consolida as ideias de Lavoisier e seus colaboradores.

“*Paradigmas, Crises e Revoluções: A História da Química na Perspectiva Kuhniana*” é um artigo onde Maria da Conceição M. Oki analisa dois episódios da história da Química na visão filosófica de Thomas Kuhn. O artigo tem início com Oki apresentando o trabalho de Kuhn e falando sobre a sua importância para uma análise crítica do desenvolvimento científico e sobre as críticas que o autor sofreu depois da publicação de sua mais importante obra “*A Estrutura das Revoluções Científicas*”. Mais adiante, explicita os principais conceitos da proposta de Kuhn, a saber, ciência normal e revolucionária, paradigma e incomensurabilidade. Continuando, Oki fala sobre a abordagem histórica do trabalho de Kuhn e apresenta dois episódios da história da Química utilizados por Kuhn para fundamentar sua tese, as ideias de Lavoisier e a constituição do modelo atômico de Dalton. A autora passa então a analisar a visão de Kuhn sobre o processo pelo qual Lavoisier e seus colaboradores modificaram a visão estabelecida na segunda metade do século XVIII sobre fenômenos até então explicados pela teoria do flogístico. Oki continua agora expondo a análise que Kuhn faz do trabalho de Dalton sobre a consolidação da teoria atômica da matéria. Para finalizar, ela versa sobre as reconsiderações que Kuhn faz sobre suas ideias após as críticas que o filósofo sofreu.

Em resumo, essas são as principais ideias apresentadas pelos autores aqui analisados. Como já dissemos, trata-se de trabalhos pioneiros e, por si só de elevada importância no cenário educacional do país. Não entraremos, evidentemente, no mérito de qualidade destes trabalhos, isso já foi reconhecido por muitos, mas apenas trataremos de uma leitura desapaixonada mas inevitavelmente subjetiva de seus conteúdos.

## 4 O PENSAMENTO QUÍMICO NO PERÍODO DE LAVOISIER

### 4.1 A teoria do Flogístico

Na segunda metade do século XVII, George Ernst Stahl (1660-1734) desenvolveu, a partir das ideias de Johann Joachim Becher (1635-1682), uma teoria de composição que se destacava do conjunto de suas ideias “pela importância crescente dada às discussões sobre os fenômenos de queima” (FERRAZ, 1991, p. 7). Segundo Becher, terra e água eram princípios constituintes de todos os corpos. O primeiro deles, a terra, se dividia em três outros tipos, terra vitrificável (*terra lapida*), terra mercurial (*terra fluida*) e terra combustível ou terra “gordurosa” (*terra pinguis*). Stahl aperfeiçoou essa ideia e chamou a *terra pinguis* de *flogístico*, certo princípio de “inflamabilidade”. Sua teoria foi apresentada numa obra intitulada *Tratado do Enxofre* publicada em alemão em 1718. Segundo a concepção de Stahl, todos os corpos que queimam possuem flogístico, que é liberado na sua combustão. Ainda segundo a teoria do flogístico, combustíveis como carvão e óleos eram ricos em flogístico e o liberavam ao ar durante sua queima. De maneira semelhante, os metais seriam compostos por *calx*<sup>2</sup> e flogístico, o qual era liberado quando o metal era calcinado, isto é, transformado em *calx* (BELL, 2007; CONANT, 1957; FERRAZ, 1991; FILGEIRAS, 2002). Stahl ainda interpretou o enferrujamento como uma combustão lenta, em que o metal que enferruja perde lentamente seu flogístico (BELL, 2007). Esquemáticamente:



O flogístico também poderia ser transferido de um corpo para o outro, ou seja, de um corpo rico em flogístico para outro, com menos flogístico. Um procedimento conhecido há pelo menos três mil anos pelas artes da mineração e metalurgia consistia em fundir minério com carvão para obtenção de metais. Segundo a teoria de Stahl, neste processo há transferência de flogístico do carvão (material rico neste) para a *calx* que, dessa forma, se transformava em metal, ou seja, tratando a *calx* com flogístico, recupera-se o metal (BELL, 2007; CONANT 1957; FERRAZ, 1991; FILGEIRAS, 2002). Esquemáticamente:

---

<sup>2</sup> Optamos pela utilização termo *calx* em detrimento do termo *cal*, para designarmos o produto da calcinação de um metal, pois o primeiro possui significado conceitual diferente do segundo em termos modernos.

<sup>3</sup> Adotaremos aqui a notação corrente que foi observada nos artigos estudados, de representação das reações químicas. Isso não significa que essa notação era adotada no momento histórico aqui abordado.

## *Calx* + flogístico → Metal

O flogístico, segundo a concepção de Stahl, era responsável em conferir qualidade às substâncias que o contém. Esse aspecto da teoria ajudava a prever, por exemplo, a escolha do melhor material para ser utilizado no processo de redução de uma *calx* a seu metal, processo importante e largamente utilizado na época (FERRAZ, 1991).

No início, a teoria de Stahl sofreu várias críticas, principalmente de Hermann Boerhaave, famoso professor de medicina em Leyden. Já se sabia na época que nem a combustão nem o enferrujamento ocorriam sem a presença de ar, então, porque não associar o ar a esses processos, ao invés do misterioso flogístico? Mais ainda, por que no processo de enferrujamento (análogo ao da combustão, segundo Stahl), não se observava desprendimento de chama ou de calor? Stahl, em uma de suas mais engenhosas argumentações, explica que o ar é essencial no processo, pois serve como transportador do flogístico de uma substância para a outra. Quando um material queima em espaços fechados, suas chamas, depois de certo tempo, cessam porque o material liberou seu flogístico, saturando o ar circundante, até este não mais poder acolhê-lo, portanto, não mais suportando a combustão. A combustão e o enferrujamento são processos que ocorrem com velocidades distintas: enquanto no enferrujamento o flogístico é liberado aos poucos, na combustão ele escapa com tal velocidade que aquece o ar e manifesta-se na forma de chama (BELL, 2007).

Uma das críticas à teoria do flogístico baseava-se no fato de que ele nunca tenha sido isolado ou sua presença nunca ter sido detectada em algum experimento, mas isso também não se constituía num grande problema para a teoria e para seus seguidores. Richard Watson (professor de química de Cambridge entre 1764 e 1771), citado por Filgueiras (2007), responde em seus "*Chemical Essays*" de 1781:

Certamente os senhores não esperam que a Química seja capaz de apresentar-lhes um punhado de flogisto separado de um corpo inflamável; isso seria tão razoável como pedir um punhado de magnetismo, eletricidade ou gravidade extraído de um corpo magnético, elétrico ou pesado; existem poderes na natureza que não podem absolutamente tornar-se objetos dos sentidos, a não ser pelos efeitos que produzem; e o flogisto é desse tipo (FILGUEIRAS, 2007, p. 78).

Segundo Bell (2007), a teoria do flogístico, apresentava “a virtude científica fundamental de abranger uma ampla variedade de observações empíricas com uma única explicação coerente” (BELL, 2007, p. 51). De acordo com Filgueiras (2002), “a teoria do flogisto representou um grande avanço, pelo fato de basear-se em argumentos racionais e não místicos, esotéricos ou iniciáticos” (FILGUEIRAS, 2007, p 31). Essas características contribuíram para chamar a atenção de leigos e também grande parte dos químicos de meados do século XVIII.

Assim, a teoria do flogístico seguia como grande unificadora da Química e integradora de muitos fenômenos antes isolados, propondo explicações simples para a maioria das transformações simples que eram estudadas. A teoria sistematizava os fenômenos de combustão, calcinação e oxidação, oferecendo um esquema teórico coerente para explicar essas transformações e que foi “extremamente difundido durante quase todo o século XVIII” (FERRAZ, 1991, p. 7). Ainda segundo Ferraz (1991) “professores das diversas instituições de ensino da época encarregaram-se da divulgação - e da transformação - de um pensamento químico que seria aceito pela quase totalidade dos estudiosos dessa área” (FERRAZ, 1991, p. 9). Vale ressaltar ainda que a teoria foi adquirindo múltiplas formas e várias interpretações quando da sua disseminação, “ainda que sob a égide das ideias de Stahl” (FERRAZ, 1991, p. 9). A mesma autora enfatiza ainda que “desse modo, Stahl e seus seguidores lançariam o marco inicial de passagem da química como ciência indispensável - por sua força explicativa - à Modernidade” (FERRAZ, 1991, p. 41).

Como toda teoria, a do flogístico consistiu em um poderoso estímulo à pesquisa química e, em consequência, novos experimentos foram elaborados e novas descobertas práticas foram alcançadas (BELL, 2007; FILGUEIRAS, 2007).

## **4.2 Aspectos da Química Pneumática**

Segundo Perrin (1998), no século XVIII surgiram duas tradições de pesquisa distintas sobre os estudos dos *ares*, a tradição britânica, com Joseph Black, Henry Cavendish, e Joseph Priestley, que objetivou a produção e investigação das propriedades e efeitos de

diferentes espécies de *ar*, e a tradição francesa, que desenvolvia um debate teórico sobre o papel do *ar* nos processos químicos, cujo maior expoente foi Lavoisier. Vejamos algo do trabalho destes pesquisadores.

#### 4.2.1 O *ar fixo* de Joseph Black (1728–1799)

A primeira metade do século XVIII viu nascer a química do estudo dos *ares*, chamada de Química Pneumática. Joseph Black (1728-1799) foi um dos grandes representantes da classe de estudiosos dos *ares*, chamados de químicos pneumaticistas. De todos os seus estudos, os que possuem grande importância para a compreensão destas entidades são os que envolveram a *magnésia alba*. Esses estudos consistiram em seu aquecimento (calcinação), reação com ácidos e dissolução em água, dentre outros. Aquecendo a *magnésia alba*, Black verificou que ela perdia peso no processo e, como produtos, resultavam um resíduo branco, mais leve e mais alcalino, que denominou de magnésia calcinada, além de um *ar*, que chamou de *ar fixo* (por imaginar que ele estivesse fixo, de início, na *magnésia*), observou Black ainda a presença de pequena quantidade de água, e mais nenhum resíduo (MARTINS 2009; SICCA, 2002). Na linguagem dos flogistonistas:



Black demonstrou, por meio de experimentos gravimétricos, que o *ar fixo* não era o *ar* ordinário, mas uma substância inteiramente diferente, pois apagava a chama de uma vela e não sustentava a respiração animal. Tratava-se, de fato, de um constituinte mensurável dos materiais estudados. Testando com água de cal, o *ar fixo* liberado na calcinação dos chamados álcalis brandos (os carbonatos de cálcio e magnésio), verificou que este era o mesmo *ar* produzido na fermentação alcoólica, na queima de carvão e em grande parte na respiração de animais (FILGUEIRAS, 2007; SICCA 2002). Seus experimentos e resultados foram publicados em 1757 em sua “*Dissertação sobre a Magnésia*”.

Uma série de experimentos que foram fundamentais para suas análises futuras consistiu no aquecimento de certo peso de calcário, em que Black obteve *cal viva* e *ar fixo*. Misturando *cal viva* com água produziu *cal extinta*, ou seja:

Carbonato de cálcio  $\rightarrow$  *cal viva* + *ar fixo*

*cal viva* + água  $\rightarrow$  *cal extinta*

Continuando sua investigação, ele verificou que carbonato de cálcio em contato com ácidos produz efervescência, ou seja, libera *ar fixo* e um sal é formado. Se a solução de *cal extinta* for aquecida com uma solução de *potassa*, ocorre a regeneração do mesmo peso do calcário original.

*cal extinta* + *potassa*  $\xrightarrow{\text{aquecimento}}$  carbonato de cálcio

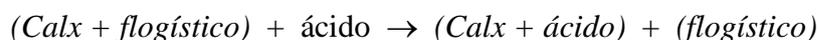
O óxido de cálcio e o gás podiam ser combinados, decompostos e recombinados a seu critério, concluindo que a série de reações era cíclica. Black repetiu suas reações utilizando outros carbonatos e chegou às mesmas observações, o que lhe evidenciou o papel do *ar fixo* como um reagente nessas reações químicas (BENSAUDE-VINCENT, 1992; SICCA, 2002).

Os estudos de Black auxiliaram muito o desenvolvimento da Química pneumática e, posteriormente, contribuíram para a descoberta de novos *ares*, possibilitando o desenvolvimento de novas teorias a respeito do papel destes nas transformações químicas.

#### 4.2.2 O *ar inflamável* de Henry Cavendish (1731-1810)

Dentre as investigações de Cavendish, as que envolvem a dissolução de metais em ácidos trouxeram grandes resultados à química pneumática. Cavendish ficou bastante intrigado pelo *ar* que era produzido quando certos ácidos reagiam com alguns metais. Na década de 1760, tratando ferro, zinco, e estanho com soluções diluídas de ácido sulfúrico ou clorídrico, obteve sempre o mesmo *ar*, qualquer que fosse o metal ou ácido utilizado (BENSAUDE-VINCENT, 1992; FILGUEIRAS 2007; MARTINS, 2009). Submetendo-o a testes, observou que esse *ar* era altamente inflamável, e nomeou-o de *ar inflamável*. Como flogistonista, e face à sua “leveza” e elevada combustibilidade, Cavendish imaginou que o *ar inflamável* fosse o próprio flogístico. Explicou que ele era proveniente do metal porque, pela teoria do flogístico, os metais eram substâncias que continham tal componente e que, na sua

reação com os ácidos, seu conteúdo de flogístico (*ar inflamável*) era liberado, ou seja, o flogístico dos metais é liberado quando da sua reação com os ácidos (FILGUEIRAS 2007; MARTINS, 20009). O fenômeno pode ser esquematizado da seguinte forma:



Os experimentos de Cavendish ilustram claramente o quanto as interpretações estão sujeitas aos procedimentos de laboratório. Ele tratou diferentes quantidades de metal com excesso de ácidos. Desse modo, o ar inflamável dependia da quantidade daquele, o que corroborava seu pensamento flogistonista.

Segundo Bell (2007), a hipótese de que o *ar inflamável* fosse o próprio flogístico tornou-se mais evidente quando Joseph Priestley (1733–1804) fez reagir *calx* com *ar inflamável* e regenerou metal, resultado que estava de acordo com as previsões da teoria, ou seja:



Apesar de o ar inflamável ter sido obtido anteriormente por Boyle e Priestley, Cavendish foi o primeiro a investigar suas propriedades de maneira abrangente e diferenciá-lo do *ar fixo* de Black. Percebeu que o novo *ar* não se dissolvia na água, nem em soluções alcalinas, era inflamável e explosivo, ao contrário do *ar fixo*.

#### **4.2.3 O ar de fogo de Carl Scheele (1742– 1786)**

Atribui-se a Scheele a descoberta, durante sua curta vida, de inúmeras substâncias (dentre as quais três elementos), várias reações e propriedades.

Um dos interesses de Carl Scheele era estudar a composição do fogo e do calor nas reações de combustão. Sabendo do papel do ar para sua existência, ele realizou, entre 1771 e 1773, vários experimentos sob uma campânula para analisar sua composição. Flogistonista, o cientista partiu da hipótese de que

*combustível = ácido + flogístico.*

Ora, todas as reações de combustão rápida geram calor. Como interpretar esse resultado à luz do flogístico. Para tanto, Scheele queimava substâncias que supostamente eram ricas em flogisto como enxofre, fósforo e óleos, observando que sempre ocorria o decréscimo de aproximadamente 20% no volume do ar. Para Scheele, o flogístico liberado pela queima absorvia parte da atmosfera, correspondente a 20% de seu total dentro da campânula; os produtos gerados dessa combinação eram o calor e o fogo. Ele chamou essa fração do ar que reagia com o flogístico de “*ar de fogo*” (FILGUEIRAS 2007; BELL, 2007). A esse resultado Scheele deu a seguinte interpretação: ele supôs que o ar atmosférico fosse constituído de dois componentes: um certo *ar de fogo*, que se combina com o flogístico na combustão dos corpos, gerando fogo e calor. A outra parte, em maior quantidade, ele chamou de *ar gasto* ou *ar viciado*, que permanecia intacta na campânula. Com este resultado concluiu Scheele que,

*Calor = ar de fogo + flogístico*

Aqui, mais uma vez, os procedimentos de laboratório confirmaram uma teoria porque um detalhe escapou do experimentador. A fim de provar sua hipótese de que o calor era constituído pela reação entre *ar de fogo* e flogístico, Scheele queimou os dois – no caso o *ar de fogo* com o *ar inflamável* de Cavendish (supostamente flogístico puro) - em um balão sobre água quente. Observou Scheele aumento do nível de água com desprendimento de calor e chama, comprovando sua hipótese acima. Em virtude da presença prévia de excesso de água no seu dispositivo experimental, ele não observou a formação desta substância, perdendo, assim, a possibilidade de ter descoberto sua verdadeira composição.

Generalizando, Scheele explicou que o flogístico liberado na combustão de corpos que o contém, combina-se com um dos componentes do ar e se transforma em calor, isto é:

*Calor = ar de fogo + flogístico*

Segundo Maar (2008), Scheele obteve o *ar de fogo* e sistematizou suas características por onze métodos distintos, e, por isso, alguns historiadores da ciência atribuem a ele a “descoberta” do que hoje chamamos de oxigênio. No entanto, chamamos a atenção para o fato de que é mais razoável entender o oxigênio moderno como uma construção conceitual, reportando-nos à impropriedade de tal atribuição, como bem destaca Kuhn.

#### 4.2.4 O ar desflogisticado de Joseph Priestley (1733–1804)

Priestley foi um notável pneumaticista inglês. Dentre suas contribuições estão: o isolamento, preparação e caracterização de alguns novos *ares* tais como o *ar nitroso*, o *ar nitroso desflogisticado*, o *vapor nitroso*, o *ar do ácido marinho*, o *ar fluoro-ácido*, o *ar alcalino*, o *ar vitriólico volátil* e o *ar desflogisticado* (BELL, 2007).

Em 1771, quando morava ao lado de uma cervejaria, investigou o *ar* que se desprendia durante a fermentação da cerveja e testou suas propriedades. Constatou ser ele o mesmo *ar fixo* identificado anteriormente por Joseph Black. Priestley se interessou por suas propriedades, principalmente por sua dissolução em água e seu papel na respiração de plantas e animais (BELL, 2007; MARTINS 2009).

Segundo Martins (2009), Priestley estudou mais detalhadamente os efeitos da combustão e respiração animal no *ar comum*. Em seus estudos com animais em recipientes fechados, percebeu ele que os animais, ao respirarem até a morte, havia redução no volume de ar no recipiente em aproximadamente 20%. Por outro lado, ao se queimar uma vela até extinção da chama o volume reduzido era de aproximadamente 6%. Priestley constatou que em ambos os casos o *ar* restante passava a conter *ar fixo*. Ele fez alguns experimentos em que colocava animais e plantas dentro do *ar* restante da combustão de uma vela. No caso dos animais, verificou que eles viviam quase tanto tempo nesse *ar* do que no *ar comum*. No caso das plantas, elas não morreram e se desenvolveram normalmente por vários meses. Ao retirar a planta e testar o *ar* restante verificou que um rato respirava normalmente e que uma vela queimava como em *ar comum*.

[...] no dia 17 de agosto de 1771 eu coloquei um ramo de hortelã em certa quantidade de ar na qual uma vela de cera havia se apagado, e descobri que, no dia 27 do mesmo mês, uma outra vela queimou perfeitamente bem dentro dele. Eu repeti o mesmo experimento no mínimo oito ou dez vezes no resto do verão, sem nenhuma variação dos resultados (PRIESTLEY *apud* MARTINS, 2009, p. 174).

Ainda conforme Martins (2009), Priestley dividiu duas porções do ar restante após a queima da vela. Numa porção ele colocou um ramo de hortelã e no outro, nada. Depois de alguns dias testou o ar em que estava a hortelã e verificou que uma vela queimava normalmente, já no ar onde não havia colocado nada a chama da vela foi extinta. Mesmo com os testes realizados, o cientista inglês não pensava que as plantas pudessem modificar o ar. De acordo com Martins (2009) depois de uma série de experimentos realizados com o ar em que animais haviam morrido, o cientista inglês se convenceu que as plantas restauram o ar que havia sido prejudicado pela respiração ou pela putrefação.

Priestley interpretou os resultados de suas investigações com base na teoria do flogístico, dizendo que este era liberado tanto na respiração animal quanto na combustão, saturando o ar a sua volta e não permitindo mais a ocorrência dos dois processos. O que as plantas faziam era retirar o flogístico do ar tornando-o *desflogisticado* e apto aos processos de queima e respiração (MARTINS, 2009).

Priestley também investigou, em agosto de 1774, com auxílio de lentes que focavam os raios solares para produzir energia térmica, os processos de calcinação do *mercurius precipitatus per se*, o mesmo composto que Scheele estudara. Os resultados desses testes foram informados à *Royal Society* por meio de três cartas em 15 de março, 01 de abril e 29 de maio de 1775 (CONANT, 1957).

Nesse experimento, obteve mercúrio metálico e um *ar* que, em seus testes:

Having got about three or four times as much as the bulk of my materials, I admitted water to it, and found that it was not imbibed by it. But what surprized me more than I can well express, was, that a candle burned in this air with a remarkably vigorous flame, very much like that enlarged flame with which a candle burns in nitrous air, exposed to iron or liver of sulphur (PRIESTLEY *apud* CONANT, 1957, p. 94).

Segundo Conant (1957) Priestley imaginou ter obtido um *ar* que anteriormente ele havia denominado de *ar nitroso*. Porém, prosseguindo com suas investigações e utilizando outros materiais, percebeu a diferença entre os dois. Priestley explicou suas experiências com base na teoria do flogístico, admitindo que o “*novo ar*” era uma forma de ar desprovida de flogístico (*ar desflogisticado*) e, por essa razão, absorvia esse princípio rapidamente das

substâncias que o continham. Por isso a combustão da vela e do carvão ocorria de forma mais rápida (MARTINS, 2009).

#### **4.2.5 O *oxygène* de Antoine Laurent Lavoisier (1743–1794)**

Antoine Laurent Lavoisier (1743–1794), nascido em Paris, iniciou seus estudos colegiais, aos onze anos, no Collège Mazarin, onde frequentou o curso de química de Louis de La Planche. Depois de concluídos os estudos em Mazarin, Lavoisier participou de uma série de cursos de química ministrados nos Jardins do Rei por Guillaume-François Rouelle que seguia, em parte, a tradição de Stahl (BELL 2007; FILGUEIRAS, 2007; GUERLAC, 2007). Segundo Bell 2007, Lavoisier se entusiasmou com as apresentações de Rouelle, porém estava insatisfeito com a obscuridade em que eram apresentados os conceitos e enunciados das teorias químicas pelo mestre. Em 1766, Lavoisier adquiriu um manuscrito de Stahl e se admirou com a sistematização das ideias e com o empirismo empregado em seus fundamentos (BELL, 2007).

Em 1764 ele participou de um concurso promovido pela Academia de Ciências sobre iluminação pública, sendo premiado com a medalha de ouro. Em 1766 disputou uma vaga na Academia, sendo preterido em razão de Louis Claude Cadet. Em 1768 tentou novamente ingressar na Academia e conseguiu o posto de membro adjunto interino, até que a abertura de nova vaga surgisse, fato que ocorreu no ano seguinte (FILGUEIRAS, 2007; GUERLAC, 2007).

Lavoisier também foi um homem de negócios. Com a morte de sua mãe, ele recebeu uma pomposa herança e decidiu investir parte, em março de 1768 - portanto antes de ser aceito na Academia - na compra de um terço dos direitos de François Baudon, membro da *Fermé Générale*, que consistia de um consórcio privado para coleta de impostos para o governo (GUERLAC, 2007).

Já membro da Academia, no final do verão de 1768, trabalhou na tentativa de produzir a mais pura água destilada, para utilizá-la em seus estudos hidrométricos. Constatou que sempre que a água da chuva era destilada deixava um resíduo sólido no recipiente. Naquela

época a teoria dos quatro elementos explicava que a água poderia se transformar em terra, e cientistas eminentes como Boyle e Van Helmont, já haviam “constatado” tal fato. Lavoisier então decidiu recolher uma amostra de água que havia destilado e transferiu-a para uma retorta previamente pesada, e pesou o conjunto já com água. Ele iniciou o aquecimento do conjunto no dia 24 de outubro de 1768 e parou somente 101 dias depois. Após pesar o conjunto não observou mudança apreciável, porém, ao pesar a retorta sem a água verificou a esta havia diminuído de peso. Secou a água deixando sobrar apenas o resíduo sólido e, quando mediu seu peso, verificou que se tratava praticamente do peso perdido pela retorta. Essa experiência foi relatada à Academia no início de 1769, mas sua nota foi lida apenas em novembro de 1770 (GUERLAC, 2007)<sup>4</sup>.

No ano de 1771, Lavoisier casou-se com Marie Anne Pierrette Paulze, filha de um membro da Fermé Générale e, em 1775, foi nomeado administrador geral da *Administração da Pólvora e do Salitre*, indo morar no Arsenal dos subúrbios de Paris, onde instalou seu laboratório particular (GUERLAC, 2007).

De acordo com Guerlac (2007), o que provavelmente despertou a atenção dos cientistas franceses para o estudo dos *ares* foi à publicação, por Priestley e datada de junho de 1772, de um folheto intitulado *Directions for Impregnating Water with Fixed Air*, traduzida para o francês. Pensou-se na época que essa água impregnada com *ar fixo* poderia ter utilizações práticas em medicina. Conforme Bell (2007) Lavoisier soube dos trabalhos de Priestley com o *ar fixo* por intermédio de Trudaine de Montingny, um colega da *Academia* que lhe entregou o folheto que Priestley publicou na Royal Society.

Segundo Bell (2007) e Guerlac (2007), Lavoisier conhecia a pesquisa de Louis Bernard Guyton de Morveau em que o estudioso francês realizou vários experimentos e percebeu o aumento de peso na calcinação de diversos metais, mostrando também que tal processo não ocorre em recipientes privados de ar. Porém, Perrin (1988) diz que não há nenhuma evidência de que Lavoisier tenha tido contato com as investigações de Morveau. No entanto, fundamentado nos estudos históricos de Henry Guerlac, Perrin diz ser muito plausível tal afirmação. De acordo com este último, na primavera de 1772, Lavoisier participou, a pedido da Academia, de um comitê para apurar o “desaparecimento” de

---

<sup>4</sup> Sobre a importância das medidas de peso que Lavoisier aplicava em suas investigações ver GOUGH, J. B. Lavoisier and the Fulfillment of the Stahijan Revolution - Osiris, vol. 4, pp. 15-33, 1988.

diamantes quando exposto ao calor intenso de uma fornalha. Três explicações foram sugeridas (1) o diamante volatilizou (2) o diamante queimou (3) o diamante “decrepitou” (PERRIN, 1988). Para a investigação, foi solicitado um conjunto de lentes (lentes de Tschirnhausen ou lentes ustórias) de propriedade da *Academia* o qual serviria para concentrar os raios solares e aquecer vigorosamente as substâncias analisadas. Segundo o mesmo historiador, Lavoisier, de posse das pesquisas de Etienne-François Geoffroy sobre a utilização de tais lentes na calcinação, delineou seu próprio repertório a ser analisado com o instrumento (Memorando de Agosto)<sup>5</sup>. Conforme Perrin, Lavoisier tinha como objetivo recolher, com o auxílio do aparelho de Hales<sup>6</sup>, os *ares* que seriam produzidos pela queima de diversos materiais expostos às lentes. Segundo Bell (2007), em 20 de outubro de 1772, Lavoisier fez uso das lentes ustórias, mas sem combiná-las com o aparato de Hales. Nessa investigação, o cientista francês calcinou fósforo e depois (24 de outubro) enxofre, sob um balão de vidro e verificou que o peso dos produtos formados era maior que o peso das substâncias utilizadas. Segundo Bell (2007), Lavoisier atribuiu tal aumento de peso a fixação de *ar* nas substâncias<sup>7</sup>.

Conforme Bell (2007), Filgueiras (2007) e Perrin (1988) Lavoisier enfrentou dificuldades em combinar as lentes ustórias com a cuba pneumática de Hales, porém, numa versão adaptada do aparato de Hales, Lavoisier realizou ainda, em outubro de 1772, o aquecimento de *mínio*<sup>8</sup> na presença de carvão, com o auxílio das tais lentes. Como resultado, ele verificou a liberação de grande quantidade de *ar*. Mesmo sem medir exatamente o volume desse *ar* desprendido, estimou-o em cerca de mil vezes em relação ao volume do *mínio* utilizado. Para Bell (2007), Filgueiras (2007) e Perrin (1988), os experimentos com o fósforo, enxofre (em que havia ocorrido diminuição do volume de *ar* dentro da cuba) e os experimentos com o *mínio* (em que ocorreu aumento de volume no interior da cuba) respaldaram a crença de Lavoisier de que nos processos de redução há desprendimento de *ar* e nos processos de calcinação o *ar* era fixado.

---

<sup>5</sup> Para detalhes do memorando de agosto veja PERRIN, C. E. Document, text and myth: Lavoisier's crucial year revisited. *The British Journal for the History of Science*, vol. 22, p. 3-25, 1989.

<sup>6</sup> Segundo Bell (2007), Hales inventou um aparelho chamado *cuba pneumática* em que recolhia os gases de um processo num recipiente invertido numa cuba repleta de água em que era possível coletar os *ares* produzidos num processo.

<sup>7</sup> Para saber como Lavoisier contornou o problema do aumento de peso pela absorção de umidade, ver (PERRIN, 1988, p. 71)

<sup>8</sup> Segundo Bell (2008), Lavoisier às vezes escreve que utilizou *litárgio* e outras vezes *mínio*, porém para o historiador, a utilização deste último parece mais provável. Filgueiras (2007) e Perrin (1998) citam *litárgio* em seus textos.

Os autores citados acima apontam ainda que esses experimentos formaram a base dos relatados à *Academia* em uma nota lacrada em novembro de 1772, que foi lida em maio de 1773.

Faz cerca de oito dias desde que descobri que o enxofre, ao queimar, longe de perder algum peso, pelo contrário, o adquire; [...]. O mesmo acontece com o fósforo. O aumento de peso resulta de uma quantidade prodigiosa de ar que se fixa durante a combustão e que se combina com os vapores. Essa descoberta que confirmei por alguns experimentos que considero decisivos me fez pensar que o que se observa na combustão do enxofre e do fósforo poderia muito bem ocorrer com respeito a todos os corpos que adquirem peso pela combustão e calcinação, e estou persuadido de que o aumento do peso de gizes metálicos tem a mesma causa<sup>9</sup> (LAVOISIER *apud* BELL, 2007, p. 65-66)

Segundo os historiadores da ciência Arthur Donovan (1988), C. E. Perrin (1988) e Henry Guerlac (2007) em fevereiro de 1773, Lavoisier esboça, em suas notas de laboratório, seu programa de pesquisa. O químico francês fez uma revisão crítica de algumas teorias e experimentos de Hales, Black, MacBride, Jacquin, Priestley, Smeth, e Heinrich J. N. Crantz, que já haviam investigado a fixação e liberação dos *ares* em sólidos. Lavoisier identificou problemas e oportunidades que ainda não haviam sido exploradas. De acordo com Donovan (1988), Lavoisier comentou nessas notas que, por mais numerosas que sejam as experiências já realizadas por seus antecessores, elas não seriam suficientes para compor um corpo completo de doutrina e, portanto, ele teria de refazer todos os estudos novamente.

I have felt bound to look upon all that has been done before me merely as suggestive: I have proposed to repeat it all with new safeguards. . . . But an immense series of experiments remains to be made (LAVOISIER *apud* DONOVAN, 1988, p. 223).

E indicou por onde suas investigações começariam.

---

<sup>9</sup> Essa passagem também pode ser lida em (FILGUEIRAS, 2007, p. 58-59) e em (CONNAT, 1957, p. 72-73).

This way of considering my object made me feel the need of repeating first, and of multiplying, the experiments in which air is absorbed in order that, knowing the origin of this substance, I could trace what becomes of it in all the various changes. The processes by which one can succeed in fixing air are: vegetation, the respiration of animals, combustion, in some conditions calcination, also some chemical changes. It is by these experiments that I feel bound to begin (LAVOISIER *apud* DONOVAN, 1988, p. 223).

Donovan chama a atenção sobre a percepção que Lavoisier tinha dos trabalhos de seus antecessores.

[...] in order to link our knowledge of the air that goes into combustion or that is liberated from substances, with other acquired knowledge, and to form a theory. The results of the other authors whom I have named, considered from this point of view, appeared to me like separate pieces of a great chain; these authors have joined only some links of the chain (LAVOISIER *apud* DONOVAN, 1988, p. 223).

Aprofundando-se cada vez mais nessas investigações, e de posse de um conjunto maior de dados, decidiu reunir todas as informações e publicá-las num manuscrito denominado *Opuscules Physiques et Chymiques*, que foi entregue à *Academia* em maio de 1773 (publicado em janeiro de 1774), tomando o cuidado de citar as importantes contribuições de Black e Priestley no estudo dos *ares* (BELL, 2007; FILGEIRAS, 2002). No mês seguinte, alguns membros da *Academia* foram ao laboratório de Lavoisier testar os experimentos descritos no *Opuscules* e constataram sua veracidade (BELL, 2007).

Nos meses seguintes Lavoisier continua suas pesquisas sobre a calcinação de metais, particularmente aquelas descritas por Boyle, em que a calcinação de metais em tubos lacrados, sob elevada temperatura, ocasionava aumento de peso. Ao refazer os experimentos e tomando os costumeiros cuidados com a pesagem, Lavoisier verificou não haver alterações do peso. Porém, quando abriu os tubos ainda quentes observou que o ar entrava nos tubos fazendo com que ocorresse aumento de peso do conjunto. Esse acréscimo de peso era igual ao ganho de peso dos metais calcinados (FILGUEIRAS, 2007).

Após receber a avaliação pela *Academia* dos *Opuscules*, enviou cópias para a *Royal Society* de Londres, e para a *Royal Society* de Edimburgo, com cópia extra para Black. Enviou

também para a Academia de Ciências de Estocolmo com um exemplar especialmente endereçado para Carl W. Scheele (BELL, 2007, FILGUEIRAS, 2007).

Lavoisier tinha consciência das investigações de Scheele e este, após receber a cópia, encaminhou carta a Lavoisier, em agradecimento, e descreveu minuciosamente alguns procedimentos para a obtenção do ar que havia denominado *ar de fogo* (BELL, 2007; FILGUEIRAS 2007). Segundo Bell, “Lavoisier nunca respondeu à carta de Scheele [...]. Nem existe nenhuma evidência de que chegou a realizar o experimento descrito por Scheele” (BELL, 2007, p. 98).

Em novembro de 1774, os químicos franceses Baumé e Cadet discutiram sobre a calcinação do *mercurius precipitatus per se*. Baumé afirmava que o *mercurius* não podia ser reduzido sem a presença de carvão e Cadet, ao contrário, insistia na possibilidade da redução sem carvão. Lavoisier foi um dos integrantes da comissão designada para mediar a controvérsia. Durante a investigação descobriu-se que a redução do *mercurius* era possível sem a presença de carvão. Segundo Bell (2007), nem Lavoisier nem os demais presentes notaram a diferença entre o *ar* liberado na calcinação sem carvão com o *ar* liberado na calcinação com o carvão. No final daquele ano, Pierre Bayen e Cadet publicaram os resultados da calcinação do *mercurius* (FILGUEIRAS, 2007).

Ainda em 1774, Priestley em visita à Paris, participou de um jantar onde estiveram reunidos vários cientistas eminentes da época, incluindo Lavoisier. Nesse evento, Priestley relatou a todos suas observações sobre a calcinação do *mercurius calcinatus*. Priestley havia realizado a redução do *mercurius* com e sem a presença de carvão e constatou que, no último caso, o *ar* desprendido possuía propriedades distintas das do *ar fixo*. O *ar* em questão era insolúvel em água e estimulava a chama de uma vela. Priestley imaginou a princípio que havia produzido *ar nitroso*. De volta à Inglaterra e de posse de uma amostra mais pura de *mercurius*, obtida de Cadet, percebeu a diferença entre as propriedades do *ar nitroso* e do novo *ar* que chamou de *ar desflogisticado*. Ele publicou suas conclusões no segundo volume de *Experiments and Observations on Different Kinds of Air* (BELL, 2007; FEILGUEIRAS, 2002; GUERLAC, 2007; MARTINS, 2009).

Lavoisier já havia observado a calcinação do *mercurius* quando da controvérsia entre Baumé e Cadet porém, sem analisar os resultados. Por isso, no início de 1775, realizou seus próprios testes com o *mercurius* e percebeu a diferença da calcinação com e sem carvão. O ar

produzido na calcinação do *mercurius* sem a presença de carvão possuía as propriedades que Priestley havia descrito e chamou a atenção de Lavoisier: “É encantador; a chama é bem maior, mais clara e mais bonita do que no ar comum, mas com a mesma cor da chama comum” (LAVOISIER, apud BELL, 2007, p. 99). Para Lavoisier, esse resultado indicava que a calcinação do *mercurius* havia produzido “não somente ar comum [...] mas ainda mais puro do que o ar no qual vivemos imersos” (GUERLAC, 2007, p. 1567). Esse *ar* foi chamado por Lavoisier, segundo Guerlac (2007) de “*ar eminentemente respirável*”.

Convencido de seus resultados, em março de 1775 Lavoisier depositou uma nota lacrada (*Mémoire sur la nature du principe qui se combine avec les méteux pendant leur calcination, et qui em augemente le poids*) na *Academia* que foi aberta e lida no final de abril do mesmo ano onde constava:

o princípio que se une aos metais durante sua calcinação e que lhes aumenta o peso e os leva ao estado de cal, não é nenhuma das partes constituintes do ar, nenhum ácido particular espalhado na atmosfera, é o próprio ar, inteiro, sem alteração, sem decomposição (LAVOISIER, apud BELL, 2007, p. 100; FILGUEIRAS, 2007, p. 71).

Segundo Bell (2007) e Filgueiras (2007), Priestley irritou-se com a publicação de Lavoisier por este não mencionar sua colaboração. Por isso intensifica ainda mais suas investigações principalmente às que produzem o *ar fixo* que passa a chama-lo de *ar flogisticado* e às que produzem o *ar* que denominou de *ar desflogisticado*.

Segundo Guerlac (2007), Lavoisier sabia dos estudos de Priestley pois, em dezembro de 1775, provas parciais de uma publicação do cientista inglês haviam chegado a Paris. E também pelo fato de que em algumas notas de laboratório desse período se referiam ao *ar* produzido pelo cientista francês a partir do *mercurius* como sendo o *ar desflogisticado de M. Priestley* (GUERLAC, 2007).

Bell (2007) relata que, em 1777, Lavoisier reconheceu as contribuições de Priestley no plano experimental, mas reclama a precedência de suas interpretações dizendo que:

uma parte dos experimentos contidos nesta dissertação não pertencem propriamente a mim; talvez, para ser exato, existam até alguns dos quais o Sr. Priestley possa reivindicar a ideia inicial; mas à medida que os mesmos fatos nos levaram a conclusões diametralmente opostas, espero que, se alguém me acusar de ter me apropriado de provas dos trabalhos desse físico célebre, pelo menos ninguém me conteste o direito às conclusões (LAVOISIER, apud BELL, 2007, p. 102).

Em abril de 1776 Lavoisier apresentou para a academia uma dissertação intitulada *Sur l'existence de l'air dans l'acide nitreux* onde relata seus experimentos em que uma quantidade de mercúrio foi dissolvida em ácido nítrico a quente. O sal branco produzido foi decomposto resultando o *mercurius precipitatus* e *ar nitroso*. O óxido nitroso foi posto para se decompor produzindo mercúrio e *ar eminentemente respirável*. Lavoisier coletou o *ar eminentemente respirável*, misturou-o ao *ar nitroso* em água e em consequência foi produzido o ácido nítrico. Em março de 1777, Lavoisier leu para a *Academia* uma dissertação na qual afirma ter demonstrado a formação de ácido fosfórico queimando fósforo, bem como a formação de ácido vitríolo queimando enxofre, ambos no *ar comum*. Quando a queima terminou, o ar residual não favorecia a combustão e nem a respiração. Esse *ar* foi chamado por Lavoisier de *mofette atmosphérique* (GUERLAC, 2007).

Lavoisier continuou com suas investigações, principalmente as que se referiam a composição do ar atmosférico. Observou que a respiração substituía o *ar eminentemente respirável* por *ar fixo* e verificou que após a calcinação do mercúrio na ausência de carvão, o *ar* restante era diferente do *ar fixo*, e o chamou de *mofette*. Medindo minuciosamente o peso em seus estudos, constatou que o peso ganho na calcinação era o mesmo perdido pelo *ar atmosférico*. Realizou também a operação inversa, aquecendo a *calx* de mercúrio e verificou que a perda de peso da *calx* era igual ao peso do ar desprendido no processo. Quando Lavoisier misturou o *ar* desprendido (*ar eminentemente respirável*) na calcinação da *calx* de mercúrio com o *ar* restante da sua redução (*mofette*), percebeu haver recuperado o ar atmosférico (BELL, 2007; FILGUEIRAS 2007). Em 1779 ele reuniu os resultados de suas investigações sobre a constituição dos ácidos, cujo título é *Considérations générales sur la nature des acides*. Concluiu Lavoisier que o *ar eminentemente respirável* é o princípio constituinte de todos os ácidos.

Daqui em diante, designarei o ar desflogisticado ou ar eminentemente respirável, no estado de combinação e fixidez, pelo nome de princípio acidificante, ou caso se

prefira o mesmo sentido em uma palavra grega, le príncipe oxygine<sup>10</sup>. Esta denominação [...] dará mais rigor ao meu modo de expressão e evitará as ambiguidades em que nos arriscaríamos a cair com a palavra ar (LAVOISIER, apud BELL, 2007, p. 103).

Lavoisier também se interessou em pesquisar a respiração animal e, com a colaboração de Trudaine de Montigny, realizou uma série de experimentos que originaram a *Mémoire sur les changements que le sang éprouve dans les poumons et sur le mécanisme de la respiration*, lido na *Academia* em abril de 1777. Segundo Guerlac (2007), nessa época Lavoisier afirmou que a respiração consumia *ar eminentemente respirável* e o restante do *ar* entrava e saía inalterado dos pulmões. Afirmou ainda que o *ar eminentemente respirável* era convertido nos pulmões em *acide crayeux aeriforme (ar fixo)* ou que haveria apenas uma troca entre os dois *ares*. Preferindo a primeira explicação, no mesmo ano em *Mémoire sur la combustion em general*, sugeriu que a respiração era similar à queima do carvão e deveria ser acompanhada da liberação da *matéria do fogo*.

Em suas pesquisas sobre a relação entre a respiração e a produção do calor corporal, Lavoisier e seu amigo Pierre Simon de Laplace construíram, em 1781, um aparelho que denominaram de *calorímetro*, com o intuito de medir o calor de processos como combustão e respiração. Os resultados dessa investigação ajudaram Lavoisier a conjecturar que a respiração seria uma forma de combustão. Agora com a colaboração de Armand Seguin, em 1789, estabeleceram que tanto o carvão queimando quanto animais respirando consomem uma parte do ar do recipiente, produzindo *ar fixo*, com liberação de calor. Afirmaram também que parte do *ar eminentemente respirável* deveria ser absorvido pelo sangue ou ser convertido em água. Essas conclusões foram publicadas e apresentadas à *Academia* entre o final de 1790 e o início de 1791 (BELL, 2007; FILGUEIRAS, 2007; GUERLAC, 2007).

Os estudos de Lavoisier sobre o calor levaram-no cada vez mais a crer que combustão, calcinação e respiração são, de fato, processos semelhantes em que há consumo de uma parte do ar atmosférico. Essas hipóteses pressupunham a não existência do princípio da combustão, ou seja, o flogístico.

---

<sup>10</sup> Segundo Guerlac (2007), primeiramente Lavoisier utilizou o termo *príncipe oxigene* para o princípio acidificante e posteriormente *oxygène* para designar o ar eminentemente respirável, que seria a “combinação” entre o *príncipe oxigene* com a *matéria do fogo*.

A existência da matéria do fogo, do flogisto nos metais, no enxofre etc., não é na realidade, mais que uma hipótese, uma suposição, que, uma vez admitida, explica, é verdade, alguns fenômenos da calcinação e da combustão; mas se eu mostrar que esses mesmos fenômenos podem ser explicados de uma maneira completamente natural na hipótese oposta, isto é, sem supor que exista flogisto nos materiais chamados combustíveis, o sistema de Stahl ficará abalado até seus fundamentos (LAVOISIER, apud FILGUEIRAS, 2007, p. 76).

Lavoisier adota como explicação para o calor envolvido nos processos, o conceito de calórico.

Claro que me perguntarão o que quero dizer com matéria do fogo. Respondo, com Franklin, Boerhaave e um grupo de filósofos da Antiguidade, dizendo que a matéria do fogo ou luz é um fluido mui elástico e mui sutil que circunda todas as partes do planeta onde vivemos, que penetra com maior ou menor facilidade em todos os corpos de que se compõe, e que tende, quando livre, a se distribuir uniformemente em tudo (LAVOISIER, apud BELL, 2007, p. 106).

Segundo Bell, as investigações de Lavoisier “com LaPlace e o calorímetro de gelo pretendiam estabelecer uma técnica de isolar e quantificar o calórico” (BELL, 2007, p 108).

Em 1782, Lavoisier realiza investigações sobre a composição da água. Antes, entre 1776 e 1777, Pierre Joseph Macquer havia observado que a combustão de *ar inflamável* ocorria sem a formação de fuligem, mas ele reportou o aparecimento de gotículas de água dentro do recipiente utilizado. Ainda em 1777, Lavoisier e Jean Baptiste Michel Bucquet verificaram que a queima do *ar inflamável* não resulta, como se supunha, na formação de um ácido, porém, observaram a existência de algumas gotas de água no recipiente utilizado. Priestley também percebeu a presença de água quando queimou *ar inflamável* com *ar desflogisticado* utilizando faíscas elétricas. Em 1775, Cavendish observou que a reação entre o *ar inflamável* e *ar desflogisticado* se dava na proporção de dois volumes para um respectivamente. Cavendish, ao contrário dos que antes dele investigaram o mesmo processo, supôs que a água havia sido formada na reação entre os dois *ares*, mas algumas dificuldades técnicas fizeram com que publicasse seus resultados somente em 1784. (BELL, 2007; FILGUEIRAS, 2007; GUERLAC, 2007).

No inverno de 1782, Lavoisier utilizou um equipamento denominado de gasômetro para fazer a mistura entre seu *oxygène* e o *ar inflamável* de Cavendish. Segundo Guerlac (2007), Lavoisier ficou surpreso por não haver sido formado nenhum tipo de ácido e, por conta disso, decidiu refazer o experimento numa escala maior e com mais precisão. De novo Laplace o auxiliou, agora na construção de um novo dispositivo de combustão para a queima dos *ares*, que ficou pronto em junho de 1783. Nesse mesmo mês, Charles Blagden, assistente de Henry Cavendish, visitou a *Academia* em Paris e relatou que Cavendish havia produzido água a partir da reação entre *ar inflamável* e *ar desflogisticado* em recipiente fechado. Ao tomarem conhecimento da informação dada por Blagden, no dia 24 de junho de 1783, Lavoisier e Laplace produziram água a partir da reação entre *ar inflamável* e *ar desflogisticado*, na presença de vários acadêmicos e inclusive na de Blagden. O líquido produzido não tingiu o tornassol nem o xarope de violeta, portanto não tinha características ácidas (GUERLAC, 2007).

No verão de 1783, a atenção do público e da comunidade científica foi atraída para os balões com ar quente dos irmãos Montgolfier e dos balões com *ar inflamável* de A. C. Charles. Nesse período, a *Academia* constituiu um comitê para pesquisar qual o melhor modelo de balões, melhor maneira de manobrá-los e o mais importante, uma forma economicamente viável de obter um *ar* para enchê-los. Dentre os integrantes desse comitê faziam parte Claude Luis Berthollet, Lavoisier e um engenheiro chamado J. B. M. Meusnier, que havia auxiliado o cientista francês, em março de 1784, a preparar *ar inflamável* fazendo água passar por um cano incandescente de uma arma de fogo. O dispositivo foi aperfeiçoado e, em fevereiro de 1785, eles realizaram a decomposição da água perante membros do comitê de avaliação da *Academia* e convidados. De acordo com Guerlac (2007), em março de 1785, Berthollet escreveu para Blagden relatando os resultados atingidos por Lavoisier e seu grupo.

Em 1785, Lavoisier, juntamente com Laplace e Berthollet, executaram experimentos de decomposição e síntese da água. Ela foi decomposta e coletou-se o *ar inflamável* produzido. O *ar eminentemente respirável* foi produzido pela calcinação da cal de mercúrio. Os dois *ares* foram postos a reagir, regenerando água (BELL, 2007; FILGUEIRAS, 2007). Segundo Filgueiras, “essa experiência foi um marco importante para a adesão de outros químicos à nova teoria de Lavoisier” (FILGUEIRAS, 2007, p. 88).

De posse de inúmeros experimentos e resultados satisfatórios, Lavoisier publicou em 1786 *Réflexions sur le phlogistique* que, segundo Guerlac (2007) pretendeu ser “uma

refutação rigorosa não só de Stahl, mas também dos flogistonistas modernos [...] que tentaram modificar as hipóteses de Stahl à luz da nova evidência experimental” (GUERLAC, 2007, p. 1572).

Os químicos fizeram do flogístico um princípio vago sem nenhuma definição rigorosa, e que portanto se adapta a quaisquer explicações em que querem incluí-lo; às vezes, esse princípio é pesado, e outras vezes não é; às vezes, está livre de fogo, e outras vezes é fogo combinado com o elemento terroso; às vezes, passa pelos poros dos recipientes, outras vezes estes são impenetráveis a ele; explica de uma só vez causticidade e não-causticidade, translucidez e opacidade, cores e ausência delas. É um verdadeiro Proteu, que muda de forma a cada segundo. Chegou a hora de trazer a química de volta a uma forma de raciocínio mais rigorosa [...] de distinguir o que é fato e observação do que é sistemático e hipotético (LAVOISIER *apud* BELL, 2007, p. 120).

Nesse momento, parece que Lavoisier estava convencido o suficiente de suas ideias e de que poderia

[...] mostrar que o flogístico de Stahl é imaginário e sua existência nos metais, enxofre, fósforo e todos os corpos combustíveis, uma suposição infundada, e que todos os fatos da combustão e da calcinação são explicados de forma bem mais simples, sem o flogístico (LAVOISIER *apud* BELL, 2007, p. 121).

Mas a nova doutrina de Lavoisier não foi aceita facilmente. A princípio, alguns cientistas como Claude Berthollet (que acompanhou as investigações sobre a decomposição da água), Guyton de Morveau, Chaptal e Antoine de Fourcroy (aluno do ex-colaborador de Lavoisier, Bucquet) logo aderiram à sua teoria. Este último oferecia cursos de química ao público nos Jardins do Rei, onde ensinava com base na teoria de Lavoisier. De outro lado, homens como Richard Kirwan, Jean-Claude de Laméthrie (editor do *Journal de Physique*), Priestley e outros, resistiam aos argumentos de Lavoisier contra a teoria do flogístico. Kirwan, presidente da Real Academia Irlandesa, em seu livro *An essay on phlogiston and the constitution of acids* de 1787, tentou de todas as formas defender a doutrina do flogisto. Essa obra foi traduzida para o francês por Madame Lavoisier com comentários de Lavoisier, Morveau, Laplace, Monge, Berthollet e Fourcroy e finalmente, seu autor, em 1792, em carta a Berthollet adere às ideias de Lavoisier. Em 1791, Black escreve a Lavoisier e diz que está

convencido da solidez de sua teoria. Priestley porém, morreu sem aceitar a nova doutrina francesa (BELL, 2007; FILGUEIRAS, 2007, GUERLACK, 2007).

Em 1787, com o auxílio de Foucroy, Berthollet e Morveau, Lavoisier inicia os trabalhos para a reformulação da nomenclatura de química. O *Méthode de Nomenclature Chimie* constituiu uma poderosa ferramenta para consolidação da teoria de Lavoisier pois, segundo Bell, “qualquer usuário da nova nomenclatura francesa não teria outra opção senão aceitar a teoria antiflogístico na qual se baseava” (BELL, 2007, p. 126). Na introdução do *Méthode* Lavoisier escreve que o método:

que é tão importante de introduzir no estudo e no ensino da Química, está estreitamente ligado à reforma de sua nomenclatura; uma língua bem feita, uma língua na qual se perceberá a ordem sucessiva e natural da ideias, provocará uma revolução necessária e mesmo rápida na maneira de ensinar; ela não permitirá àqueles que professarem a Química separar-se da marcha da natureza; será preciso rejeitar a nomenclatura ou seguir irresistivelmente a rota que ela terá marcado (LAVOISIER, apud FILGUEIRAS, 2007, p. 105)

O manual de nomenclatura química publicado por Lavoisier e seus colaboradores foi duramente criticado em toda Europa e também nos Estados Unidos. Porém, ele foi ganhando adeptos e sendo traduzido para o inglês e em parte da Espanha (1788), para o italiano (1790) e para o alemão (1793). No Brasil o novo método ficou conhecido através da obra *Dissertação sobre a Fermentação*, publicada em 1787, de Vicente de Coelho de Seabra Silva Telles, jovem químico brasileiro estudante da Universidade de Coimbra e posteriormente por uma adaptação do novo método à língua portuguesa preparado por ele e intitulado *Elementos de Química*, cuja primeira parte foi publicada em 1788 e a segunda em 1790 (FILGUEIRAS, 2007).

Em 1789, Lavoisier e colaboradores publicaram a obra que seria a consolidação das realizações até então alcançadas, o *Traité Élémentaire de Chimie*. Nessa obra, Lavoisier apresenta a construção das novas ideias seguindo a cronologia do seu programa de pesquisa. Apresenta também, sistematicamente teoria e prática rompendo com a tradição dos antigos manuais. Segundo Filgueiras (2007) o *Traité* possui visível intenção didática, ou seja, constituiu-se num manual para a proliferação da nova Química.

A partir de 1789, outras publicações tais como *Encyclopédie Méthodique* de Guyton de Morveau, *Éléments d'histoire naturelle et de chimie* de Fourcroy, *Éléments de chimie* de Chaptal, utilizaram e citaram as contribuições dos trabalhos de Lavoisier e fizeram uso da nova linguagem química em suas obras. A quarta edição dos *Éléments* de Chaptal foi publicada em 1791 e a quinta em 1793 sendo traduzida para o inglês, italiano, alemão e espanhol. Cuidadosamente, Lavoisier enviou cópias do *Traité* para autoridades francesas como o conde de Artois e ao rei e rainha da França. Enviou também cópia para Franklin com a preocupação de apresentá-la com uma carta explicativa (BELL, 2007; DONOVAN, 1988; GUERLAC, 2007). Segundo Guerlac (2007) em 1789 Guyton, Berthollet, Foucroy, Monge, Lavoisier, Dietrich, Jean Henri Hassenfrats e Pierre Auguste Adet, publicaram um novo jornal científico chamado de *Annales de Chimie* utilizado para as publicações do grupo.

Até o ano de 1805, o *Traité* já havia sido publicado em 23 edições em sete países sendo reconhecida pela maioria dos cientistas da época como uma obra de referência em cursos de química (BELL, 2007; FILGUEIRAS 2007).

## 5 O REFERENCIAL EPISTEMOLÓGICO: KUHN - PARADIGMAS, CRISES E REVOLUÇÕES.

Thomas Samuel Kuhn (1922-1996) é, sem dúvida, um dos filósofos da ciência mais conhecido dos últimos 50 anos e seu trabalho se constitui em importante marco na construção de uma imagem contemporânea de ciência.

Kuhn foi um dos principais inauguradores de uma corrente que analisa a construção e desenvolvimento do conhecimento científico em seus aspectos, históricos, filosóficos e sociológicos. Suas ideias sobre o desenvolvimento científico divergem daqueles que defendem que o desenvolvimento científico, entre outras coisas, começa com observação neutra, se dá por indução, é cumulativo, linear e que o conhecimento científico daí obtido pode ser testado e é definitivo. Seus conceitos de paradigma, ciência normal, revolução científica e incomensurabilidade mudaram a nossa forma de pensar sobre a ciência.

Em 1962, com a publicação de *A Estrutura das Revoluções Científicas* (ERC), Kuhn estabelece o termo *revolução científica* para aqueles períodos na história da ciência nos quais há a mudança do que ele chama de *paradigma* aceito por uma comunidade científica. Nessa obra, o autor emprega o termo paradigma em profusão, não ficando evidente muitas vezes o que ele quer dizer com utilização do termo. Para ficar em uma das definições, no prefácio da ERC, Kuhn conceitua paradigma como:

[...] as realizações científicas universalmente reconhecidas que, durante algum tempo, fornecem problemas e soluções modelares para uma comunidade de praticantes de uma ciência (KUHN, 2007, p. 13).

Tais realizações foram universalmente reconhecidas pois, segundo Kuhn (2007), foram suficientemente sem precedentes para atrair um grupo fiel de participantes, que se afastaram de outras linhas de pensamento, pois o paradigma adotado abriu um campo notadamente fértil para a realização de pesquisas.

Para Kuhn, o paradigma fornece, para certa comunidade científica, os fatos que valem a pena ser investigados, os fundamentos norteadores da pesquisa, os métodos empregados e o que se aceita como soluções. Dessa forma, ele afirma que “Homens cuja pesquisa está baseada em paradigmas compartilhados estão comprometidos com as mesmas regras e padrões para a prática científica” (KUHN, 2007, p. 30).

Em função da adoção de um paradigma, os cientistas passam a trabalhar no interior de uma modalidade de ciência que Kuhn denominou de ciência normal. No capítulo um da ERC, o filósofo estabelece:

Neste ensaio, “ciência normal” significa a pesquisa firmemente baseada em uma ou mais realizações científicas passadas. Essas realizações são reconhecidas durante algum tempo por alguma comunidade científica como proporcionando os fundamentos para sua prática posterior (KUHN, 2007, p. 29).

Segundo Kuhn (2007), a ciência normal é baseada em uma pesquisa autônoma, mais especializada e esotérica, pautada na aceitação de um paradigma, pelos membros de uma comunidade científica.

Em sua obra, ele deixa claro que os participantes de uma comunidade científica, ao adotarem um paradigma, adquirem também um critério para a escolha de problemas que, enquanto o paradigma for aceito, podem ser considerados como dotados de uma solução possível. Nesse caso, a ciência normal não é uma ciência de novidades, isto é, todo o tipo de solução possível é previsível em função do compromisso firmado com o paradigma adotado, pois o cientista deve saber como o mundo funciona:

A ciência normal, atividade na qual a maioria dos cientistas emprega inevitavelmente todo o seu tempo, é baseada no pressuposto de que a comunidade científica sabe como é o mundo. Grande parte do sucesso do empreendimento deriva da disposição da comunidade para defender esse pressuposto - com custos consideráveis, se necessário. Por exemplo, a ciência normal frequentemente suprime novidades fundamentais, porque estas subvertem necessariamente seus compromissos básicos (KUHN, 2007, p. 24).

Para Kuhn, o comprometimento e o consenso em torno de um paradigma são pré-requisitos para a ciência normal, como condição para a continuidade de uma tradição de pesquisa.

Um paradigma é bem aceito, adquirindo seu *status*, porque foi razoavelmente bem sucedido na resolução de alguns problemas reconhecidos como relevantes por um grupo de participantes de uma ciência e, ao mesmo tempo, deixou uma ampla gama de outros problemas com promessa de resolução. Desse modo, a tarefa dos cientistas nos períodos de ciência normal consiste na atualização dessas promessas, ampliando os fatos que o paradigma apresenta como particularmente relevantes, articulando ainda mais o paradigma (KUHN 2007). Portanto, não haveria problemas para serem solucionados ou, se existissem, nenhum esforço teria sido realizado para resolvê-los, sem o respaldo das teorias pautadas num paradigma que garanta a existência de tais problemas e suas possíveis soluções.

Os problemas que a comunidade admitirá como científicos e encorajará seus membros a resolver são aqueles que Kuhn metaforicamente denomina de quebra-cabeças ou enigmas.

Quebra-cabeça indica, no sentido corriqueiro em que empregamos o termo, aquela categoria particular de problemas que servem para testar nossa engenhosidade ou habilidade na resolução de problemas (KUHN, 2007, p. 59).

Conforme Kuhn (2007), para ser classificado como quebra-cabeça, um problema deve não só apresentar uma solução assegurada, mas também obedecer às regras que limitam tanto a natureza das soluções aceitáveis como os passos necessários para obtê-las. Nesse sentido, o cientista normal seria um solucionador de quebra-cabeças em que somente sua engenhosidade estaria à prova, e não a teoria. Resolver um problema de pesquisa normal é alcançar o antecipado de uma nova maneira, objetivo que requer a solução de todo tipo de quebra-cabeças. O cientista bem sucedido nessa tarefa prova sua habilidade, o que o incita a solucionar outros quebra-cabeças que ninguém resolveu ainda ou não ficaram bem resolvidos (KUHN, 2007).

A ciência normal, como solucionadora de quebra-cabeças, pauta seus alicerces em regras predefinidas pelo paradigma com o qual um grupo de participantes de uma ciência

apresenta compromissos sólidos. Esses compromissos são estabelecidos mediante o corpo teórico-conceitual, dos procedimentos metodológicos e instrumentais que regem o paradigma adotado, proporcionando ao praticante de uma especialidade, regras que lhe revelam a natureza do mundo e de sua ciência.

Para Kuhn (2007), no período classificado como “ciência normal”, a atividade científica apresenta-se como um empreendimento altamente cumulativo e extremamente bem sucedido na ampliação do alcance e precisão das previsões do paradigma. Em geral, a pesquisa normal não se propõe a descobrir novidades no campo de atuação do paradigma. Todavia, fatos novos e inesperados que violam as expectativas deste paradigma, vêm à tona de tempos em tempos, consequência das investigações cada vez mais rígidas e precisas, originadas na ciência normal. Esses fatos, excepcionalmente inesperados (novidades), são denominados por Kuhn de anomalias.

Kuhn classifica as novidades em duas categorias, as descobertas (novidades relativas a fatos) e as invenções (novidades relativas à teoria). As descobertas, de acordo com o autor, não acontecem isoladamente, mas sim em episódios prolongados. Como exemplo, o momento histórico da passagem da teoria do flogístico para a teoria da combustão pelo oxigênio é utilizado por Kuhn para a análise da natureza das descobertas. Na obra *A Estrutura das Revoluções Científicas*, ele cita os nomes de Carl Scheele, Joseph Priestley e Antoine Lavoisier como possíveis descobridores do novo “ar”, mas desconsidera, em seus argumentos, as investigações do primeiro, porque seus trabalhos somente foram publicados em 1777, após o anúncio da descoberta do oxigênio. Kuhn declara não existir resposta clara para a questão sobre quem descobriu o oxigênio, se Priestley ou Lavoisier, e que a tentativa de responder a questão fornecerá elementos para esclarecer a natureza das descobertas. Conforme o autor:

A proposição “O oxigênio foi descoberto”, embora indubitavelmente correta, é enganadora, pois sugere que descobrir alguma coisa é um ato simples e único, assimilável ao nosso conceito habitual (e igualmente questionável) de visão. Por isso supomos tão facilmente que descobrir, como ver ou tocar, deva ser inequivocamente atribuído a um indivíduo e a um momento determinado no tempo (KUNN, 2007, p. 81).

O oxigênio teria sido descoberto, segundo Kuhn, em algum instante entre 1774 e 1777, mas seria arbitrária a tentativa de precisar o momento, porque a descoberta seria um fenômeno complexo envolvendo tanto o conhecimento da existência de algo (fato) como de sua natureza. Priestley poderia ser o descobridor se considerarmos o oxigênio como o *ar desflogisticado*, mesmo assim seria impossível prever quando, porque, em suas primeiras investigações, ele pensou ter preparado o óxido nitroso. Da mesma forma, em suas primeiras investigações, Lavoisier pensou ter obtido uma forma mais pura do ar atmosférico (KUHN, 2007).

Na hipótese de não ser possível a dissociação entre a ocorrência do fato e sua assimilação pela teoria, somente da posse antecipada de estruturas conceituais relevantes seria possível conceber a existência do fenômeno e sua natureza. Foi assim com o amadurecimento das concepções de Lavoisier. Em seus trabalhos, a partir de 1777, ele não só anunciou a descoberta do oxigênio como também desvendou sua participação nos fenômenos da combustão, na respiração animal e na formação da água.

Essa consciência prévia das dificuldades deve ter sido uma parte significativa daquilo que permitiu a Lavoisier ver nas experiências semelhantes às de Priestley um gás que o próprio Priestley fora incapaz de perceber. Inversamente, o fato de que era necessário uma revisão importante no paradigma para que se pudesse ver o que Lavoisier viu, deve ter sido a razão principal para Priestley ter permanecido, até o fim de sua vida, incapaz de vê-lo (KUHN, 2007, p. 82).

Dessa forma, podemos perceber a importância que Kuhn atribui às novidades geradoras de descobertas. Para ele, as primeiras podem constituir o estopim para que haja mudanças de paradigma, ou seja, revoluções científicas. Em suas palavras,

O que Lavoisier anunciou em seus trabalhos posteriores a 1777 não foi tanto a descoberta do oxigênio como a teoria da combustão pelo oxigênio. Essa teoria foi a pedra angular de uma reformulação tão ampla da química que veio a ser chamada de revolução química (KUHN, 2007, p. 82).

Com efeito, os participantes de uma comunidade, em suas pesquisas normais, consciente de uma anomalia, iniciam uma exploração mais ampla dos fatos que a geraram, tentando ajustar o paradigma de tal forma para que o anômalo se converta no esperado. Mas há casos em que até os membros mais habilidosos da comunidade científica não conseguem explicar os fatos ocorridos com as regras que vinham utilizando. Há momentos em que surgem situações onde um determinado quebra-cabeça começa a resistir de tal forma às tentativas sérias de resolução que alguns indivíduos de uma comunidade científica começam a perceber que não é por falta de habilidade de seus pesquisadores que a solução não é encontrada. Dessa forma, aquele problema ameaça minar a metodologia normal de resolução de quebra-cabeças. Essa situação provoca o que Kuhn denomina de crise. A crise é instaurada quando os membros de um grupo científico admitem que a anomalia oferece ameaça aos alicerces do paradigma (KUHN, 1979; 2007).

Na crise, ocorre um período de insegurança dos membros de um grupo científico porque há o enfraquecimento dos compromissos com o paradigma vigente. Nesse momento inicia-se um processo que Kuhn denomina de ciência extraordinária, isto é, pesquisa não mais fundamentada nas rígidas regras concedidas pelo paradigma. É em períodos de ciência extraordinária que os cientistas testam suas hipóteses *ad-hoc* e, a partir daí, surgem novos candidatos a paradigma.

A emergência de novas teorias é geralmente precedida por um período de insegurança profissional pronunciada, pois exige a destruição em larga escala de paradigmas e grandes alterações nos problemas e técnicas da ciência normal. Como seria de esperar, essa insegurança, é gerada pelo fracasso constante dos quebra-cabeças da ciência normal em produzir os resultados esperados. O fracasso das regras existentes é prelúdio para uma busca de novas regras (KUHN, 2007, p. 95)

Se algum dos novos candidatos a paradigma se mostra promissor, ao longo do tempo, um número crescente de indivíduos abandona o paradigma antigo e passa a firmar compromisso com o novo. O momento da ocorrência da substituição de paradigmas é o que Kuhn denomina de Revolução Científica.

[...] consideramos revoluções científicas aqueles episódios de desenvolvimento não-cumulativo, nos quais um paradigma mais antigo é total ou parcialmente substituído por um novo, incompatível com o anterior (KUHN, 2007, p. 125).

Ao contrário do que ocorre em tempos de ciência normal, caracterizada pelo acréscimo e adição cumulativa ao já conhecido, uma revolução científica envolve “descobertas que não podem ser acomodadas nos limites dos conceitos que estavam em uso antes delas terem sido feitas” (KUHN, 2006, p. 25). Esse momento é caracterizado pela substituição de paradigmas, onde há a reformulação de praticamente todo o campo de pesquisa desde suas bases, processo em que ocorre a mudança de conceitos, métodos, técnicas, linguagem e aplicações.

A passagem da Teoria de Newton (mecânica clássica) para a Teoria de Einstein (mecânica relativística) é utilizada por Kuhn para o estudo da natureza das diferenças entre os paradigmas em transição. Para o autor, a mecânica newtoniana não pode ser derivada da einsteiniana, ou seja, a primeira não pode ser um caso particular da segunda, como preconizam os adeptos do positivismo lógico, porque os termos utilizados na relatividade são conceitualmente distintos (apesar de familiares) dos termos utilizados na mecânica clássica.

Essa necessidade de modificar o sentido dos conceitos estabelecidos e familiares é crucial para o impacto revolucionário da teoria de Einstein. [...] Precisamente por não envolver a introdução de objetos ou conceitos adicionais, a transição da mecânica newtoniana para a einsteiniana ilustra com particular clareza a revolução científica como sendo um deslocamento da rede conceitual através da qual os cientistas vêem o mundo (KUHN, 2007, p. 137).

Segundo Kuhn, por mais que um paradigma antigo possa ser visto como um caso particular do novo paradigma, o primeiro deve ser transformado para tal aproximação. Todavia essa análise só pode ser realizada de posse dos novos conceitos adquiridos em função do novo paradigma. Além disso, essas mudanças não são apenas conceituais, há também, mudanças nos tipos de problemas e soluções aceitáveis como científicos pois, “guiados por novos paradigmas, os cientistas adotam novos instrumentos e orientam seu olhar para novas direções” (KUHN, 2007, p. 147). Por consequência da adoção de um novo paradigma, há a necessidade de redefinição do campo científico correspondente. Problemas antes científicos

podem ser declarados metafísicos, problemas que eram tidos como simples podem ser promovidos a problemas centrais do novo campo.

Todavia, Kuhn nos chama a atenção para o fato de que, em geral, as revoluções são quase totalmente invisíveis. Há duas explicações para tal ocorrência. Primeiro, as mudanças de paradigmas “precisam parecer revolucionárias somente para aqueles cujos paradigmas sejam afetados por ela” (KUHN, 2007, p. 126). Isso significa que grupos que não compartilham o mesmo paradigma não sentem os episódios de mudanças no outro grupo como revolucionária, mas apenas como normal. “A essência do problema é que para responder à pergunta ‘normal ou revolucionária?’ precisamos perguntar primeiro ‘para quem?’” (KUHN, 1979b, p. 311). Segundo, pelo disfarce sistemático, produzido por uma fonte de autoridade. Como fonte de autoridade, Kuhn (2007), relaciona os manuais científicos, os textos de divulgação e obras filosóficas, divulgadores dos paradigmas. O efeito de disfarce se dá, pois:

Todas elas registram o resultado estável das revoluções passadas e desse modo põem em evidência as bases da tradição corrente da ciência normal. Para preencher sua função não é necessário que proporcionem informações autênticas a respeito do modo pelo qual essas bases foram inicialmente reconhecidas e posteriormente adotadas pela profissão (KUHN, 2007, p. 176).

Kuhn vai mais além e diz que a cada revolução há a necessidade de que os manuais sejam reescritos, pois dessa forma,

[...] tanto os estudantes como os profissionais sentem-se participando de uma longa tradição histórica. Contudo, a tradição derivada dos manuais, da qual os cientistas sentem-se participantes, jamais existiu (KUHN, 2007, p. 177).

Isso significa que os manuais distorcem a história da sua própria disciplina reescrevendo-a em bases racionais. Kuhn (2007) diz que, por razões funcionais, isso é feito para que sejam apresentadas apenas as contribuições de trabalhos anteriores, que sirvam de exemplo para a solução de problemas apresentados no final dos manuais. Dessa forma, o

trabalho científico passado, é apresentado como uniforme, como se todos os cientistas tivessem empreendido esforços no mesmo conjunto de problemas e utilizando os mesmos arcabouços teóricos, ou seja, os mesmos paradigmas. Assim, a ciência parece evoluir de forma estável, linear e cumulativa. Segundo o autor, manuais nos moldes em que conhecemos hoje passaram a existir a partir do século XIX, porém, em ciências mais desenvolvidas, antes dessa época, a confiança em publicações, equivalentes aos manuais modernos, surgiam juntamente com a emergência dos paradigmas de uma disciplina. Assim, obras como *A Física* de Aristóteles, os *Principia* e a *Optica* de Newton e a *Química* de Lavoisier, dentre outros, foram responsáveis em transmitir a tradição de um corpo de conhecimento aceito e “definir implicitamente os problemas e métodos legítimos de um campo de pesquisa para as gerações posteriores de praticantes da ciência” (KUHN, 2007, p. 30), do mesmo modo e “função que têm hoje os manuais duma ciência” (KUHN, 1979, p. 59a).

Dessa forma, de acordo com Kuhn, nos momentos de mudança de paradigma, ou seja, de revoluções científicas, há necessidade de que os manuais destinados à divulgação das ideias aceitas por um grupo de participantes da ciência

deven ser parcial ou totalmente reescritos toda a vez que a linguagem, a estrutura dos problemas ou as normas da ciência normal se modifiquem. Em suma, precisam ser reescritos imediatamente após cada revolução científica [...]. (KUHN, 2007, p. 177).

Em artigo publicado originariamente em 1987, “O que são revoluções científicas?” (KUHN, 2006), o autor expõe resumidamente três principais características comuns aos momentos de mudança de paradigma, ou seja, das Revoluções Científicas. A primeira característica, segundo sua concepção, é que momentos como esses ocorrem subitamente, ao contrário de tempos de ciência normal em que o conhecimento é construído gradualmente.

Na mudança normal, simplesmente revisa-se ou acrescenta-se uma única generalização, e todas as outras permanecem as mesmas. Na mudança revolucionária, é preciso ou viver com a incoerência ou revisar em conjunto várias generalizações inter-relacionadas. Se essas mesmas mudanças fossem introduzidas uma de cada vez, não haveria um refúgio intermediário (KUHN, 2006, p.41).

Essa característica da mudança revolucionária, de sentido mais geral, Kuhn chama de holística pois, como dito na citação acima, é preciso revisar não só aspectos pontuais e específicos da teoria, mas sim várias generalizações inter-relacionadas e, em certos casos, o campo por completo.

Outra característica das mudanças de paradigmas é a mudança de significado, ou seja, “mudança na maneira por que as palavras e expressões se ligam à natureza, uma mudança na maneira por que são determinados seus referentes” (KUHN, 2006, p. 42). Para Kuhn, as categorias taxonômicas são pré-requisitos para as descrições e generalizações científicas e, dessa forma, a mudança em várias dessas categorias, seria uma característica das revoluções, pois,

o caráter distintivo da mudança revolucionária na linguagem é que ela altera não apenas os critérios pelos quais os termos se ligam a natureza, mas também por extensão, o conjunto de objetos ou situações a que esses termos se ligam. (KUHN, 2006, p. 42).

Por último, a característica mais importante das Revoluções Científicas, para Kuhn, seria a “mudança central de modelo, metáfora ou analogia – uma mudança na ideia que se tem do que é similar a quê, e do que é diferente dele.” (KUHN, 2006, p. 43). Kuhn explica que nos períodos de mudança revolucionária deve haver, antes ou durante o processo, a mudança do padrão de similaridade. Para a análise de similaridade, objetos ou situações são justapostos para se saber se são iguais ou semelhantes com a função de transmitir ou manter uma taxonomia. Essa taxonomia é aprendida pela educação onde se adquire elementos relevantes para se estabelecer as relações de similaridade com as quais os itens comparados são agrupados como exemplos do mesmo grupo e separado de elementos de grupos distintos e somente após “esse processo de aprendizagem ter passado de certo ponto é que a prática da ciência pode começar” (KUHN, 2006, p. 44).

O termo *incomensurabilidade* entre teorias foi proposto por Kuhn para explicar o fato de que alguns termos, mesmo que familiares, se utilizados por paradigmas rivais, não podem ser postos em comparação, isto é,

[...] tradição científica normal que emerge de uma revolução científica é não somente incompatível, mas muitas vezes verdadeiramente incomensurável com aquela que a precedeu. (KUHN, 2007, p.138).

Dessa forma, para Kuhn, nas mudanças de paradigma há alterações significativas nos critérios de avaliação de legitimidade dos problemas e de suas soluções, e o termo *incomensurabilidade* expressa a dificuldade da comparação entre os componentes teórico-metodológicos e técnicos característicos dos paradigmas rivais.

Na tentativa de contextualizar o conceito de incomensurabilidade, Kuhn utiliza alguns episódios históricos da ciência para esclarecer seu ponto de vista. Na História da Química o momento da passagem da teoria do flogístico para a teoria da combustão pelo oxigênio é um episódio analisado por Kuhn como exemplo de revolução científica, em que há incompatibilidade entre a nova teoria e a antiga. Para o autor, nesse período ocorreram tanto mudanças da estrutura conceitual, da linguagem utilizada, como da concepção de mundo, tornando a visão dos adeptos da teoria do oxigênio completamente diferente da visão dos defensores do flogisto, quando ambos olhavam para o mesmo fenômeno<sup>11</sup>.

Como dissemos, Lavoisier viu oxigênio onde Priestley viu ar desflogisticado e outros não viram nada. Contudo, ao aprender a ver o oxigênio, Lavoisier teve também que modificar sua concepção a respeito de muitas outras substâncias familiares. [...] Na pior das hipóteses, devido à descoberta do oxigênio, Lavoisier passou a ver a natureza de maneira diferente (KUHN, 2007, p. 155).

Continuando a análise, Kuhn (2007) afirma que alguns serão tentados a dizer que tais mudanças são relativas apenas as diferentes interpretações dos mesmos dados absolutos.

Muitos leitores certamente desejarão dizer que o que muda com o paradigma é apenas a interpretação que os cientistas dão às observações que estão, elas mesmas, fixadas de uma vez por todas pela natureza do meio ambiente e pelo aparato perceptivo. (KUHN, 2007, p. 158)

---

<sup>11</sup> Para uma visão mais relativizada sobre o assunto ver MCEVOY, J. G. Continuity and Discontinuity in the Chemical Revolution. *Osiris*, vol. 4, p. 195-213, 1988.

Porém, para o autor, interpretações de fatos pressupõem um paradigma, pois somente por meio deste o cientista sabe o que é um fato importante ou, conforme o autor, “[...] devido a um paradigma aceito, o cientista sabia o que era um dado, que instrumentos podiam ser usados para estabelecê-lo e que conceitos eram relevantes para sua interpretação”. (KUHN, 2007, p. 160).

Como os membros de paradigmas distintos utilizam de argumentos que são internos aos seus próprios paradigmas, sua comunicação fica comprometida, pois os conjuntos de dados de ambos os grupos são incomensuráveis, e mais,

[...] os proponentes de paradigmas competidores discordam seguidamente quanto à lista de problemas que qualquer candidato a paradigma deve resolver. Seus padrões científicos ou suas definições de ciência não são os mesmos (KUHN, 2007, p. 190).

Conceitos e experiências antigos, concebidos no novo paradigma assumem novas relações resultando em um completo desacordo entre as escolas competidoras, como se praticassem seu ofício em mundos distintos (KUHN, 2007).

Dessa forma, “qual é o processo pelo qual um novo candidato a paradigma substitui seu antecessor?” (KUHN, 2007, p, 185) e “o que leva a um grupo a abandonar uma tradição de pesquisa normal por outra?” (KUHN, 2007, p, 185). Segundo Kuhn, a maioria dos cientistas não abandona o paradigma antigo em detrimento do novo, certos “de que o paradigma antigo acabará resolvendo todos os seus problemas e que a natureza pode ser enquadrada na estrutura proporcionada pelo modelo paradigmático” (KUHN, 2007, p 194). Porém, com o passar dos anos, os opositores do novo paradigma morrem e, por meio do treinamento, os jovens cientistas iniciam seu aprendizado familiarizando-se com os novos conceitos. Assim, cientistas individuais tornam-se adeptos do novo paradigma, seja porque esse resolveu, em todo ou partes, os problemas que fez com que o antigo caísse em crise, ou porque o novo paradigma prediz fenômenos aos quais o antigo nem suspeitava ou porque despertam no cientista um “sentimento do que é apropriado ou estético - a nova teoria é ‘mais clara’, ‘mais adequada’ ou ‘mais simples’ que a anterior” (KUHN, 2007, p. 198). Há aqui, por parte dos membros da comunidade científica, uma clara manifestação de atitude pouco racional, mais inclinada para aspectos afetivos e estéticos.

Inicialmente, o novo candidato a paradigma frequentemente possui poucos adeptos. Porém, se eles aperfeiçoarem o paradigma e mostrarem aos seus opositores o que é pertencer a uma comunidade guiada por ele,

Muitos cientistas serão convertidos e a exploração do novo paradigma prosseguirá. O número de experiências, instrumentos, artigos e livros baseados no paradigma multiplicar-se-á gradualmente. Mais cientistas, convencidos da fecundidade da nova concepção, adotarão a nova maneira de praticar a ciência normal, até que restem apenas alguns poucos opositores mais velhos (KUHN, 2007, p. 202).

Embora não possamos dizer que os que resistem estejam errados, muitos dirão que o mesmo deixou de ser um cientista (KUHN, 2007).

Diante do exposto podemos inferir que Kuhn, em sua obra, tenta fornecer uma visão do desenvolvimento das ciências naturais. Todavia, seu texto foi discutido pelos seus leitores muito além do que supunha o próprio autor. Alguns anos depois de publicada sua *Estrutura*, alguns termos (se não os principais) como paradigma, ciência normal e incomensurabilidade, já eram empregados por muitos estudiosos, quase nunca no sentido em que o autor originalmente imaginou. Grande parte da confusão se deu à profusão com que alguns desses termos foram utilizados. Masterman (1979) apresenta um estudo onde relata o emprego do termo paradigma por Kuhn em pelo menos 21 sentidos diferentes em sua *Estrutura*.

Em diversas ocasiões Kuhn responde às críticas, faz reconsiderações e tece comentários em relação aos pontos de sua tese que mais sofreram ataques. Para a tradução japonesa da *Estrutura*, Kuhn prepara um posfácio que posteriormente foi incorporado à edição americana de 1970. Nele, Kuhn responde às críticas recebidas e faz reconsiderações sobre alguns conceitos desenvolvidos nessa obra, particularmente sobre a noção de paradigmas, e reconhece as dificuldades criadas pela amplitude que o termo alcançou.

Inicialmente, Kuhn tenta esclarecer a relação entre paradigmas e comunidade científica. Conforme o autor, “um paradigma é aquilo que os membros de uma comunidade partilham e, inversamente, uma comunidade científica consiste em homens que partilham um paradigma” (KUHN, 2007, p. 221). Por essa concepção, todos os membros de uma comunidade são expostos aos mesmos preceitos, seja pela educação, pela iniciação

profissional, pela leitura de literatura técnica, etc. Esses preceitos marcam os limites de um objeto de estudo científico que, na maioria das vezes, é exclusivo para uma comunidade. A adoção de um paradigma ou um conjunto desses explicaria “a relativa abundância de comunicação profissional e a relativa unanimidade de julgamentos profissionais” (KUHN, 2007, p. 228) encontrada no seio de uma comunidade. Porém Kuhn, nesse caso, assevera que o uso do termo paradigma não é apropriado e seria melhor utilizar o termo matriz disciplinar.

Todos ou quase todos os objetos de compromisso grupal que meu texto original designa como paradigmas, partes de paradigma ou paradigmáticos, constituem essa matriz disciplinar e como tais formam um todo, funcionando em conjunto (KUHN, 2007, p. 229).

Dos componentes dessa matriz disciplinar, Kuhn chama a atenção para quatro elementos que ele considera importantes. Em primeiro lugar, as generalizações simbólicas, que seriam todas as definições empregadas por um grupo, expressas em forma algébrica ou sob a forma de enunciados. Outro componente importante dessa matriz seria os compromissos coletivos na forma de crenças, que originalmente foram chamados de “paradigmas metafísicos” que são os modelos, que fornecem as analogias ou metáforas preferidas pelo grupo, auxiliando na determinação do que será aceito como explicação ou solução de quebra-cabeça. O terceiro componente da matriz disciplinar são os valores que “contribuem bastante para proporcionar aos especialistas em ciências naturais um sentimento de pertencerem a uma comunidade global” (KUHN, 2007, p. 231). Os valores, segundo Kuhn, seriam os maiores responsáveis pela distinção que o grupo faz entre uma anomalia comum e uma geradora de crise e, também, pela escolha entre teorias rivais. Enfim, o quarto elemento da matriz disciplinar, que Kuhn chama de “exemplar”, foi o tipo de compromisso comum ao grupo, que primeiramente o levou a propor o termo paradigma. “Exemplares” seriam:

[...] as soluções concretas de problemas que os estudantes encontram desde o início de sua educação científica, seja nos laboratórios, exames ou no fim dos capítulos dos manuais científicos. Contudo devem ser somados a esses exemplos partilhados pelo menos algumas das soluções técnicas de problemas encontráveis nas publicações periódicas que os cientistas encontram durante suas carreiras como investigadores. Tais soluções indicam, através de exemplos, como devem realizar seu trabalho (KUHN, 2007, p. 234).

Para Kuhn, o conceito de “exemplar” é muito importante pois, segundo ele, na ausência destes, as leis e teorias anteriormente aprendidas pelo candidato à cientista, teriam pouco conteúdo empírico. A aquisição de habilidade em resolver problemas exemplares é essencial ao estudante, pois somente depois de resolver vários, o mesmo “passa a conceber as situações que o confrontam como um cientista, encarando-as a partir do mesmo contexto (*gestalt*) que os outros membros do seu grupo de especialistas (KUHN, 2007, p. 237).

Em relação às críticas sofridas pelo conceito da incomensurabilidade entre paradigmas rivais, Kuhn no posfácio da *Estrutura*, tece suas considerações. Foi principalmente em função da criação desse conceito que muitos o chamaram de irracionalista. Nesse ponto, Kuhn reafirma sua tese fazendo um paralelo com as demonstrações matemáticas. Segundo o autor, as discussões “sobre as escolhas entre teorias não podem ser expressos numa forma que se assemelhe totalmente a provas matemáticas ou lógicas” (KUHN, 2007, p. 247), pois suas premissas e regras são estipuladas de antemão, o que não é possível de se fazer na ciência. Mas isso não significa dizer que os membros de um grupo não possuem boas razões para tomar suas decisões e sim, que tais “razões funcionam como valores e, portanto, podem ser aplicados de maneiras diversas, individual e coletivamente, por aqueles que estão de acordo quanto a sua validade” (KUHN, 2007, p. 248). Como não há algoritmos neutros onde se pautar para a escolha entre teorias e não existe nenhum procedimento sistemático para tal decisão, os critérios de escolha ficam atrelados aos valores compartilhados pelo grupo e não a cargo de cada um de seus membros.

Ainda em resposta às críticas sofridas em relação à incomensurabilidade, em 1982, Kuhn apresenta o artigo “*Comensurabilidade, comparabilidade, comunicabilidade*” (KUHN, 2006), no qual sua defesa é feita basicamente em relação a duas críticas mais contundentes. A primeira, e talvez a mais disseminada, advém da hipótese utilizada por Kuhn “de que se duas teorias são incomensuráveis, então elas devem estar enunciadas em linguagens mutuamente intraduzíveis” (KUHN, 2006, p. 49). Sobre isso, diz a crítica, “não há nenhuma maneira de enunciar as duas numa única linguagem” (KUHN, 2006, p. 49), não existindo, dessa forma, nenhum argumento relevante para a escolha entre ambas, ou seja, elas são incomparáveis. Nesse aspecto Kuhn crítica o exagero em que o termo fora interpretado por seus críticos, e enuncia o conceito da seguinte forma:

A afirmação de que duas teorias são incomensuráveis é, assim, a afirmação de que não há uma linguagem, neutra ou não, em que ambas as teorias, concebidas como conjuntos de sentenças possam ser traduzidas sem haver resíduos ou perdas (KUHN 2006, p. 50).

Para o autor, os problemas na tradução da teoria predecessora para sua sucessora surgem apenas para alguns termos e suas sentenças, mas os demais termos comuns continuam sendo utilizados com o mesmo significado.

A maioria dos termos comuns às duas teorias funciona da mesma maneira em ambas; seus significados, quaisquer que sejam, são preservados; a sua tradução é simplesmente homofônica. Problemas de tradutibilidade surgem apenas para um pequeno sub-grupo de termos (usualmente interdefinidos) e para as sentenças que os contenham. A afirmação de que duas teorias são incomensuráveis é mais modesta do que supuseram muitos de seus críticos (KUHN, 2006, p. 50-51).

Kuhn diz que a tese da incomensurabilidade referente à linguagem e à mudança de significado é sua tese original, mas que agora em diante passará a chamar de “incomensurabilidade local”. Dessa forma, a escolha entre teorias será feita, primeiramente, em comparação aos termos que preservam seus significados e, nessa concepção, a primeira crítica perde seu sentido.

A segunda crítica argumenta que, se não há a possibilidade da tradução de teorias antigas na linguagem moderna, como podemos reconstruir tais teorias atualmente, sem abandonar, ambas as linguagens, a antiga e a moderna? Nessa linha, Kuhn questiona: “[...] seria correto afirmar que termos da química do século XVIII como “flogístico” são intraduzíveis?” (KUHN, 2006, p. 59) e “Como é possível, então, para um historiador que ensina a teoria do flogístico ou escreve sobre ela, comunicar seus resultados?” (KUHN, 2006, p. 61). Kuhn responde dizendo que a maioria dos termos usados na teoria antiga são os mesmos, tanto na forma quanto na função, sendo assim, o historiador descreve, sem muitos problemas, o mundo ao qual o flogistonista acreditava. Porém algumas palavras são inéditas e precisam ser aprendidas. Tais palavras como flogístico, princípio e elemento, por sua natureza, são intraduzíveis, levando o historiador a descobrir ou inventar seu significado, fazendo uso de processos interpretativos. Portanto, na visão de Kuhn, o historiador não é um tradutor absoluto, mas sim, apenas um intérprete. Isso não quer dizer que uma comparação

entre teorias não possa ser feita. Ela somente não pode ser completa, porém pode ser significativa.

## 6 ANÁLISE DOS TEXTOS

### 6.1 Definição das categorias *a priori*

O método aqui adotado e já discutido, de análise textual discursiva (ATD) foi aplicado em dois momentos do trabalho. No primeiro deles, foi feita uma profunda, detalhada e repetida leitura da obra de Kuhn. Nessas leituras foram identificadas as principais características das ideias de Kuhn, ou seja, embora sua obra não faça parte do *corpus* dessa pesquisa, esse procedimento levou ao surgimento de categorias *a posteriori que emergem da leitura do referencial teórico dessa pesquisa*. Dito de outra forma, nosso referencial teórico foi construído e consolidado como categorias, agora *a priori*, com relação ao verdadeiro *corpus* do trabalho, qual seja, os artigos publicados no Brasil.

Nesta subseção apresentamos as categorias constituídas pela leitura dos textos de Thomas Kuhn. É a primeira etapa da análise, em que extraímos as ideias centrais da *Estrutura das Revoluções Científicas* sobre como se desenvolve do conhecimento científico.

#### **Categoria 01: Fatos que violam a expectativa do paradigma vigente - Estruturas conceituais antecipadas – Consciência do fenômeno e sua natureza.**

De acordo com Kuhn, novos fenômenos são descobertos periodicamente pela pesquisa científica, violando as expectativas concedidas pelo paradigma vigente. Segundo o filósofo, quando do surgimento de uma novidade (descoberta), a sua assimilação só é possível à pessoa que possua antecipadamente estruturas conceituais relevantes

[...], pois a descoberta de um novo tipo de fenômeno é necessariamente um acontecimento complexo, que envolve o reconhecimento tanto da *existência de algo*, como de sua *natureza* (KUHN, 2007, p. 81, grifo do autor).

Kuhn argumenta que observação e conceitualização, bem fato e sua assimilação à teoria, estão necessariamente atrelados à descoberta, então este é um processo que leva tempo. Segundo o filósofo,

Somente quando todas essas categorias conceituais relevantes estão **preparadas de antemão** (grifo nosso) (e nesse caso não se trata de um novo tipo de fenômeno), pode-se descobrir ao mesmo tempo, rápida e facilmente, a *existência* e a *natureza* do que ocorre (grifo do autor) (*ibid.*, p. 81-82).

Para o filósofo, a consciência prévia das dificuldades deve ser parte significativa daquilo que permite ao cientista ver em experiências semelhantes o que outros não veem. Somente desta forma é possível conceber a existência do fenômeno e sua natureza.

**Categoria 02: Substituição do paradigma – Reformulação do campo de pesquisa – Início de novos campos de investigação – Mudança de métodos, técnicas, linguagem e aplicações – Mudança nos problemas e soluções aceitáveis – Utilização de novos instrumentos.**

Para Kuhn, uma das características da Revolução Científica é a substituição de paradigmas, onde há a reformulação de praticamente todo o campo de pesquisa desde suas bases, tais mudanças não se restringem apenas ao campo conceitual, ocorrendo também mudanças de conceitos, métodos, técnicas, linguagem, aplicações e mudanças nos tipos de problemas e soluções aceitáveis como científicos

A transição de um paradigma em crise para um novo, do qual pode surgir uma nova tradição de ciência normal, está longe de ser um processo cumulativo obtido através de uma articulação do velho paradigma. É antes uma reconstrução da área de estudos a partir de novos princípios, reconstrução que altera algumas das generalizações teóricas mais elementares do paradigma, bem como muitos de seus métodos e aplicações. [...] Completada a transição, os cientistas terão modificado a sua concepção da área de estudos, de seus métodos e de seus objetivos (*ibid.*, 2007, p. 116)

De posse de um novo paradigma os cientistas utilizam novos instrumentos e orientam seu olhar para novas direções iniciando novos campos de investigações.

### **Categoria 03: Deslocamento da rede conceitual – Aquisição de novos conceitos – Mudança de visão de mundo**

Para o filósofo, por mais que um paradigma antigo possa ser visto como um caso particular do novo paradigma, o primeiro deve ser transformado para tal aproximação. É o caso, ilustrado por Kuhn, da mecânica newtoniana em comparação com a einsteiniana, em que, mesmo com a utilização dos mesmos termos entre ambas, há a necessidade de modificar os sentidos desses termos, ao passarmos da mecânica de Newton para a de Einstein.

Essa necessidade de modificar o sentido dos conceitos estabelecidos e familiares é crucial para o impacto revolucionário da teoria de Einstein. [...] Precisamente por não envolver a introdução de objetos ou conceitos adicionais, a transição da mecânica newtoniana para a einsteiniana ilustra com particular clareza a revolução científica como sendo um deslocamento da rede conceitual através da qual os cientistas vêem o mundo (*ibid.*, p. 137).

A necessidade de modificar o sentido dos conceitos estabelecidos e familiares é crucial para o impacto revolucionário de uma teoria, tornando a visão de mundo dos cientistas que compartilham de paradigmas rivais, completamente diferentes.

### **Categoria 04: Reescrita dos manuais didáticos**

Outra característica dos momentos de Revolução Científica proposto por Kuhn é o fato de que os manuais destinados à divulgação das ideias aceitas por um grupo de participantes da ciência devem ser parcial ou totalmente reescritos após uma revolução científica.

Entretanto, sendo os manuais veículos pedagógicos destinados a perpetuar a ciência normal, devem ser parcial ou totalmente reescritos toda vez que a linguagem, a

estrutura dos problemas ou as normas da ciência normal se modifiquem. Em suma, precisam ser reescritos imediatamente após cada revolução científica... (*ibid.*, p. 177).

Dessa forma os candidatos à cientista recebem sua educação pautada nas tradições científicas mais recentes trazidas por esses manuais.

### **Categoria 05: Crescente abandono do paradigma vigente e conversão de novos adeptos ao novo paradigma**

Na crise, ocorre um período de insegurança dos membros de um grupo científico porque há o enfraquecimento dos compromissos com o paradigma vigente. Nesse momento inicia-se um processo que Kuhn denomina de ciência extraordinária, isto é, pesquisa não mais fundamentada nas rígidas regras concedidas pelo paradigma. É em períodos de ciência extraordinária que os cientistas testam suas hipóteses *ad-hoc* e, a partir daí, surgem novos candidatos a paradigma.

A emergência de novas teorias é geralmente precedida por um período de insegurança profissional pronunciada, pois exige a destruição em larga escala de paradigmas e grandes alterações nos problemas e técnicas da ciência normal. Como seria de esperar, essa insegurança, é gerada pelo fracasso constante dos quebra-cabeças da ciência normal em produzir os resultados esperados. O fracasso das regras existentes é prelúdio para uma busca de novas regras (KUHN, 2007, p. 95)

Se algum dos novos candidatos a paradigma se mostra promissor, ao longo do tempo, um número crescente de indivíduos abandona o paradigma antigo e passa a firmar compromisso com o novo, resultando numa Revolução Científica.

Definidas as categorias *a priori* que caracterizam as Revoluções Científicas segundo os pressupostos filosóficos de Thomas Kuhn, passaremos as análises dos artigos escolhidos. Para tal, fizemos a leitura de cada artigo identificando trechos que explicitem as ideias relacionadas às categorias definidas anteriormente.

## 6.2 Análises dos Artigos

### 6.2.1 Análise do artigo: TOSI, Lúcia. *Lavoisier: Uma revolução na Química*. Química Nova, vol. 12, p. 33-56, 1989.

#### **Categoria 01: Fatos que violam a expectativa do paradigma vigente - Estruturas conceituais antecipadas – Consciência do fenômeno e sua natureza.**

No início do seu artigo, Tosi faz uma narrativa da obra científica de Lavoisier, apontando suas primeiras investigações em ciências naturais. Após breve relato, passa a transcrever trechos de suas notas de laboratório datadas de 20 de fevereiro de 1772, em que o cientista francês expõe seus planos de pesquisa para o estudo do *fluido elástico* que se desprende e é absorvido pelos corpos em alguns processos. Nessa nota, Lavoisier relata que existem várias propostas para explicar a natureza desse *fluido*, comentando resumidamente algumas.

*Por mais numerosas que sejam as experiências de Hales, Black, Magbride (sic), Jacquin, Cranz, Priestley (sic) e Smeth (sic) sobre este tema, não são, contudo, suficientemente numerosas para formar um corpo de teoria completo. Constantemente, o ar fixo apresenta fenômenos muito diferentes do ar ordinário. Com efeito, aquele mata os animais que o respiram, enquanto este é essencialmente necessário para a sua conservação. Combina-se com grande facilidade com todos os corpos, enquanto que o ar da atmosfera, nas mesmas circunstâncias, combina-se com dificuldade e quicá não se combina em absoluto. Estas diferenças serão desenvolvidas em toda a sua extensão quando eu escrever a história de tudo o que foi feito sobre o ar que se desprende dos corpos e que se fixa neles. A importância do assunto obrigou-me a retomar todo esse trabalho que me pareceu feito para ocasionar uma revolução na física e na química. Pensei não dever considerar tudo o que foi feito antes de mim senão como indicações; propus-me repetir tudo com novas precauções, com o objetivo de ligar o que já conhecemos sobre o ar que se fixa, ou que se desprende dos corpos, com os outros conhecimentos adquiridos, e formar uma teoria. Os trabalhos dos diferentes autores que acabo de citar, considerados desse ponto de vista, apresentaram-me porções separadas de uma grande cadeia, da qual eles uniram alguns elos, mas falta ainda realizar uma imensa série de experiências para estabelecer uma continuidade (LAVOISIER, apud TOSI, 1998, p. 37).*

Percebe-se, pela leitura desse trecho, que Lavoisier sabia das dificuldades em explicar as recentes pesquisas sobre os estudos dos *ares*, lançando mão das teorias vigentes na época. Em sua visão, ele seria capaz de organizar os resultados desses estudos desenvolvendo um

corpo teórico capaz de provocar, em suas próprias palavras, *uma revolução na física e na química*.

Esse ponto de vista é reforçado pela autora logo após a transcrição das anotações de Lavoisier:

Lavoisier procurava, como vimos, a revolução na química e previa desde o começo a importância do seu empreendimento (TOSI, 1998, p. 37).

Mais adiante, ela descreve rapidamente as experiências realizadas por Lavoisier em 1773 e conclui:

Como consequência, pressentiu o papel do carbono na redução dos óxidos e o de uma parte do ar atmosférico na oxidação do metal (TOSI, 1998, p. 38).

Ainda em relação à consciência que Lavoisier apresentava sobre seu projeto, Lucia Tosi tece mais comentários e traz as observações que Thomas Kuhn fez em seu livro *A Estrutura das Revoluções Científicas* sobre assunto. Na página 41 do seu artigo destacamos o trecho:

Pelo que o próprio Lavoisier deixou registrado, no documento selado de novembro de 1772, ele estava ciente do erro fundamental contido na teoria do flogisto, já que na combustão uma parte do ar da atmosfera era fixado pelos combustíveis. Como observa Kuhn "Essa conscientização apriorística das dificuldades deve ser uma parte significativa do que possibilitou que Lavoisier visse, em experiências similares às de Priestley, um gás que o próprio Priestley foi incapaz de ver" (TOSI, 1998, p. 41).

Em outro trecho (p. 43), Tosi deixa transparecer a consciência prévia que Lavoisier tinha das experiências realizadas com os *ares*. Ela relata que Cavendish realizava estudos com a queima de um *ar* que havia chamado de *ar inflamável* e que esses estudos deram condições

para que fosse feita a descoberta da composição da água. A autora faz uma observação sobre a opinião de Lavoisier.

Lavoisier havia-se interessado pela combustão do hidrogênio desde 1774. Na sua opinião, nesse processo devia se fixar uma parte do ar atmosférico e fez constar essa idéia no seu caderno de laboratório em março desse ano (TOSI, 1998, p. 43).

O exame dos trechos destacados até o momento do artigo de Lucia Tosi aponta para o fato de que Lavoisier realizou suas investigações, consciente de que havia relação entre o que fora observado nas experiências de combustão e calcinação, com os estudos dos ares. Desde o início de suas investigações o químico francês supunha que seria capaz de explicar as experiências realizadas até então sobre os *fluidos* que escapam dos materiais.

**Categoria 02 – Substituição do paradigma – Reformulação do campo de pesquisa – Início de novos campos de investigação – Mudança de métodos, técnicas, linguagem e aplicações – Mudança nos problemas e soluções aceitáveis – Utilização de novos instrumentos.**

Passaremos agora a explorar trechos que nos permitam inferir sobre as mudanças nos padrões dos problemas e soluções aceitáveis pela nova teoria de Lavoisier, bem como a utilização de novos instrumentos necessários para o estabelecimento das hipóteses do químico francês. Analisaremos também as mudanças ocorridas nos métodos, técnicas, linguagem e aplicações necessárias para a consolidação das ideias de Lavoisier e também as que ajudaram o florescimento de novos campos de investigação proporcionado pelo arcabouço teórico de suas hipóteses, incompatíveis com a teoria até então aceita.

O primeiro indício de que com sua teoria Lavoisier inicia um novo campo de estudo está relatado por Tosi num trecho onde a autora está concluindo o tópico sobre a descoberta do oxigênio, trazendo as preocupações experimentais de Lavoisier quando este lapidava sua teoria.

Concomitantemente, ele se interessa pelo papel desempenhado pelo oxigênio na formação dos ácidos. Em primeiro lugar, do ácido carbônico, como resultado da redução dos óxidos metálicos com o carvão. Demonstra, além disso, que a combustão do diamante no oxigênio produz somente ácido carbônico e as do enxofre e do fósforo nesse mesmo gás, os ácidos sulfúrico e fosfórico, respectivamente (TOSI, 1998, p. 41).

Conforme Tosi, Lavoisier inicia o estudo da composição dos ácidos em que o princípio *oxygine* é o formador. Esse campo de estudo teve início com a percepção de Lavoisier de que na combustão de uma série de substâncias, como enxofre, fósforo e diamante, os produtos eram ácido sulfúrico, ácido fosfórico e ácido carbônico, respectivamente. Logo, o químico francês supôs que seu princípio *oxygine*, como o próprio nome propõe, era o princípio formador de todos os ácidos.

O mesmo pode ser dito nos seus estudos, juntamente com seu colaborador Laplace, do calor despreendido na combustão dos corpos e na respiração animal. Conforme Tosi:

Um grande número de trabalhos realizados por Lavoisier, como as experiências calorimétricas e as relacionadas com a respiração, estão fortemente vinculadas ao desenvolvimento e aprimoramento da sua nova teoria química. As primeiras, ele fez conjuntamente com Laplace e ambos os autores apresentaram várias memórias à Academia entre 1782 e 1783 (TOSI, 1998, p. 47).

Em relação à mudança de linguagem, ou seja, utilização de novos termos para designar fatos e coisas já existentes, destacamos os seguintes trechos do artigo de Tosi.

Pelo que precede vê-se claramente que em 1775 Lavoisier não fazia ainda uma diferença nítida entre a porção mais pura do ar e o ar comum. Só posteriormente conseguiu perceber que o gás que se combinava com os metais durante a calcinação não era o ar atmosférico puro, mas uma espécie nova a qual denominou ar eminentemente respirável. Ele usa pela primeira vez essa expressão, assim como a de mofeta atmosférica para o nitrogênio em uma memória apresentada à Academia em 21 de março de 1777 e lida no dia 16 de abril (TOSI, 1998, p. 39).

[...]

Lavoisier, nos seus registros, faz várias vezes constar a atenção particular que dava aos trabalhos de Priestley e usa frequentemente a expressão ar desflogisticado de M. Priestley para o oxigênio. Mas é na memória apresentada em 5 de setembro de 1777

que ele dirá: "*De agora em diante designarei o ar desflogisticado ou ar eminentemente respirável, no estado de combinação ou fixidez, pelo nome de princípio acidificante ou, se se prefere o mesmo significado com um nome grego pelo de príncipe oxygine*". Posteriormente, em 25 de novembro de 1780 lê uma memória na Academia na qual emprega a expressão ar vital e diz: "*é o nome que o historiador da Academia dá ao ar desflogisticado de M. Priestley*" (TOSI, 1998, p. 40).

[...]

Lavoisier participou, também, de maneira preponderante na elaboração da nova nomenclatura química, proposta por Guyton de Morveau no *Journal de Physique* em maio de 1782. Essa nomenclatura encontrou na teoria de Lavoisier as bases sobre as quais haveria de se estabelecer. Foi ele o encarregado da parte introdutória das comunicações feitas à Academia sobre o tema. Como resultado da atividade conjunta de vários pesquisadores, foi publicada em 1787, sob os auspícios da Academia, a obra *Méthode de Nomenclature Chimique Proposée* por MM. de Morveau, Lavoisier, Bertholet (sic) et de Fourcroy (TOSI, 1998, p. 49).

A proposta de Lavoisier para substituir o termo *ar desflogisticado*, concebido por Priestley, pelo termo *oxygine*, se deu em razão do fato de que Lavoisier acreditava que esse princípio era responsável pela formação de todos os ácidos. Esse é um exemplo típico da mudança de linguagem proporcionado por uma nova teoria. Também como resultado da construção de suas ideias, Lavoisier desenvolveu, juntamente com seus colaboradores, uma nova linguagem para a química, fundamentada nos princípios estabelecidos por suas hipóteses. O novo método de nomenclatura teve implicações diretas para o sucesso das hipóteses de Lavoisier pois, segundo Bell, “qualquer usuário da nova nomenclatura francesa não teria outra opção senão aceitar a teoria antiflogístico na qual se baseava” (BELL, 2007, p. 126).

No que se refere à concepção e utilização de novos instrumentos necessários para o desenvolvimento das hipóteses de Lavoisier, bem como para as pesquisas posteriores à consolidação de sua teoria, encontramos no artigo de Lucia Tosi alguns trechos que nos permitem realizar essas inferências. No tópico desenvolvido pela autora sobre a composição da água destacamos:

Depois de um longo trabalho de preparação, realizado conjuntamente com Meusnier, fez a decomposição e a síntese da água. Nessas experiências utilizou os primeiros gasômetros concebidos pelo seu colaborador e construídos por Megnié, famoso construtor de aparelhos de precisão da época. Esses gasômetros, acabados de

construir em fins de 1783, permitiram medir com muita precisão os volumes dos gases empregados (TOSI, 1998, p. 46).

Para Lavoisier, eram muito importantes medidas precisas em seus experimentos, pois suas ideias eram pautadas em análises quantitativas, para o que, em várias ocasiões, fez construir aparelhos capazes de lhe fornecer tais medidas.

Mais adiante, no primeiro parágrafo em que Tosi trata das experiências calorimétricas, lê-se:

As primeiras [experiências calorimétricas], ele fez conjuntamente com Laplace e ambos os autores apresentaram várias memórias à Academia entre 1782 e 1783. Nesses trabalhos utilizaram um calorímetro muito mais aperfeiçoado que o de Black (que já definira os conceitos de calor específico e calor latente) e mediram as quantidades de calor pela massa de gelo fundido durante o processo. Esse método havia sido ensaiado anteriormente pelo físico sueco Johan Carl Wilcke (1732-1796), mas com pouco sucesso (TOSI, 1998, p. 47-48).

Como podemos perceber pela leitura acima, o calorímetro não era um novo instrumento, mas foram Lavoisier e Laplace que incorporaram modificações importantes para a utilização desse instrumento de forma a obter resultados satisfatórios para a consolidação de suas hipóteses sobre o calórico.

### **Categoria 3 - Deslocamento da rede conceitual – Aquisição de novos conceitos – Mudança de visão de mundo**

No artigo de Lucia Tosi há trechos em que podemos identificar a mudança de concepção em Lavoisier e a aquisição de novos conceitos por parte do cientista. No tópico “A Descoberta do Oxigênio” a autora faz um breve relato sobre os estudos da calcinação do *mercurius calcinatus per se* realizados por Bayen, Baumé, Cadet, Priestley e Lavoisier. Segundo a autora, todos esses estudiosos realizaram a calcinação do *mercurius* com e sem a

adição de carvão e testaram o *ar* desprendido nesse processo. De acordo com Tosi, Bayen concluiu que nesse processo era produzido o mesmo gás tanto na presença como na ausência de carvão. Balmé dizia que o *mercurius* não podia ser calcinado sem a presença de carvão, material rico em flogisto segundo sua concepção. Cadet, ao contrário de Baumé, diz que a calcinação sem a adição de carvão é possível, mas não apresentou nenhuma explicação para o fato. Priestley, a princípio, confundiu o *ar* desprendido no mesmo processo com o já conhecido *ar nitroso*. Somente após seu retorno de uma viagem a Paris, onde obteve uma amostra pura do *mercurius*, ele pôde, enfim, diferenciar o *ar* obtido do *ar nitroso* (nesse ponto a autora não traz informações sobre as conclusões de Priestley). Enfim, Tosi descreve os testes realizados por Lavoisier em que o cientista francês confirma que o que se desprende da calcinação do *mercurius* na presença de carvão é realmente o *ar fixo* já conhecido. Diz também que Lavoisier realiza a experiência sem a utilização de carvão e procede com os testes do ar recolhido. Nesse ponto, a autora transcreve partes das conclusões de Lavoisier publicadas numa memória à Academia que ficou conhecida como memória da Páscoa.

*"Todas essas circunstâncias convenceram-me plenamente que esse ar era não somente ar comum, mas também que era mais respirável, mais combustível e, conseqüentemente, que era mais puro, ainda, que o ar no qual vivemos" e concluiu: "Parece provado do que precede que o princípio que se combina com os metais durante sua calcinação e que aumenta o seu peso, não é outra coisa senão a porção mais pura do mesmo ar que nos rodeia, que respiramos e que passa, nessa operação, do estado de expansibilidade ao de solidez; portanto, se ele é obtido no estado de ar fixo, em todas as reduções metálicas onde se emprega o carvão, é ao próprio carvão que é devido esse efeito e é muito possível que, se se pudesse reduzir todas as cales metálicas, sem adição (de carvão), como no mercúrio precipitado per se, elas produziram ar comum."*

O volume da Academia contendo as memórias de 1775 só apareceu em 1778. Nele Lavoisier introduziu várias modificações, em particular no texto citado acima. Assim, ele dirá: *"Todas essas circunstâncias convenceram-me plenamente que esse ar, longe de ser ar fixo, estava em um estado mais respirável, mais combustível e, por conseguinte, que era mais puro que o próprio ar no qual vivemos ... " [...]* *"Parece provado [...] portanto, que se ele é obtido no estado 'de ar fixo em todas as reduções metálicas onde se emprega o carvão, é à combinação desse último com a porção pura do ar que é devido esse efeito e é muito possível que, se se pudesse reduzir todas as cales metálicas como se reduz o mercúrio precipitado per se, sem adição (de carvão), obter-se-ia ar eminentemente respirável."*

Pelo que precede vê-se claramente que em 1775 Lavoisier não fazia ainda uma diferença nítida entre a porção mais pura do ar e o ar comum. Só posteriormente conseguiu perceber que o gás que se combinava com os metais durante a calcinação não era o ar atmosférico puro, mas uma espécie nova a qual denominou ar eminentemente respirável. Ele usa pela primeira vez essa expressão, assim como a de mofeta atmosférica para o nitrogênio em uma memória apresentada à Academia em 21 de março de 1777 e lida no dia 16 de abril (TOSI, 1998, p. 39).

Pela leitura desse trecho pode-se inferir que Lavoisier estava no caminho de construir uma explicação para a calcinação do *mercurius* sem a necessidade de utilizar a teoria do flogístico. O cientista francês começa, nesse ponto, a conceber a ideia de que nos processos de calcinação de metais há uma parte do ar atmosférico, que chamou de *ar eminentemente respirável*, que se combina com o metal para a formação da *calx*. No processo inverso, ou seja, na redução da *calx* em metal, esse *fluido* se desprende da *calx* e combina-se com o carvão para a produção do *ar fixo*. Essa concepção de combinação é divergente da concepção dos adeptos da teoria do flogístico, para os quais o *ar fixo* está de antemão fixado nos corpos e é liberado no momento em que eles absorvem o flogístico.

Prosseguindo, Tosi descreve a controvérsia entre Lavoisier e Priestley, em relação à primazia da descoberta do oxigênio. Segundo a autora, Priestley queixou-se do fato de ter entregado a Lavoisier informações sobre seus estudos sobre o *novo ar* porém, lembra a autora, havia confundido o *ar* obtido na calcinação do *mercurius*, com o ar nitroso. Quanto a isso escreve Tosi:

É preciso não esquecer que as experiências de Lavoisier referidas no documento selado de novembro de 1772, assim como as citadas posteriormente nos Opuscles levaram-no a ter uma percepção muito clara dos processos de calcinação e combustão. Antes da visita de Priestley a Paris, ele já tinha o seu esquema conceitual perfeitamente organizado. Faltava provar qual era esse "*fluido elástico particular que se encontra misturado com o ar e que no momento em que se esgota ... a calcinação não pode mais se realizar*" Como ele diria depois na memória publicada em Observations sur la Physique (já mencionada): "*... o ar, que se desprende das reduções metálicas pelo carvão, não é um ser simples, mas é de alguma maneira o resultado da combinação do fluido elástico desprendido do metal e daquele desprendido do carvão. Portanto, pelo fato de se obter esse fluido na forma de ar fixo, não se deve concluir que ele exista nesse estado na cal metálica, antes da combinação com o carvão. Essas reflexões fizeram-me sentir como era essencial, para esclarecer o mistério da redução das cales metálicas, orientar minhas experiências para as que são redutíveis sem adição (de carvão)*" As cales de ferro tinham essa propriedade mas nenhuma se reduzia totalmente e, por essa razão, foi levado a ensaiar o *mercurius precipitatus* per se (TOSI, 1998, p. 40).

A passagem anterior nos permite também, além de confirmar a hipótese que Lavoisier lançara sobre a participação de uma porção do *ar* na calcinação dos metais, inferir que Lavoisier estava convencido de que o *ar fixo* não era uma substância simples, mas sim uma combinação, afirmação que ainda nenhum outro pesquisador havia feito até então.

Mais adiante, Tosi se utiliza das concepções de Thomas Kuhn, para tratar da controvérsia que existe sobre a questão: “quem descobriu o oxigênio?”. Para isso ela transcreve trechos da *Estrutura das Revoluções Científicas* onde o filósofo faz suas considerações sobre o assunto. Em um desses a autora escreve:

Como observa Kuhn "Essa conscientização apriorística das dificuldades deve ser uma parte significativa do que possibilitou que Lavoisier visse, em experiências similares às de Priestley, um gás que o próprio Priestley foi incapaz de ver. Inversamente, o fato de ser necessária uma inversão completa do paradigma, para ver o que Lavoisier viu, deve ser a razão principal pela qual Priestley, até o fim de sua longa vida, fosse incapaz de ver" (TOSI, 1998, p. 40).

A partir da leitura do excerto acima, podemos considerar que a autora concorda com a visão de Thomas Kuhn de que Lavoisier teve de mudar sua visão em relação às de Priestley (flogistonista), modificando sua estrutura conceitual, o que permitiu ao cientista francês propor a reformulação da teoria química até então utilizada como fornecedora de explicações para os fenômenos analisados.

Continuando, Tosi comenta sobre os estudos de Lavoisier sobre a formação dos ácidos.

Concomitantemente, ele se interessa pelo papel desempenhado pelo oxigênio na formação dos ácidos. Em primeiro lugar, do ácido carbônico, como resultado da redução dos óxidos metálicos com o carvão. Demonstra, além disso, que a combustão do diamante no oxigênio produz somente ácido carbônico e as do enxofre e do fósforo nesse mesmo gás, os ácidos sulfúrico e fosfórico, respectivamente. A participação do flogisto na combustão ficava assim totalmente eliminada. Essas experiências e a interpretação dada a elas por Lavoisier eram completamente revolucionárias. É preciso não esquecer que todos os químicos da época consideravam de uma evidência indiscutível a demonstração feita por Stahl, que provava ser o enxofre constituído por ácido vitriólico e flogisto (TOSI, 1998, p. 41).

É possível também, pela leitura desse trecho, perceber que, seguro sobre a hipótese da existência do *princípio oxigênio*, Lavoisier segue explicando outros fenômenos que não os

da combustão e calcinação, sem a necessidade de se utilizar de conceitos flogistonistas, isto é, o químico francês inicia o processo de substituição dessa teoria pela sua.

Outro trecho do artigo de Tosi em que fica evidente a diferença de visão entre Lavoisier e Priestley, é a transcrição de uma memória apresentada por Lavoisier sobre a composição e decomposição do ácido nítrico, na qual o próprio químico francês diz que suas concepções sobre os mesmos fenômenos são completamente distintas das de Priestley.

*Antes de entrar na matéria, começarei por prevenir o público que uma parte das experiências contidas nesta memória não me pertencem; não há nenhuma da qual M. Priestley não possa reclamar a primeira idéia; mas como os mesmos fatos nos conduziram a consequências diametralmente opostas, espero que se me acusarem de ter tomado as provas das obras desse célebre físico, não se me negará, ao menos, a propriedade das consequências (LAVOISIER apud TOSI, 1998, p. 41).*

Nos parágrafos em que a autora intitula *Luta Contra a Teoria do Flogisto* pode-se continuar a inferir sobre a mudança de visão que levou a Lavoisier propor uma alternativa teórica à concepção flogística. Nesse ponto Lucia Tosi transcreve partes das memórias apresentadas pelo químico francês a partir de novembro de 1777 em que ele passa a criticar, mais severamente a teoria de Stahl, em contraponto à sua. Logo no segundo parágrafo a autora escreve:

*A primeira é uma exposição sistemática das suas idéias dessa época: "Arrisco hoje a propor à Academia", diz, "uma teoria nova sobre a combustão, ou melhor, para me exprimir, com a reserva que me impus como lei, uma hipótese, pela qual se explicam muito satisfatoriamente todos os fenômenos da combustão, da calcinação e mesmo, em parte, os que acompanham a respiração dos animais. Já tinha lançado os primeiros fundamentos desta hipótese nos meus Opuscules physiques et chimiques, mas, confesso que, pouco confiante nas minhas próprias luzes, não ousava então proclamar abertamente uma opinião que podia parecer singular e que era diretamente contrária à teoria de Stahl e à de vários homens célebres que o seguiram" (TOSI, 1998, p. 41).*

Fica evidente pela leitura acima que nesse instante Lavoisier está totalmente confiante em apresentar ao público suas ideias, mas não só isso, ele também coloca em questão a teoria química em voga até o momento.

Mais adiante Tosi resume os principais pontos da teoria de Lavoisier e novamente transcreve um trecho de suas memórias em que o químico expõe seus argumentos contra a teoria do flogístico.

Depois acrescenta: *"esses fenômenos se explicam de maneira muito feliz com a teoria de Stahl, mas é preciso supor que existe matéria do fogo, o flogisto, nos metais, no enxofre e em todos os corpos combustíveis. Mas se se pode provar a existência do flogisto nessas substâncias aos partidários da teoria, eles caem num círculo vicioso: dizem que os corpos combustíveis contêm a matéria do fogo porque queimam e queimam porque contêm a matéria do fogo. Isso é explicar a combustão pela combustão. A existência da matéria do fogo, do flogisto, nos metais, no enxofre, etc., não é então senão uma hipótese. Mas se eu mostrar que esses fenômenos podem ser explicados de forma natural com a hipótese oposta, sem supor a existência do flogisto nos combustíveis; o sistema de Stahl será abalado até nos seus fundamentos"*. Explica depois o que ele entende por matéria do fogo, à qual chamará depois de calórico. Considera-a um elemento e como tal aparecerá no seu *Traité de Chimie*. Segundo ele, *"o ar está composto da matéria do fogo como dissolvente combinado com uma substância que lhe serve de base. Todas as vezes que essa base está na presença de uma substância com a qual tem mais afinidade, ela abandona seu dissolvente e a matéria do fogo aparece como calor, chama e luz. O ar puro...é então o verdadeiro corpo combustível, e possivelmente o único da natureza. Então, para explicar os fenômenos da combustão não é necessário supor que exista uma quantidade imensa de fogo fixada em todos os corpos que chamamos combustíveis e, pelo contrário, é provável que exista pouca nos metais. Compreende-se também porque não pode haver combustão nem no vácuo..., enfim, não estamos obrigados a admitir, como o faz Stahl, que os corpos que aumentam de peso, percam uma parte de sua substância"*. E conclui: *"ao atacar a doutrina de Stahl não pretendo substituí-la por uma teoria rigorosamente demonstrada (sic), mas somente por uma hipótese que acho mais provável, mais conforme às leis da natureza, que considero conter explicações menos forçadas e menos contraditórias"* (TOSI, 1998, p. 42).

O trecho acima explicita mais ainda a maturidade das concepções de Lavoisier. Nessa memória, o químico francês esclarece os pontos contraditórios entre sua teoria e a de Stahl e propõe a inexistência do flogístico, fato que coloca em xeque todo arcabouço teórico flogistonista. Essa proposta fica ainda mais explícita conforme continuamos a ler o artigo, em que a autora relata a análise feita por Lavoisier e Berthollet da obra de Carl Scheele. Destacamos os seguintes trechos adiante:

Na segunda memória, Lavoisier e Berthollet fizeram uma análise crítica da obra de Scheele, *Chemische Abhandlungen von Luft und Feuer*, traduzida por Dietrich. Na última memória, Lavoisier ataca com mais rigor a teoria do flogisto e diz: *"Deduzi todas as explicações de um princípio simples; é que o ar puro, o ar vital, está*

*composto por um princípio particular que lhe é próprio, que forma a sua base e que denominei príncipe oxygine combinado com a matéria do fogo e do calor. Uma vez admitido esse princípio, as dificuldades principais da química parecem haver-se desvanecido e dissipado e todos os fenômenos se explicam com surpreendente simplicidade. Mas, se tudo se explica na química de uma maneira satisfatória sem recorrer ao flogisto, é infinitamente provável que esse princípio não exista, que seja um ser hipotético, uma suposição gratuita" (TOSI, 1998, p. 42).*

[...]

*Depois de outras considerações, Lavoisier acaba dizendo: "Nesta memória não tive outro objetivo que o de dar novos desenvolvimentos à teoria da combustão que publiquei em 1777, de fazer ver que o flogisto de Stahl é um ser imaginário cuja suposta existência nos metais, no enxofre, no fósforo e em todos os corpos combustíveis é gratuita: que todos os fenômenos da combustão e da calcinação se explicam de uma maneira muito mais simples e muito mais fácil sem flogisto que com flogisto. Não espero que as minhas idéias sejam logo adotadas; o espírito humano se aferra a uma maneira de ver e aqueles que têm encarado a natureza sob um certo ponto de vista durante uma parte de sua carreira se adaptam com dificuldades às idéias novas; é hora, portanto, de conformar ou destruir as opiniões que apresentei" (TOSI, 1998, p. 42).*

Pela leitura acima nota-se que Lavoisier intensifica a exposição das diferenças entre suas hipóteses e às do flogístico deixando claras as divergências conceituais entre as duas e enfatizando sua proposta da não existência do principal componente teórico daquela teoria, o flogístico. Dessa forma, os que aceitarem a proposta de Lavoisier, devem abandonar de vez por todas as concepções flogísticas, por serem incompatíveis com às do químico francês e seu grupo de pesquisa.

Em outro trecho podemos perceber a mudança conceitual em Lavoisier analisando seus trabalhos sobre a composição da água. Tosi inicia o tópico relatando os estudos de Cavendish, Priestley, Warltire e Macquer sobre o assunto e suas explicações flogistonistas das observações realizadas. Mais adiante inicia a descrição das investigações de Lavoisier sobre o mesmo tema e escreve:

*Lavoisier fez a síntese da água em 24 de junho de 1783, a partir do oxigênio e do hidrogênio obtido por ação do ácido sulfúrico diluído sobre o ferro. Observou a formação de água pura que não avermelhava a tintura de tornassol. Constatou, contudo, que o peso de água obtido era menor que a soma dos pesos dos dois gases e comentou em suas notas: "Assim, deve-se supor uma perda de duas terceiras partes do ar ou uma perda de peso". No dia seguinte Lavoisier e Laplace comunicaram a experiência à Academia nos seguintes termos: "A água não é uma substância simples, ela está composta, peso por peso, de ar inflamável e de ar vital" (TOSI, 1998, p. 43).*

Apesar dos outros que realizaram os mesmos estudos também terem chegado a conclusão de que a água não era uma substância simples, Lavoisier percebeu nesses estudos um importante elo para sua teoria. Enquanto Priestley e Cavendish davam cada uma sua interpretação flogistonista para a síntese da água, o químico francês percebeu o verdadeiro papel do seu *oxygene* quando realizava a síntese da mesma, ou seja, a via contrária da sua decomposição, como relata Tosi no trecho transcrito de um resumo de um redator anônimo das experiências desenvolvidas por Lavoisier e Laplace.

Nesse resumo descreve-se também a experiência feita por Lavoisier para decompor a água. Para isso ele introduziu um pouco de água e de limalhas de aço bem puras dentro de uma tigela invertida sobre mercúrio e observou a formação de óxido férrico e o desprendimento de hidrogênio. *"Eis aí então a água que, nesta experiência, diz o relator, se decompõe em duas substâncias distintas, o ar desflogisticado, que se une ao ferro e o converte em cal, e o ar inflamável que se separa; e, como de outro lado, reunindo e recombinaando essas duas mesmas substâncias, forma-se novamente a água, quase que invencivelmente somos levados a concluir que a água não é uma substância simples, um elemento propriamente dito, como se havia pensado sempre"* (TOSI, 1998, p. 44).

Em trecho mais adiante fica evidente a concepção de Lavoisier sobre os resultados obtidos, quando Tosi transcreve parte da memória anterior, publicada em 1784, em que o químico francês expõe seus argumentos.

Essa memória é uma das mais importantes escritas por Lavoisier e mostra, como no caso da descoberta do oxigênio, a sua perspicácia em descobrir em cada fenômeno o que é relevante. [...] *"Fiz observar, nessa ocasião, que se realmente a água era composta, como indicava a combustão dos dois ares, da união do príncipe oxygene com o princípio inflamável aquoso, não se poderia decompô-la e obter separadamente um dos seus princípios, sem apresentar ao outro uma substância com a qual tivesse mais afinidade: tendo o princípio inflamável aquoso mais afinidade com o príncipe oxygene que com qualquer outro corpo, como o farei ver na minha memória sobre as afinidades, não era por esse latus que podia ser tentada a decomposição; era, portanto, o príncipe oxygene que deveria ser atacado".* [...] *"M. Laplace, que estava ao par (sic) das minhas experiências, que as havia compartilhado amiúde, e que me ajudava com os seus conselhos, havia-me repetido muitas vezes que não tinha dúvidas que o ar inflamável, que se desprende da dissolução do ferro e do zinco no ácido vitriólico e no ácido marinho (ácido clorídrico), era devido à decomposição da água"* e mais adiante: *"Enquanto me ocupava dessas experiências, M. Blagden, que estava em Paris, nos fez conhecer de uma maneira muito exata as experiências feitas por M. Priestley sobre a revivificação das cales metálicas no ar inflamável"*. Descreve a experiência de Priestley que consistia em aquecer minio na presença de hidrogênio. A cal era colocada em um cadinho dentro de uma campânula cheia de gás, sobre água, e era

aquecida por meio de uma lente. Priestley conseguia consumir a maior parte do hidrogênio e concluía que o ar inflamável combinava-se com o chumbo para revivificá-lo e que, por conseguinte, o ar inflamável e o flogisto eram a mesma coisa, como tinha anunciado Kirwan. Lavoisier, então, afirma: "*Eu observei que M. Priestley não prestou atenção a uma circunstância capital que tem lugar nesta experiência; é que o chumbo longe de aumentar de peso, diminui, ao contrário, de um duodécimo, desprende-se então uma substância qualquer; ora, esta substância é necessariamente o ar vital, do qual o minio contém perto de um duodécimo. Mas, por outro lado, depois desta operação, não fica fluido elástico de nenhuma espécie; não somente não se encontra na campânula ar vital, mas mesmo o ar inflamável que enchia desaparece; portanto os produtos não estão mais no estado aeriforme; e, como, de outro lado, está provado que a água é um composto de ar inflamável e de ar desflogisticado, é claro que M. Priestley formou água sem perceber*" (TOSI, 1998, p. 44-45).

Parece estar explícito no texto acima que a diferença de visão, ou seja, as diferenças conceituais entre Priestley e Lavoisier os levaram a interpretações distintas do mesmo experimento. É importante também destacar uma manifestação de perspectiva presentista da autora, quando julga que Lavoisier foi perspicaz na descoberta de fenômenos relevantes (trecho grifado anteriormente). Destacamos que, o que na nossa visão de hoje pode ser considerado relevante, necessariamente não o poderia ser para os adeptos do flogístico.

#### **Categoria 04 - Reescrita dos manuais didáticos**

No artigo de Lucia Tosi há um tópico em que a autora trata da publicação do *Traité Élémentaire de Chimie*, obra que segundo vários autores corresponde à consolidação da teoria do químico francês e é responsável pela divulgação e do ensino de suas ideias ao público em geral e aos estudantes de química das gerações futuras. Logo no primeiro parágrafo Tosi escreve:

Segundo uma crença, fomentada pelo próprio Lavoisier, tendo este destruído definitivamente a teoria do flogisto e convertido à sua nova teoria uma grande parte dos sábios da sua época, decidiu acabar sua obra com a publicação de seu *Traité Élémentaire de Chimie*, 'presente dans un ordre nouveau et d'après les découvertes modernes.' No prefácio, depois de citar os princípios expostos por Condillac na sua *Lógica* em que diz que "*a arte de raciocinar se reduz a uma língua bem feita*", Lavoisier acrescentava: "*enquanto eu pensava em me ocupar somente de nomenclatura, enquanto que não tinha outro objetivo que o de aperfeiçoar a linguagem da Química, minha obra transformou-se imperceptivelmente entre as minhas mãos, sem que fosse possível evitá-lo, em um tratado elementar de química*" (TOSI, 1998, p. 49).

No segundo parágrafo lemos:

Embora não sendo professor, sentiu desde cedo a necessidade de transformar o ensino da química, expondo a matéria de maneira completamente diferente da tradicional e indicando o método racional a seguir. Em notas que ficaram inéditas ele relembra as suas primeiras impressões sobre o ensino da química: "*quando comecei a estudar um curso de química pela primeira vez, ainda que o professor escolhido por mim (de La Planche do Colégio Mazarin) fosse considerado o mais claro e mais ao alcance dos iniciantes, surpreendeu-me ver, de quanta escuridão estavam rodeadas as primeiras abordagens da ciência*". Depois de se referir à forma racional e rigorosa dos cursos de física e matemática que seguiu, acrescentava: "*Na química o caminho era completamente diferente. Desde os primeiros passos começava-se por supor em vez de provar, apresentavam-me palavras que não (se sabia) definir ou, pelo menos, que só se podia definir empregando conhecimentos que eram-me absolutamente desconhecidos e que não podia adquirir senão pelo estudo de toda a química. Assim começavam a ensinar-me a ciência supondo que eu já a sabia*" (TOSI, 1998, p. 49).

Pela análise dos trechos destacados do artigo de Tosi, percebe-se que Lavoisier se viu na responsabilidade de deixar um manual didático que pudesse ser utilizado em cursos iniciais de química. Lógico que o estudante seria iniciado nessa disciplina segundo os pressupostos das suas ideias e de seu grupo de pesquisa, fato que acarretou o crescente aumento do número de adeptos à sua teoria.

### **Categoria 05 – Crescente abandono do paradigma vigente e conversão de adeptos à nova teoria.**

Entre as páginas 46 e 47 do artigo de Lucia Tosi, podemos ler trechos em que a autora expõe os momentos nos quais alguns adeptos da teoria do flogístico abandonam suas concepções e aderem à proposta teórica feita por Lavoisier e seus colaboradores. Num desses parágrafos Tosi escreve:

Entre os químicos comissionados pela Academia, presentes nessas experiências, encontrava-se Berthollet (1748-1822) o qual, em 19 de março, escreveu a Bladgen. "*Nestes últimos tempos, ocupamo-nos muito com a bela experiência de M. Cavendish sobre a composição da água. M. Lavoisier tratou de aportar a esse tema toda a exatidão de que ela é susceptível*". Nessa carta, Berthollet descrevia brevemente a parte experimental, os pesos das diversas substâncias envolvidas, mas

não se manifestava sobre a natureza da água. Poucas semanas depois, em 6 de abril de 1785, ele aderiu definitivamente às idéias de Lavoisier, o que foi uma conversão importante, dado o seu prestígio. Outros acadêmicos presentes, contudo, como Cadet, Baumé e Sage permaneceram intransigentes (TOSI, 1998, p. 46).

Quatro parágrafos à frente Tosi relata:

Na verdade, um dos primeiros químicos franceses a adotar a teoria de Lavoisier foi Chaptal (1756-1832), professor de química em Montpellier, que o fez através de uma carta dirigida a Lavoisier em junho de 1784. Posteriormente, outros químicos famosos foram aderindo também. O exemplo mais notável foi o de Richard Kirwan (1733-1812), um dos mais sérios defensores da teoria do flogisto, autor de *Essays on phlogiston and the constitution of acids*, publicado em 1788, que tivera grande impacto. [...] Em 1791 Kirwan escrevia a Berthollet: *"Enfim, deponho as armas e abandono o flogisto [...]. Escreverei eu mesmo uma refutação do meu ensaio"*. Outra adesão importante foi a de Joseph Black que em uma carta a Lavoisier, publicada em *Annales de Chimie* em 1791, dizia: *"Passei trinta anos crendo na teoria do flogisto e ensinando-a... experimentei durante muito tempo um grande afastamento do novo sistema, que apresentava como um erro o que eu considerava uma doutrina sã; contudo, esse afastamento, que não provinha senão da força do costume, tem diminuído gradualmente, vencido pela clareza e a solidez do vosso método..."* Outras conversões importantes foram as de Klaproth (1743-1817) na Alemanha, Spallanzani (1729-1799), Volta e Felice Fontana (1729-1805) na Itália e Proust (1754-1826), nessa época professor em Madri. Em Portugal, o químico brasileiro Vicente de Seabra Telles, aderiu explicitamente à teoria, em um pequeno livro *Dissertação sobre a fermentação em geral, e suas espécies*, publicado em 1787. (TOSI, 1998, p.47)

As ideias de Lavoisier ganharam adeptos importantes em momentos decisivos do seu embate contra os adeptos ao flogístico. Porém essa adesão ocorreu de maneira lenta e gradativa e foram muitos os cientistas da época, segundo historiados da ciência, que permaneceram intransigentes até sua morte, cujo caso mais emblemático talvez seja o de Priestley, que morreu flogistonista.

**6.2.2 Análise do artigo: ALFONSO-GOLDFARB, Ana Maria Alfonso; FERRAZ, Marcia Helena Mendes; *As possíveis origens da Química Moderna*. Revista Química Nova. v. 16, n. 01, p. 63-38, jan., 1993.**

**Categoria 01: Fatos que violam a expectativa do paradigma vigente - Estruturas conceituais antecipadas – Consciência do fenômeno e sua natureza.**

No início do artigo de Ana Maria Alfonso-Goldfarb e Márcia Helena Mendes Ferraz, há uma pequena apresentação sobre os principais pontos que levam os historiadores da ciência (de visão clássica) conferir a Lavoisier a responsabilidade de ter dado uma roupagem moderna à Química. As autoras refletem também sobre o tema à luz da nova historiografia da ciência, na qual existem dúvidas em relação ao *status* epistemológico da obra do químico francês. Prosseguem dizendo que, por esses motivos, irão revisitar a obra de Lavoisier e seus contemporâneos para melhor compreender a chamada Revolução Química.

Passam então a expor a obra de Lavoisier e comentar a visão que o químico francês tinha de suas realizações e escrevem:

Estava ele sempre envolvido com o que chamava de "planos" onde programava antecipadamente experimentos dedicados ao estudo de pontos problemáticos da ciência da época (ALFONSO-GOLDFARB; FERRAZ, 1993, p. 64).

Mais adiante.

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 (ALFONSO-GOLDFARB; FERRAZ, 1993, p. 64).

Nos dois trechos destacados do artigo, percebe-se que Lavoisier possuía consciência de que havia algo errado nas explicações dadas para alguns fenômenos observados em sua época, principalmente sobre a relação entre os pesos das substâncias nos processos de combustão e calcinação e que essa consciência o fez projetar seus estudos.

Depois de relatar o experimento em que Lavoisier aquece água num *pelicano* durante 101 dias para tentar verificar a conversão desta em terra, as autoras escrevem sobre a hipótese de Lavoisier em relação ao papel do *ar* nos processos químicos.

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 ideias 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 experimentais [...]. A questão do "ar", como vimos anteriormente, era algo que já vinha chamando a atenção de Lavoisier há tempos [...]. Lavoisier, que já havia atacado algumas das ideias de Boyle - sobretudo no que concerne ao mecanicismo-atomista mais rude deste - ainda assim permanece na crença de que se bem desenvolvidas as ideias dos pneumáticos poderiam trazer resultados interessantes (ALFONSO-GOLDFARB; FERRAZ, 1993, p. 65).

Segundo as autoras, Lavoisier já conhecia o trabalho de Stephen Hales, sobre o papel do ar atmosférico no crescimento de plantas e animais. Porém, a hipótese do químico francês ganharia mais força quando ele entra em contato com os estudos de Black sobre o *ar fixo*, como podemos perceber no trecho destacado abaixo.

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 encontraria fixado aos materiais dos quais Black conseguiu extraí-lo. 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 experimentos 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 química. E será movido por essas ideias 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 (ALFONSO-GOLDFARB; FERRAZ, 1993, p. 65).

Pode-se inferir pela leitura dos trechos destacados até aqui, que Lavoisier desconfiava que a teoria vigente não era suficiente para dar explicações plausíveis sobre os fenômenos que eram observados na época e também que havia alguma relação entre o *ar*, ou os *ares*, e os fenômenos da combustão e calcinação de materiais que deveria ser mais bem explorado, fato que impulsionou e direcionou suas investigações.

Após o relato de algumas investigações feitas por Lavoisier e seu grupo de pesquisa, as autoras transcrevem parte de um texto em que o químico francês expõe algumas de suas conclusões e deixa mais evidente sua consciência sobre os fenômenos analisados.

*Há oito dias atrás descobri que o enxofre, queimando, ao invés de perder peso, muito pelo contrario 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 e devido às mesmas causas (LAVOISIER, apud ALFONSO-GOLDFARB; FERRAZ, 1993, p. 65).*

Em seguida:

*É tal a sua convicção que a clarificação desses pontos nebulosos sobre a participação do ar no universo químico estabeleceria um novo panorama nas ciências naturais, que o estudioso francês chega a prever: "uma revolução na física e na química" (ALFONSO-GOLDFARB; FERRAZ, 1993, p. 66).*

Percebe-se, pela leitura dos trechos destacados anteriormente, que Lavoisier fica mais convicto da sua conjectura sobre o papel do ar nos processos de combustão, tanto que arrisca a generalizar que o mesmo pode ocorrer em processo análogo com outras substâncias e num momento de ousadia antevê uma revolução nesse campo de pesquisa.

**Categoria 02 – Substituição do paradigma – Reformulação do campo de pesquisa – Início de novos campos de investigação – Mudança de métodos, técnicas, linguagem e aplicações – Mudança nos problemas e soluções aceitáveis – Utilização de novos instrumentos.**

Prosseguindo com a análise do artigo, destacamos um trecho onde as autoras relatam a série de experimentos que Lavoisier e seu grupo realizaram.

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 combustão, pois o papel do ar fica aí mais evidenciado (ALFONSO-GOLDFARB; FERRAZ, 1993, p. 65).

A leitura acima nos permite perceber a busca de Lavoisier e seu grupo de pesquisa por novos métodos de análise, ou a utilização métodos que eram pouco empregados nas investigações da época. Isso pode ser consequência da mudança de foco nas análises, isto é, no que era importante considerar nas verificações. Em relação a esse ponto destacamos um trecho do artigo em que as autoras escrevem:

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 (ALFONSO-GOLDFARB; FERRAZ, 1993, p. 65).

Lavoisier considerava importante em suas investigações a verificação quantitativa do que era analisado, em contraponto ao praticando até então, que enfatizava os aspectos qualitativos dos processos químicos. Essa mudança de rumo na pesquisa química viria a se constituir numa das maiores armas da teoria de Lavoisier e que influenciaria toda a pesquisa química posterior, como podemos perceber pelo trecho a seguir.

As peças passam então a se encaixar quase que numa ordenação matemática, oferecendo por fim a Lavoisier sua tão almejada previsibilidade teórica. [...] 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...[...]. 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 - a modernidade (ALFONSO-GOLDFARB; FERRAZ, 1993, p. 67).

Portanto, na concepção das autoras, após os trabalhos de Lavoisier e seu grupo, a química ganha uma nova roupagem que lhe dá *status* de ciência moderna, tendo como carro chefe medidas quantitativas precisas fornecidas por aparelhos produzidos a pedido do químico francês.

### **Categoria 3 - Deslocamento da rede conceitual – Aquisição de novos conceitos – Mudança de visão de mundo**

Conforme as autoras expõem as investigações de Lavoisier, podemos perceber o amadurecimento de suas conjecturas anteriores e a mudança conceitual ocorrida em suas ideias. Para exemplificar a afirmação, transcrevemos um trecho do artigo que relata uma série de experimentos que o químico francês e seus colaboradores realizaram.

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 ideias 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 (ALFONSO-GOLDFARB; FERRAZ, 1993, p. 66).

[...]

*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 (LAVOISIER, apud ALFONSO-GOLDFARB; FERRAZ, 1993, p. 66).*

Pela leitura das transcrições podemos perceber a transformação da visão de Lavoisier sobre o papel do *ar* na combustão dos metais e na sua revivificação. Nesse momento Lavoisier estabelece a relação de que nos processos de calcinação de metais o "*ar puro*" deve se combinar com o metal para a formação da *calx*. Com essa explicação o cientista francês vê no *ar fixo* uma substância composta (carvão + *ar puro*) diferentemente da visão até então aceita, além do mais, abandona de vez a necessidade de se utilizar a teoria do flogístico para explicar tais processos.

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 varias sessões de esforço concentrado - em tomo de planos e projetos - fazia falta (ALFONSO-GOLDFARB; FERRAZ, 1993, p. 66).

De posse desses novos conceitos os processos similares até então vistos pela ótica do flogístico são reavaliados pelos novos óculos.

De qualquer maneira, enquanto a teoria em formação ainda dependia de um grande número de refinamentos para se tomar 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) (ALFONSO-GOLDFARB; FERRAZ, 1993, p. 66).

Nessa reavaliação, aponta Lavoisier que, no caso dos produtos gerados pela combustão principalmente do enxofre e do fósforo, seu *ar eminentemente respirável* é o responsável pela formação de todos os ácidos, como escrevem as autoras.

Neste último caso, os experimentos desenvolvidos por Lavoisier ao longo de 1777 o levarão a 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) (ALFONSO-GOLDFARB; FERRAZ, 1993, p. 66).

Para as autoras do presente artigo, esse foi outro ponto pelo qual Lavoisier consolidou seus conceitos. A partir de então elas relatam as experiências sobre a composição da água realizadas por Cavendish, e as investigações desenvolvidas por Lavoisier e Laplace sobre o mesmo tema, que foram decisivas para a afirmação das ideias do químico francês. Nesse ponto, Alfonso-Goldfarb e Ferraz trazem também a importante análise sobre a mudança que houve com relação à teoria dos quatro elementos quando se concebeu a água com uma substância composta.

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, concluía o dismantelamento 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 experimentadores. 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" (ALFONSO-GOLDFARB; FERRAZ, 1993, p. 67).

Consolidada a mudança conceitual, o refinamento das ideias de Lavoisier, outros pesquisadores da época iniciam suas investigações de posse de novas visões sobre seu campo de pesquisa, como se pode ler a seguir.

Abre-se um caminho para pensar em termos químicos todo o universo de fenômenos que antes pareciam restritos a física, como a questão do ar sempre assumido como mero meio mecânico pelos próprios químicos (ALFONSO-GOLDFARB; FERRAZ, 1993, p. 67).

Em sequência, as autoras descrevem outro ponto importante para a consolidação das ideias de Lavoisier, qual seja, a construção da nova nomenclatura química que deu suporte para a mudança conceitual que o novo arcabouço teórico-metodológico propunha.

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 químicos - 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 (ALFONSO-GOLDFARB; FERRAZ, 1993, p. 67).

E mais adiante, já no último parágrafo do artigo, as autoras defendem com mais ênfase as mudanças ocorridas na química em função dos trabalhos de Lavoisier.

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, parece-nos, ontológico também). E se isto definitivamente não se constitui 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 a parte (ALFONSO-GOLDFARB; FERRAZ, 1993, p. 67).

Pode-se inferir pela leitura dos trechos acima e principalmente pela leitura desse último parágrafo, que houve uma mudança de rumos na pesquisa química, na maneira de avaliar os fenômenos, nos métodos empregados na análise e na visão de mundo, após os trabalhos de Lavoisier e seu grupo.

Finalizamos a análise do artigo de Alfonso-Goldfarb e Ferraz destacando que não encontramos em seu texto evidências de considerações que contemplem as categorias 4 e 5 previstas pela análise que fizemos da obra de Kuhn.

### 6.2.3 Análise do artigo: FAUQUE, Danielle. *O Papel Iniciador de Lavoisier*. Química Nova, vol. 18, p. 567-573, 1995.

#### **Categoria 01: Fatos que violam a expectativa do paradigma vigente - Estruturas conceituais antecipadas – Consciência do fenômeno e sua natureza.**

Danielle Fauque inicia seu artigo descrevendo o pensamento químico no período de Lavoisier. Resume os principais aspectos da teoria do flogístico e suas explicações para alguns fenômenos químicos, tais como combustão e calcinação, comenta a natureza qualitativa da pesquisa química proporcionada por tal teoria e escreve sobre a descoberta de novos metais e ácidos orgânicos. Relata também a descoberta de alguns *ares* e o desenvolvimento de instrumentos e técnicas laboratoriais necessárias para sua investigação. Em seguida, passa a descrever alguns problemas que a pesquisa química enfrentava, referentes principalmente ao aumento de peso durante a calcinação de metais, fato que a teoria do flogístico não conseguia explicar satisfatoriamente.

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 (FAUQUE, 1995, p. 568).

Em seguida, Fauque descreve resumidamente as primeiras atividades de Lavoisier em ciências naturais e principalmente seus estudos sobre a constituição do gesso e a medida da densidade da água redestilada.

Continuando, a autora inicia a exposição dos estudos sobre a natureza do *ar fixo* elaborados por Priestley e Bergman e sobre a solicitação que Trudaine faz a Lavoisier para que estudasse suas propriedades. Então escreve:

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 (FAUQUE, p. 568).

Pela leitura do trecho anterior, Fauque aponta que Lavoisier tinha a consciência de que seu trabalho seria revolucionário. Porém, a autora não aponta quais seriam os elementos que Lavoisier apresentava que lhe davam condições de realizar tal afirmação. Prosseguindo, a autora resume os estudos do químico francês que promoveu a calcinação de metais e sua redução pelo carvão, calcinação do chumbo sobre uma cuba com mercúrio e a redução do minério. Fauque então relata a convicção de Lavoisier, após a realização dos estudos mencionados, sobre o papel do ar nesses processos.

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 coisas 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"* (FAUQUE, 1995, p. 568).

A leitura do trecho acima indica que Lavoisier acredita que suas hipóteses anteriores foram corroboradas pelas investigações e que o químico francês inicia a tomada de consciência sobre a natureza desse *ar* que participa dos processos de combustão, como podemos perceber adiante.

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 (FAUQUE, 1995, p. 568).

Outro trecho em que é possível perceber a consciência que Lavoisier possuía dos fatos que não concordavam com a teoria vigente aparece quando o texto trata das investigações realizadas com o *mercurius precipitatus per se* (atualmente o óxido de mercúrio). Alguns experimentadores, especialmente Priestley, perceberam que o precipitado poderia ser reduzido a mercúrio com e sem a adição de carvão (flogístico), fato que não era previsto pela teoria

aceita. Quando Lavoisier investiga o fenômeno, parece ficar mais convicto de suas hipóteses, pelo que descreve a autora.

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 (FAUQUE, 1995, p. 569).

Além do mais, é possível inferir, pela leitura dos trechos anteriores, uma consequência importante das afirmações feitas por Lavoisier. O ar atmosférico, que era visto com uma única substância, passa a ser considerado, na hipótese de Lavoisier, uma mistura.

**Categoria 02 – Substituição do paradigma – Reformulação do campo de pesquisa – Início de novos campos de investigação – Mudança de métodos, técnicas, linguagem e aplicações – Mudança nos problemas e soluções aceitáveis – Utilização de novos instrumentos.**

Com a mudança conceitual praticamente consolidada em Lavoisier, o cientista francês enuncia mais claramente suas ideias, nas quais se percebe nitidamente as diferenças em relação à teoria de Stahl. Inicia-se dessa forma a luta para a substituição de teorias. Segundo Fauque:

Em 1777, Lavoisier propõe uma "*nova teoria da combustão, contrária àquela de Stahl*", ... [...]. 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 (FAUQUE, 1995, p. 570).

O início de novos campos de investigação, talvez resultado da consolidação das ideias de Lavoisier e da convicção em suas hipóteses, pode ser analisado como uma tentativa de ampliar o horizonte de aplicação de sua teoria. Podemos perceber essa iniciativa de Lavoisier nos trechos destacados do artigo de Fauque a seguir, em que a autora escreve sobre o estudo dos ácidos realizados pelo químico francês.

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 consequência defini-los melhor. Daí o interesse de Lavoisier por um estudo metuculoso dos ácidos, 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 consequência, ele propunha dar-lhe o nome oxigênio. [...]. 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 (FAUQUE, 1995, p. 570).

Além dos estudos sobre a natureza dos ácidos, Lavoisier também inicia a abordagem experimental de quantificar o que ele denomina *a matéria do calor*. Com a colaboração de Pierre Simon de Laplace, o químico impõe sua metodologia quantitativa.

Mal o oxigênio estava bem caracterizado como elemento, Lavoisier se ocupou da matéria do calor, logo denominada calórico. No início dos anos 1780, Lavoisier e Laplace haviam trabalhado junto sobre a medição da quantidade de calor. 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 (FAUQUE, 1995 p. 570).

Os resultados dessas novas observações parecem ter permitido a Lavoisier engendrar um ataque mais direto à teoria do flogístico, apontando seus pontos fracos e ressaltando os pontos positivos de sua teoria. Segundo Fauque:

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** [grifo do autor] se opunha às proposições de Lavoisier. Ao longo de sessões agitadas, após 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 (FAUQUE, 1995, p. 570).

Dessa forma, pelo texto de Fauque, podemos perceber todo o empenho de Lavoisier na tentativa de sobrepujar a doutrina flogística. Tanto que Lavoisier e seu grupo propuseram uma mudança radical em toda nomenclatura química e que, na visão do autor, tal mudança na linguagem foi responsável por uma ruptura com a teoria antiga.

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. [...] Esta linguagem introduzia uma ruptura na química. Embora contestada por uma parte dos químicos, a nomenclatura se espalhou rapidamente. Em uma dezena de anos numerosas traduções saíram à luz (FAUQUE, 1995, p. 571).

Todas essas mudanças, ao que tudo indica, afetaram o modo pelo qual se realizavam as investigações em química, como escreve Fauque.

Era uma nova maneira de conceber a ciência, que fazia da arte de analisar e recompor as substâncias o objetivo supremo da química (FAUQUE, 1995, p. 571).

Instrumentos antes relegados a segundo plano tornaram-se indispensáveis para a pesquisa química, como escreve o autor em suas conclusões.

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, [...] 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 (FAUQUE, 1995, p. 572).

Percebe-se no trecho acima, que Fauque classifica Lavoisier como um “pai-fundador” ou um “iniciador” de uma nova ciência.

### **Categoria 3 - Deslocamento da rede conceitual – Aquisição de novos conceitos – Mudança de visão de mundo**

No que refere à mudança conceitual, materializada na hipótese da existência do oxigênio, destacamos alguns trechos do artigo de Danielle Fauque que nos permitem inferir sobre o assunto. No tópico em que a autora versa sobre o papel do precipitado *per se*, existe uma transcrição feita de uma memória de Lavoisier em que o cientista francês expressa:

*[...] 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 (Lavoisier, apud FAUQUE, 1995, p. 569)*

Percebe-se pela leitura anterior que Lavoisier descarta o papel do flogístico na calcinação, dizendo que na verdade o que ocorre é a participação de uma parte do ar. Em suas palavras, *a porção mais salubre desse*, o que é uma visão completamente distinta dos adeptos da teoria do flogístico. Fauque relata mais experimentos de Lavoisier em que o cientista realiza o aquecimento do precipitado *per se*, na presença e na ausência do carvão, o que lhe permite generalizar, como escreve a autora.

Lavoisier generaliza então a demonstração para o conjunto das cais metálicas: "*é muito verossímil que todas as cais 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*" (FAUQUE, 1995, p. 569)

Outro trecho do artigo de Fauque, que nos permite perceber a mudança de conceito em Lavoisier e como sua visão diverge da dos adeptos da teoria do flogístico, está no ponto em que a autora expõe a investigação sobre a composição do ar comum. Nessa época parecia haver uma divergência em relação à natureza do ar atmosférico especialmente à visão de Priestley.

Após ter repetido os experimentos de Priestley, 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*". [...] 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. (FAUQUE, 1995, p. 569).

A autora defende essa diferença de ponto de vista entre Lavoisier e os adeptos da teoria do flogístico após breve relato dos pontos centrais da proposta de Lavoisier, escrevendo:

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 (FAUQUE, 1995, p. 569).

É importante verificar que a mudança de visão de Lavoisier não se restringiu apenas aos processos de combustão e calcinação, mas também à natureza dos ácidos, como se pode ler no trecho a seguir.

Em 23 de novembro de 1779, a memória **Considerações gerais sobre a natureza dos ácidos e sobre os princípios de que eles são compostos** [grifo do autor] define tão precisamente o papel do oxigênio que sua denominação parece óbvia. O princípio da acidez sobrepassa 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. [...] Em 1779, Lavoisier estimava poder generalizar que todos os ácidos contêm o princípio do ar puro e que este princípio é acidificante; em consequência, ele propunha dar-lhe o nome oxigênio (FAUQUE, 1995, p. 570).

Pelo exposto até aqui, nos parece evidente essa mudança conceitual em Lavoisier, que acarreta uma mudança de visão sobre fenômenos que já haviam sido investigados com outros óculos.

#### **Categoria 04 - Reescrita dos manuais didáticos**

No tópico em que Fauque trata da publicação da obra mais emblemática de Lavoisier, o *Traité Élémentaire de Chimie*, podemos perceber a importância que o autor atribui a essa obra no que se refere a adesão à nova química por parte da comunidade de químicos da época.

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** [grifo do autor]. 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 (FAUQUE, 1995, p. 569).

Percebe-se também, pela leitura do trecho acima, que as ideias de Lavoisier não ganharam aceitação imediata e que a o *Tratado* serviria como um instrumento, não para a conversão de novos adeptos imediatamente, mas sim para o ensino dos futuros químicos que, dessa forma, entrariam em contato com a nova teoria assim que iniciassem seus estudos.

**Categoria 05 – Crescente abandono do paradigma vigente e conversão de adeptos à nova teoria.**

Como já dissemos, houve grande dificuldade para que a teoria de Lavoisier se impusesse em relação à do flogístico. Fauque não se aprofunda nessa discussão, mas deixa evidente que na época estudiosos importantes se converteram às ideias de Lavoisier.

Os químicos franceses mais conhecidos se converteram um após o outro, como Berthollet, Fourcroy, Chaptal ou Guyton de Morveau (FAUQUE, 1995, p. 571).

Alguns dos nomes citados trabalharam ativamente com Lavoisier para a consolidação de suas ideias, por isso a conversão desses cientistas foi muito importante, tanto para a aceitação da sua teoria como para a sua divulgação.

**6.2.4 Análise do artigo: FILGUEIRAS, Carlos A. L. *A revolução Química de Lavoisier: uma verdadeira revolução?* Química Nova, vol. 2, p. 219-204, 1995.**

**Categoria 01: Fatos que violam a expectativa do paradigma vigente - Estruturas conceituais antecipadas – Consciência do fenômeno e sua natureza.**

Filgueiras inicia seu artigo citando a importante contribuição de Thomas Kuhn, com a publicação da sua mais conhecida obra, *A Estrutura das Revoluções Científicas*, para o estudo da natureza do progresso científico. Porém, nos lembra de que as ideias de Kuhn sofreram vários questionamentos, principalmente o conceito de revolução científica. No intuito de compreender esse conceito, o autor passa a analisar a origem e o uso do termo revolução ao longo da história. Busca a origem etimológica da palavra, sua utilização filosófica, política e, enfim, científica. Especificamente, descreve algumas características das revoluções científicas utilizando como exemplo alguns episódios da história da ciência. Ao tratar da chamada Revolução Química de Lavoisier, Filgueiras escreve:

A revolução de Lavoisier foi a primeira na história a ser assim percebida e proclamada por seu protagonista principal e por seus contemporâneos, ao passo que a copernicana só veio a ser reconhecida como tal bastante tempo após ocorrer. Lavoisier escreveu em suas notas de laboratório de 20 de fevereiro de 1773, a propósito de seus trabalhos na química dos gases: a importância do tema me obrigou a voltar a este trabalho que, no meu entender, está fadado a provocar uma revolução no terreno da física e da química (FILGUEIRAS, 1995, p. 220)

Pela leitura do destaque acima podemos perceber que, para Filgueiras, Lavoisier já possuía consciência prévia do trabalho que iria desenvolver, arriscando inclusive a proclamar antecipadamente uma revolução na área que estudava. Essa opinião do autor fica mais evidente conforme prosseguimos com a leitura.

Esta intuição prematura de uma verdadeira revolução que se avizinhava foi mais tarde reafirmada em carta de 1791 a Chaptal, portanto quase duas décadas após a

observação inicial: todos os cientistas jovens adotam a nova teoria e daí eu concluo que a revolução na química está realizada (FILGUEIRAS, 1995, p. 220).

Após fazer considerações sobre a revolução industrial, escreve:

Isto torna ainda mais notável a presciência de Lavoisier em sua anotação de 1773 e na certeza que o acompanhou ao longo dos anos em estar criando uma nova química (FILGUEIRAS, 1995, p. 220).

Apesar de Filgueiras afirmar que Lavoisier apresentava consciência prévia do trabalho que iria realizar, não discute os pontos que comprovem sua hipótese. O autor deixa de discutir as anomalias na teoria do flogístico, percebidas por Lavoisier, e o modo que o químico francês lidou com tais anomalias.

**Categoria 02 – Substituição do paradigma – Reformulação do campo de pesquisa – Início de novos campos de investigação – Mudança de métodos, técnicas, linguagem e aplicações – Mudança nos problemas e soluções aceitáveis – Utilização de novos instrumentos.**

Mais adiante, Filgueiras, ao responder à pergunta sobre qual a importância da obra de Lavoisier e se o termo revolução seria adequado para descrevê-la, escreve:

Ele foi o grande sistematizador e quantificador da ciência química. Como bem resumiu Frederic L. Holmes, seu trabalho científico englobou a substituição de um sistema químico por outro baseado numa nova teoria geral da combustão; um novo método de análise química baseada na convicção de que nada é ganho ou perdido numa operação química; uma nova definição de acidez; uma definição pragmática de um elemento químico e novos princípios de composição química; a calorimetria e os fundamentos de uma futura físico-química; o delineamento de uma futura química orgânica; uma teoria da respiração e um entendimento do efeito das plantas sobre a atmosfera; uma teoria da fermentação incluindo a equação química prototípica. Seu trabalho com a química dos gases levou a derrocada da teoria do flogisto e ao estabelecimento da química moderna (FILGUEIRAS, 1995, p. 220).

Fica evidente pela leitura acima que, na visão de Filgueiras, a obra de Lavoisier se constituiu num marco para a química. Segundo o autor, isso se deve ao fato de as ideias de Lavoisier terem estabelecido as bases para o desenvolvimento de um padrão de investigação química, por ter inaugurado, ou ao menos ter possibilitado, o surgimento de várias áreas de estudos em química e finalmente, por ter substituído da teoria do flogístico.

A ideia da substituição da teoria do flogístico pela teoria de Lavoisier fica mais evidente quando se lê um trecho no qual Filgueiras transcreve parte de um prefácio de McKie.

Assim assinala McKie no prefácio da edição Dover do *Traité Élémentaire de Chimie de Lavoisier*: *Como Boyle em seu "Químico Céptico" de 1661, ele (Lavoisier) criticou destrutivamente a teoria química corrente; mas, contrariamente a Boyle, pôs em seu lugar uma teoria melhor* (MCKIE, apud FILGUEIRAS, 1995, p. 221).

### **Categoria 3 - Deslocamento da rede conceitual – Aquisição de novos conceitos – Mudança de visão de mundo**

Analisar a mudança conceitual das ideias de Lavoisier é o principal objetivo do artigo de Filgueiras. Para isso, o autor analisa os trabalhos de Paul Thagard sobre o assunto, contrapondo-os às concepções de Kuhn sobre revoluções científicas. Escreve Filgueiras:

Vale a pena parar um momento e tentar entender como se terá dado o processo de mudança conceitual encabeçado por Lavoisier. O Livro recente de Paul Thagard, *Conceptual Revolutions*, é extremamente valioso neste sentido (FILGUEIRAS, 1995, p. 221).

Continuando, Filgueiras toma como exemplo para sua análise, a diferença entre substância elementar e substância compostas nos dois sistemas, o do Flogístico e o de Lavoisier como segue:

Ao descrever reações químicas por meio do sistema atual de equações, usando-se os conceitos de Stahl (flogisto) e de Lavoisier (oxigênio), pode-se bem aquilatar a

diferença conceitual entre os dois. Assim se descrevem os processos de calcinação de um metal (I) ou da combustão do hidrogênio (II):

I) Stahl:	metal → cal + flogisto	(metal = composto)
Lavoisier:	metal + oxigênio → cal	(metal = elemento)
II) Stahl:	ar inflamável → água + flogisto	(ar inflamável = composto)
Lavoisier:	hidrogênio + oxigênio → água	(hidrogênio = elemento)

Evidentemente, o hidrogênio de Lavoisier é o mesmo ar inflamável dos adeptos da teoria do flogisto. Vê-se, pelos exemplos acima, o enorme fosso conceitual que separa os dois sistemas, envolvendo a noção de substâncias elementares e compostas (FILGUEIRAS, 1995, p. 221).

Ao lermos o trecho acima, fica evidente que Filgueiras concorda que há diferenças conceituais gritantes entre os adeptos das duas teorias.

#### **Categoria 04 - Reescrita dos manuais didáticos**

Para Filgueiras, duas publicações que tiveram papéis importantes na consolidação das ideias de Lavoisier foram o *Méthode de Nomenclature Chimie* e o *Traité Élémentaire de Chimie* como podemos perceber nos trechos a seguir.

A introdução da nova nomenclatura revela uma sagacidade notável de Lavoisier e seus colaboradores. Nessa obra ele sistematiza a linguagem química e usa os termos por ele inventados de hidrogênio, oxigênio, etc. Ora, quem aceitasse esses termos estaria aceitando, *ipso facto*, a teoria de Lavoisier da composição da água, dos ácidos, do ar, etc. A nomenclatura tinha assim um conteúdo ideológico importantíssimo e, como tal, foi o carro-chefe da revolução lavoisieriana, dois anos antes da publicação do *Traité*, sua obra principal.

[...]

A publicação do *Traité Élémentaire de Chimie* em 1789 teve um êxito extraordinário. Basta notar que entre 1789 e 1805 apareceram 23 edições integrais da obra em 7 países, sendo 7 edições apenas na França. Além dessas houve mais 3 edições parciais, uma delas no Novo Mundo, mais precisamente no México, em 1797. Na edição inglesa, publicada em 1790, o tradutor Robert Kerr alude, logo no início de seu prefácio, “à grande revolução que, na opinião de muitos químicos excelentes, ele efetuou na teoria química (...)” (FILGUEIRAS, 1995, p. 222).

Pode-se inferir pela leitura anterior que essas duas obras foram responsáveis diretamente pela divulgação dos estudos de Lavoisier e seu grupo, para os cientistas de todo o mundo.

Não encontramos no texto de Filgueiras, trechos que contemplem o processo de abandono do paradigma vigente ou a conversão de adeptos à teoria de Lavoisier.

**6.2.5 Análise do artigo: OKI, Maria da C. M. *Paradigmas, Crises e Revoluções: A História da Química na Perspectiva Kuhniana. Química Nova na Escola, n. 20, p. 32-37, 2004.***

**Categoria 01: Fatos que violam a expectativa do paradigma vigente - Estruturas conceituais antecipadas – Consciência do fenômeno e sua natureza.**

A professora Oki pretende analisar alguns episódios da história da química (a química de Lavoisier e a teoria atômica de Dalton), na visão do filósofo da ciência Thomas Kuhn. A autora inicia a apresentação do seu estudo em que relata a importância do trabalho de Kuhn para a filosofia e epistemologia da ciência do século XX e aborda, resumidamente, os principais conceitos de sua epistemologia.

Ao abordar os trabalhos de Lavoisier, Oki expõe, em alguns momentos, fatos que divergiam das expectativas teóricas, proporcionadas pela teoria do flogístico, que segundo a autora era o paradigma utilizado para orientar a pesquisa na época.

O desenvolvimento da química prática no século XVIII, as descobertas de novas substâncias químicas e a complexificação dos fenômenos investigados ameaçaram o paradigma dominante fundamentado na Teoria do Flogisto, amplamente usada nas explicações sobre transformações químicas nesse período. Configurava-se o insucesso da teoria vigente para explicar os novos fenômenos empíricos, acumulavam-se anomalias, gerando uma situação de crise. A causa principal dessa crise foi o desenvolvimento da Química Pneumática, que proporcionou a descoberta do oxigênio, permitindo que se compreendesse a sua reatividade química. Uma outra questão contribuiu para o agravamento da crise: as divergências observadas nas relações de massa determinadas quando corpos eram submetidos ao aquecimento na presença do ar. Para alguns elementos a combustão levava a um aumento de massa e, para outros, a uma diminuição, o que não era adequadamente explicado pela Teoria do Flogisto (OKI, 2004, p. 35).

Apesar de Oki dizer que havia algumas anomalias na teoria flogistonista, ela cita tão somente os problemas do aumento de peso na calcinação de metais. Além disso, a autora diz que o desenvolvimento da química pneumática foi a causa principal que desencadeou a descoberta do oxigênio, porém, não desenvolve os argumentos e nem traz referências que atestem tal tese.

Para Oki, o grande mérito de Lavoisier foi ter percebido essas anomalias e antecipado algumas de suas consequências.

Lavoisier comportou-se como um grande detetive; tendo percebido muitas anomalias na Química, conseguiu profetizar a sua ação revolucionária, registrando-a antecipadamente junto à Academia de Ciências Francesa. Ou seja, sua intenção foi a de introduzir profundas mudanças nessa ciência (OKI, 2004, p. 35).

Novamente a autora não diz quais seriam tais anomalias e de que forma elas contribuíram para a instalação de uma crise no paradigma vigente até então. Em seu artigo, a professora Oki não faz uma análise pormenorizada das anomalias que despertaram em Lavoisier a vontade de investigá-las dando início ao processo revolucionário de sua teoria, citado pela autora.

**Categoria 02 – Substituição do paradigma – Reformulação do campo de pesquisa – Início de novos campos de investigação – Mudança de métodos, técnicas, linguagem e aplicações – Mudança nos problemas e soluções aceitáveis – Utilização de novos instrumentos.**

Logo no primeiro capítulo da análise da química de Lavoisier, Oki expõe sua visão sobre o período em que Lavoisier desenvolveu sua pesquisa.

Nesse período, profundas modificações aconteceram graças à renovação de teorias e conceitos, tanto do ponto de vista da estrutura lógica como da linguagem utilizada. Alterações relativas ao status ontológico da Química com repercussões nas dimensões epistemológica e metodológica dessa ciência foram observadas. O principal responsável por essas transformações foi o mais importante químico do século XVIII, Antoine Laurent de Lavoisier (1743-1794). [...] As inovações propostas tiveram tanta repercussão na constituição de uma Química moderna que passaram a ser identificadas como “Revolução Química” (OKI, 2004, p. 34).

É possível perceber na leitura do trecho acima que a autora defende a visão de que Lavoisier foi um dos principais responsáveis por uma transformação na maneira pela qual se

encaminhava o desenvolvimento do conhecimento químico. Essas transformações, como escreve a autora, passaram pelos planos conceitual, lógico, da linguagem, epistemológico e metodológico. Todavia, a professora Oki não traz referências que atestem tais informações.

Mais adiante Oki escreve.

Paralelamente à invenção do oxigênio, Lavoisier destacou-se como grande sistematizador da Química, conseguindo organizá-la e conferindo-lhe um novo status. Nessa nova abordagem a quantidade era também priorizada na explicação das reações químicas. A construção racional de uma Química moderna teve Lavoisier como um dos seus mais importantes mentores e executores; ele soube combinar de modo rigoroso indução, dedução e experimentação. (OKI, 2004, p. 35).

No trecho acima, perceber-se que a autora sustenta que a nova teoria de Lavoisier concede nova abordagem à pesquisa química, pelo fato de possuir natureza preferencialmente quantitativa, em detrimento às abordagens essencialmente qualitativas proposta pela teoria do flogístico. Essa mudança de método influenciou profundamente as técnicas empregadas nas investigações químicas futuras. A autora aponta Lavoisier como “inventor” do oxigênio. A nosso ver, é provável que Lavoisier tenha sido o criador mais de uma “teoria da combustão pelo oxigênio”, que ela mesma vai afirmar à frente, do que talvez do conceito de oxigênio em si. De qualquer modo, o tema é controverso, pois passa pelo estabelecimento das noções de “invenção” e de “descoberta”.

### **Categoria 3 - Deslocamento da rede conceitual – Aquisição de novos conceitos – Mudança de visão de mundo**

Oki é adepta da visão de que a nova teoria da combustão proposta por Lavoisier foi precursora de mudanças conceituais importantes na química, como pode ser lido no trecho a seguir.

A proposta lavoisieriana de uma nova teoria da combustão abriu caminho para um novo paradigma que incorporou profundas mudanças conceituais na Química (OKI, 2004, p. 35).

Superficialmente como em outros trechos, a autora apenas diz que ocorreram mudanças conceituais na química sem, no entanto, apontar quais foram essas mudanças e de que forma ocorreram.

A opinião de Oki, em relação à mudança conceitual, provocadas pelas ideias de Lavoisier, fica mais evidente em outro trecho do seu artigo mais adiante.

A nova teoria da combustão, que incluía novas suposições diretivas, foi fruto de uma lenta mudança nas idéias que Lavoisier inicialmente compartilhava com a comunidade dos flogistas. Sua proposta revolucionária levou a um deslocamento da rede conceitual usada pelos cientistas para interpretar os fenômenos e o mundo;... (OKI, 2004, p. 35).

Percebemos também no trecho anterior que Oki acredita que com a mudança conceitual, os cientistas interpretam os fenômenos e o mundo com outros óculos, o que seria, na concepção da autora, um dos aspectos revolucionários das ideias de Lavoisier. No entanto, a autora novamente não exhibe argumentos contundentes para apoiar sua tese, principalmente porque não diz de que forma ocorreu o deslocamento da rede conceitual (proporcionada pela teoria de Lavoisier) utilizada pelos cientistas da época, quando eles olhavam para os mesmos fenômenos analisados anteriormente com os óculos da visão flogistonista.

Para reforçar ainda mais seu ponto de vista, Oki se fundamenta em Filgueiras, autor que também partilha da mesma opinião. A autora escreve:

De acordo com Filgueiras (1995), as diferenças conceituais entre o sistema de Stahl (dos flogistas) e o de Lavoisier envolviam modificações na noção de substâncias elementares e compostas. Os metais, ou mesmo o hidrogênio, que segundo os flogistas eram compostos, no sistema lavoisieriano foram definidos como substâncias simples. As mudanças conceituais introduzidas permitiram a compreensão da composição do ar atmosférico e da água, questões estratégicas para uma ampla sistematização da Química delineada por Lavoisier e concretizada com a apresentação de uma nova nomenclatura química (OKI, 2004, p. 35).

De acordo com Oki, tais mudanças conceituais foram importantes para ampliação da investigação da natureza de fenômenos que não estavam bem explicados pela teoria do flogístico.

Não encontramos no texto de Oki, trechos que contemplem as categorias 4 e 5 aqui estabelecidas.

Finalizamos assim nossa análise dos artigos. Como foi dito anteriormente, eles foram escritos por pioneiros e contemplam um ou outro aspecto do trabalho do químico francês. Do ponto de vista educacional, todos nos parecem bastante proveitosos e de boa qualidade.

A extensão com que cada artigo foi examinado aqui deveu-se mais à própria extensão e profundidade de cada autor. O fato de o artigo da Prof. Tosi ter merecido análise mais longa se deve à profundidade e a riqueza de detalhes com que a Prof. Tosi tratou do assunto. Enquanto Tosi destinou vinte e quatro páginas ao assunto, Filgueiras e Goldfarb e Ferraz destinaram apenas seis. Não se trata de super ou subvalorização de um ou outro trabalho mas, sem dúvida, uns, mais do que outros, trazem mais elementos passíveis de análise.

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente texto teve como principal objetivo analisar as concepções de autores que publicaram seus trabalhos sobre a vida e a obra de Lavoisier em periódicos brasileiros, buscando verificar se suas abordagens permitiam caracterizá-lo como revolucionário sob a ótica de Thomas Kuhn.

No que se refere às análises efetuadas, identificamos em todos os artigos a presença de elementos que caracterizam o trabalho de Lavoisier e seu grupo de pesquisa como revolucionário no sentido kuhniano. A leitura do conjunto dos textos fornece elementos suficientes para apoiar a tese kuhniana de que a obra de Lavoisier e seus colaboradores alteraram o status epistemológico da Química no século XVIII, principalmente no que se refere à abordagem metodológica de investigação.

Dos artigos analisados pudemos perceber que o texto da professora Lucia Tosi é o que discute mais profundamente e aponta inúmeros elementos na obra de Lavoisier que se aproximam da visão do filósofo Thomas Kuhn do que seja uma revolução científica. Nesse artigo encontramos fragmentos de texto que puderam ser analisados nas cinco categorias definidas a partir da leitura da mais importante obra de Kuhn, *A Estrutura das Revoluções Científicas*. O leitor que conhece a epistemologia de Kuhn, ao ler o artigo de Tosi, seria, sem sombra de dúvidas, tentado a dizer que o trabalho do químico francês se constitui numa Revolução Científica.

Ao ser apresentado ao trabalho de Danielle Fauque, o leitor também seria levado a crer que a obra de Lavoisier e seus colaboradores foi revolucionária no sentido kuhniano, principalmente no que se refere às categorias 01, 02 e 03 analisadas. Porém, analisando o texto com base nas categorias 04 e 05 percebemos que a autora se limita a uma abordagem superficial sobre as informações relativas à categoria 04, ou seja, o papel do *Traité Élémentaire de Chimie* e praticamente não discute sobre a conversão de novos adeptos da teoria.

O artigo de Alfonso-Goldfarb e Ferraz e o da professora Oki possuem informações que puderam ser analisados conforme as categorias 01, 02 e 03, mas não discutem, na

categoria 04, a importância do *Traité Élémentaire de Chimie* como instrumento que auxiliou na consolidação das ideias do químico francês e nem analisam o abandono da proposta flogistonista e conversão de novos adeptos à teoria, o que caracterizaria a aceitação da teoria lavoisieriana frente à comunidade científica da época (categoria 05). Especificamente sobre o texto de Oki, apesar de a sua proposta ser a de trazer à tona o trabalho de Kuhn e da sua análise epistemológica sobre trabalho de Lavoisier e seus colaboradores, sentimos falta de dados mais contundentes que possam ser analisados sobre a ótica do filósofo. A autora se limitou a apontar algumas características revolucionárias da obra de Lavoisier sem, no entanto trazer informações mais detalhadas que permitam o convencimento do leitor sobre o assunto.

Já no artigo do professor Filgueiras, pode-se fazer as mesmas considerações apenas no que se refere às análises das categorias 01 e 05. O texto de Filgueiras não se aprofunda na análise da obra de Lavoisier que se refere à primeira categoria analisada, pois a nosso ver, faltam informações mais detalhadas sobre a consciência que Lavoisier possuía de seu trabalho, também pela falta da discussão das anomalias, que na época, foram apontadas na teoria do flogístico. Em relação à categoria 05, Filgueiras não discute sobre a adesão da comunidade dos químicos às ideias de Lavoisier e nem como a teoria do flogístico foi perdendo *status* e deixando de ser utilizada nas explicações dos fenômenos que até então servia de fundamento. Para as demais categorias, as ideias presentes no artigo do professor Filgueiras permitem inferir que o trabalho de Lavoisier foi revolucionário no sentido kuhniano, especialmente ao que se refere à categoria 03.

Vale ressaltar que os artigos que foram analisados, são trabalhos pioneiros na área aqui no Brasil, e se constituem em fonte de consulta confiável para os interessados em conhecer e pesquisar esse período tão importante da história da química e tão discutido, principalmente no exterior.

Todas as obras analisadas contribuíram e ainda contribuem, de um modo ou de outro, como propagadoras no Brasil do trabalho de Lavoisier, constituindo-se em excelentes fontes de informação química, histórica e epistemológica acerca do que vem a ser talvez o período mais agudo de amadurecimento pelo qual tenha passado o pensamento químico ocidental. São trabalhos que, como já dissemos, constituem fonte de leitura e estudos para alunos dos cursos médios e superiores e que agora estão suportados por obras mais detalhadas e com novas visões daquele período da Química, trazendo novas visões da obra de Lavoisier, ampliando o leque de debates de assunto tão caro aos químicos.

Além da análise dos artigos com base em Thomas Kuhn, procuramos mostrar a importância de discussões de natureza histórico epistemológica para o ensino de ciências, em que, episódios da história da ciência são analisados com o auxílio da epistemologia da ciência. Mostramos que tal importância tem sido apontada por vários pesquisadores da área de ensino de ciências e especificamente da área de ensino de química. A utilização da proposta epistemológica de Thomas Kuhn como fundamentação para a análise se justificou pois, a obra desse filósofo é apontada como um importante marco na construção de uma imagem contemporânea de ciência onde tal empreendimento é analisado em seus aspectos, históricos, filosóficos e sociológicos. Dessa forma esperamos que o presente trabalho contribua para que professores e alunos de todos os níveis possam compreender o contexto do trabalho do químico francês e empreender discussões epistemológicas mais profundas, sobretudo com acadêmicos dos cursos de Ensino de Ciências que apresentam formação em Química.

Pareceu-nos assim oportuno trazer à luz uma análise que venha facilitar e esclarecer o trabalho de docentes e futuros docentes do ensino médio e superior, dos trabalhos de Lavoisier, esperando que esta se constitua em aliada na difícil tarefa de compreender e discutir sua obra junto aos nossos alunos.

## 8 REFERÊNCIAS

ALFONSO-GOLDFARB, A. M.; FERRAZ, M. H. M.; As possíveis origens da Química Moderna. **Revista Química Nova**. v. 16, n. 01, p. 63-38, 1993.

ARRUDA, S.M.; SILVA, M.R.; LABURU, C.E. Laboratório didático de física a partir de uma perspectiva kuhniana. **Investigações em Ensino de Ciências** v. 6, n. 1, 2001.

BELL, Madison Smartt; **Lavoisier no Ano Um**: O nascimento de uma nova ciência numa era de revolução. São Paulo: Companhia das Letras, 2007.

BELTRAN, M. H. R.; ALFONSO-GOLDFARB, A. M. ; FERRAZ, Márcia H. M.. A historiografia contemporânea e as ciências da matéria: uma longa rota cheia de percalços. In: Ana Maria Alfonso-Goldfarb; Maria Helena Roxo Beltran. (Org.). **Escrevendo a História da Ciência: tendências, propostas e discussões historiográficas**. São Paulo: Educ/Fapesp/Livraria da Física, v. , p. 49-73, 2004.

BELTRAN, M. H R.; SAITO, F. E TRINDADE, L. S. P.; **História da Ciência**: tópicos atuais; São Paulo: CAPES/LF Editora, 2011.

CACHAPUZ et al. **A necessária renovação do ensino das ciências**. São Paulo: Cortez, 2005.

BENSAUDE-VINCENT, B.; STENGERS, I.; **História da Química**, Editora Piaget: Lisboa, 1992.

CAMPOS, Carlos. CACHAPUZ, Antônio. Imagens de ciência em manuais de química portugueses. **Química Nova na Escola**. n. 6, novembro, p.23-29, 1997.

CHAGAS, A. P.; AIROLDI, C. Lavoisier, Hess e os primórdios da termoquímica. **Química Nova**, v. 04, n. 03, pp. 95-96, 1981.

CHASSOT, Attico. **Alfabetização científica**: Questões e desafios para a educação. 3ª. Ed. Ijuí: Ed.Unijuí, 2003.

\_\_\_\_\_. Inserindo a História da Ciência no fazer Educação com a Ciência. In CHASSOT, Attico & OLIVEIRA, Renato José. (Orgs.) **Ciência, ética e cultura na educação**. São Leopoldo : Editora Unisinos, 1998.

CONANT, J. **Harvard Case Histories in Experimental Science**. v.1. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1957.

DONOVAN, A. Lavoisier and the Origins of Modern Chemistry. **Osiris**, vol. 4, p. 214-231, 1988.

FAUQUE, D.; O Papel Iniciador de Lavoisier. **Química Nova**, vol. 18, p. 567-573, 1995.

\_\_\_\_\_. **Lavoisier**: la naissance de la chimie moderne; Paris: Vuibert, 2003.

FERNÁNDEZ, Isabel; GIL, Daniel; CARRASCOSA, Jaime; CACHAPUZ, António; PRAIA, João. Visiones deformadas de la ciencia transmitidas por La enseñanza. **Enseñanza de las Ciencias**. v. 20, n. 03, p. 477-488, 2002.

FERRAZ, Marcia Helena Mendes. **O Processo de Transformação da Teoria do Flogístico no Século XVIII**. São Paulo: PUC, 1991. Dissertação (Mestrado em História Social).

FILGEIRAS, Carlos A. L. **Lavoisier** – o estabelecimento da química moderna. São Paulo: Editora Odysseus, 2007.

\_\_\_\_\_. A revolução Química de Lavoisier: uma verdadeira revolução? **Química Nova**, vol. 2, p. 219-204, 1995.

FOUREZ, Gérard. **A construção das ciências**: introdução à filosofia e à ética das ciências. São Paulo: Unesp, 1995.

GALIAZZI, M.C.; MORAES, R. Análise Textual Discursiva: processo reconstrutivo de múltiplas faces. **Ciência & Educação**, v. 12, n. 1, p. 117-128, 2006.

GIL-PEREZ, D. Contribución de la historia y de la filosofía de las ciencias al desarrollo de um modelo de enseñanza/aprendizaje como investigación. **Enseñanza de las Ciencias**. v. 11, n. 02, p.197-212, 1993.

GIL-PÉREZ, Daniel; FERNÁNDEZ-MONTORO, Isabel; CARRASCOSA-ALÍS, Jaime; CACHAPUZ, António; PRAIA, João. Para uma imagem não deformada do trabalho científico. **Ciência& Educação**. v. 7, n.2, p. 125–153, 2001.

GIL-PÉREZ, D. e VILCHES, A. Imersion em lá cultura científica para la tomada de decisiones? Necesidade o mito? **Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciéncias**. v.2 , n. 3, p. 302-329, 2005.

GONZÁLEZ, M. H.; PÉREZ, J. L. P. Un currículo para el estudio de la historia de la ciência en secundaria (la experiencia del seminario de Orotava de Historia de la Ciencia). **Enseñanza de las ciéncias**. v. 18, n.1, pp.105-112, 2000.

GOUGH, J. B. Lavoisier and the Fulfillment of the Stahijan Revolution - **Osiris**, v. 4, p. 15-33, 1988.

KUHN, Thomas. **A estrutura das Revoluções Científicas**. São Paulo: Perspectiva, 2007.

\_\_\_\_\_. A função do dogma na investigação científica. In: DEUS, Jorge Dias de. (Org.). **A crítica da ciência: sociologia e ideologia da ciência**. 2. ed. Rio de Janeiro : Zahar, 1979a.

\_\_\_\_\_. **A tensão Essencial**. Lisboa: Edições 70, 2009.

\_\_\_\_\_. **O Caminho desde a Estrutura**: ensaios filosóficos, 1970-1993, com uma entrevista autobiográfica. São Paulo: Ed. UNESP, 2006.

\_\_\_\_\_. Reflexões sobre meus críticos. In: LAKATOS I., MUSGRAVE A. (orgs). **A Crítica e o Desenvolvimento do Conhecimento**. São Paulo: CULTRIX/EDUSP, p. 285-343, 1979b.

LAVOISIER, A. L. **Tratado Elementar de Química**. São Paulo: Madras, 2007.

\_\_\_\_\_. **Elements of Chemistry in a new systematic order, containing all the modern discoveries**; Nova Iorque: Dover, 1965.

LIMA, L. C. A formação de professores de ciéncias: uma abordagem epistemológica. Dissertação (Mestrado em Educação – Educação e Ciência) – Curso de Pós-Graduação em Educação, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 1999.

LUFFIEGO, M. et al. Epistemologia, caos y enseñanza de las ciencias. **Ensenanza de las Ciencias**. v. 12, n. 1, p. 89-96, 1994.

MAAR, Juergen Heinrich. **História da Química** – Primeira Parte: dos primórdios a Lavoisier 2. Ed. Florianópolis: Conceito Editorial, 2008.

MARTINS, Roberto de Andrade. Introdução: a história das ciências e seus usos na educação. In: SILVA, C.C. (Org.) **Estudos de história e filosofia das ciências: subsídios para aplicação no ensino**. São Paulo: Editora Livraria da Física, p. xvii-xxx 2006,

\_\_\_\_\_. Sobre O Papel da História da Ciência No Ensino. **Boletim da Sociedade Brasileira de História da Ciência**. Rio de Janeiro, RJ, n. 9, p. 3-5, 1990.

\_\_\_\_\_. Os estudos de Joseph Priestley sobre os diversos tipos de “ares” e os seres vivos. **Filosofia e História da Biologia**, v. 4, p. 167-208, 2009.

MARTINS, L. A. P.; MARTINS, Roberto de Andrade . Lavoisier e A Conservação da Massa. **Química Nova**, São Paulo, SP, v. 16, n. 3, p. 245-256, 1993.

MASTERMAN, M. A Natureza de Um Paradigma. In: LAKATOS I., MUSGRAVE A. (orgs). **A Crítica e o Desenvolvimento do Conhecimento**. São Paulo: CULTRIX/EDUSP, p. 72-108, 1979.

MATTHEWS, M. R. “History, Philosophy and Science Teaching: The Present Rapprochement”. **Science & Education**, v.1 n. 1, 11-47. Traduzido pelo PROLICEN-UFBa e publicado no Caderno Catarinense do Ensino de Física, v. 12, n. 3, p. 164-214, 1995.

MCEVOY, J. G. Continuity and Discontinuity in the Chemical Revolution. **Osiris**, vol. 4, p. 195-213, 1988.

MORAES, R. Uma tempestade de luz: a compreensão possibilitada pela análise textual discursiva. **Ciência & Educação**, v.9 n.2, p.191-211, 2003.

\_\_\_\_\_. GALIAZZI, M. C. Análise Textual Discursiva. Ijuí:UNIJUÍ, 2007.

OKI, Maria da C. M. Paradigmas, Crises e Revoluções: A História da Química na Perspectiva Kuhniana. **Química Nova na Escola**, n. 20, p. 32-37, 2004.

OKI, M. C. M. ; MORADILLO, E. F. . O Ensino de História da Química: Contribuindo Para a Compreensão da Natureza da Ciência. **Ciência e Educação (UNESP)**, v. 14, n.1, p. 67-88, 2008.

PAULA, Helder de Figueiredo. **A ciência escolar como instrumento para a compreensão da atividade científica**. Tese de doutorado no programa de pós-graduação em educação FAE-UFMG. Belo Horizonte, 2004.

PAIXÃO, F.; CACHAPUZ, A. Mudança na prática de ensino da Química pela formação dos professores em História e Filosofia das Ciências. **Química Nova na Escola**, n. 18, p. 31-36, 2003.

PERRIN, C. E. Research Traditions, Lavoisier and the Chemical Revolution", **Osiris**, vol. 4, p. 53-81, 1988.

PERRIN, C. E. Document, text and myth: Lavoisier's crucial year revisited. **The British Journal for the History of Science**, vol. 22, p. 3-25, 1989.

SICCA, N. A. L. ; GONCALVES, P. W. . História da Química e da geologia: Joseph Black e James Hutton como referências para educação em ciências. **Química Nova**, São Paulo, v. 25, n. 4, p. 689-695, 2002.

SILVA. C.R.; GOBBI, B.C.; SIMÃO, A. A. O Uso da Análise de Conteúdo como uma Ferramenta para a Pesquisa Qualitativa: descrição e aplicação do método. **Organizações Rurais e Agroindustriais**, Lavras, v. 07, n.1, p. 70-81, 2005.

SILVA, V. H. M. ; SILVEIRA, H. E. ; SILVA, A. T. C. . O Lavoisier dos Livros Didáticos: A (des)construção de um mito na química. In: **Encontro Centro-Oeste de debates sobre o Ensino de Química, 2009, Itumbiara - GO**. Disponível em: <<http://web.ulbraitumbiara.com.br/ecodeq/trabalhos/ED/ED34.pdf>>. Acesso em 10 de julho de 2010.

SILVEIRA, H. E. ; PINTO NETO, P. C.. Contribuições da história da ciência para formação docente e educação científica: o que dizem os artigos sobre Lavoisier no periódico Química Nova de 1978 a 2004.. In: **VI Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, 2007, Florianópolis**. Anais do VI ENPEC. Belo Horizonte: UFMG, 2007.

THAGARD, Paul. A estrutura Conceitual da Revolução Química. **Princípios**, vol. 14, p. 265-303, 2007.

TOSI, Lúcia. Lavoisier: Uma revolução na Química. **Química Nova**, vol. 12, p. 33-56, 1989.

VIDAL, P. H. O. ; CHELONI, F. ; PORTO, P. A. . O Lavoisier que não está presente nos livros didáticos. **Química Nova na Escola**, v. 26, p. 29-32, 2007.

## ANEXO A

TOSI, Lúcia. Lavoisier: Uma revolução na Química. **Química Nova**, vol. 12, p. 33-56, 1989.

## DESCRIÇÃO DO PROGRAMA

O programa tem seiscentos comandos Fortran<sup>4</sup>, onze subrotinas e extensão total de 30 k bytes. Utiliza a técnica de provocar as respectivas extinções sistemáticas para cada elemento de simetria translacional adicionado no arquivo.

## CONCLUSÃO

O estudante aprenderá a utilizar o simulador numa sequência auto instrutiva e a cada oportunidade conveniente poderá interromper a operação. O problema original pode ser reiniciado com os mesmos dados originais. A título de curiosidade incluíram-se também os elementos de simetria existentes em outros sistemas cristalinos.

A listagem do programa com exemplo de arquivo de entrada será enviada à pessoa interessada ou gravado em disquete de 5 e 1/4 fornecido pelo solicitante.

## AGRADECIMENTO

O autor agradece ao PNUD pelo financiamento, projeto BRA 82/23.

Os agradecimentos são extensivos também ao pessoal do CPD-UFV pela assistência fornecida.

## BIBLIOGRAFIA

- <sup>1</sup> Stout, H.G.; Jensen, L.H.; "X-ray Structure Determination", The Macmillan Company, London (1972).
- <sup>2</sup> Buerger, M.J.; "The Precession Method in X-ray Crystallography", John Wiley and Sons Inc., New York (1964).
- <sup>3</sup> Betejtin, A.; "Curso de Mineralogia", Mir, Moscou (1977).
- <sup>4</sup> Hehl, M.R.; "Sistema de Programação Fortran IV G-H", Mc. Graw-Hill do Brasil, São Paulo (1979).

## HISTÓRIA DA QUÍMICA

---

### LAVOISIER: UMA REVOLUÇÃO NA QUÍMICA

Lúcia Tosi

Departamento de Química - U.F.M.G.; 30161 - Belo Horizonte (MG)

(Recebido em 4/8/88)

## ABSTRACT

Our aim, in writing this essay, is to emphasize Lavoisier's major role in the emergence of a new paradigm in chemistry, as a contribution to the bicentennial celebration of his *Traité Élémentaire de Chimie* in March 1989. A succinct biography is presented followed by a description of his most significant work, focusing his awareness about the confusion inherent to the phlogiston theory and the elaboration of his conceptual approach on combustion. Starting from his experiment on the nature of water we follow the course of Lavoisier's work and thought through his research on the combustion of phosphorus and sulphur, the reduction of calces to metal, the discovery of oxygen, and the numerous experiments on the synthesis and decomposition of water. Other aspects of Lavoisier's scientific endeavour related to the theory of combustion are mentioned, namely his work on calorimetry and respiration, on elemental analysis of organic matter as well as his theories on acids and caloric. The major contribution of the *Traité Élémentaire de Chimie* to define the problems and methods of chemistry and to lay the foundations of its practice is expounded. The paper closes with the description of Lavoisier's last years, his battle to save the Académie des Sciences, and his condemnation to death as a *fermier général*.

## RESUMO

Este ensaio é uma homenagem à memória de Lavoisier na ocasião do segundo centenário da publicação de seu *Traité Élémentaire de Chimie* em março de 1989. O nosso objetivo é o de salientar a sua contribuição fundamental no surgimento de um novo paradigma na química. O ensaio começa com uma biografia sucinta, seguida pela descrição de suas contribuições mas significativas dando relevância à sua percepção das dificuldades da teoria do flogisto e mostrando a formação do seu esquema conceitual sobre a combustão. Começando com sua experiência sobre a natureza da água acompanhamos o seu trabalho experimental e o seu pensamento através das suas pesquisas sobre a combustão do fósforo e do enxofre, a redução das cales ao metal, a descoberta do oxigênio e as numerosas experiências sobre a síntese e decomposição da água. Mencionamos, também, os outros trabalhos de Lavoisier relacionados com a teoria da combustão: calorimetria e respiração, análise elementar de substâncias orgânicas e as suas teorias sobre os ácidos e o calórico. Além disso, mostramos a importante função do *Traité* ao estabelecer os fundamentos da química e ao definir a sua metodologia. O artigo termina com uma descrição dos últimos anos da vida de Lavoisier, sua defesa da

Academia e a sua condenação a morte como membro da "ferme générale".

A França se prepara para comemorar, no próximo ano\*, o segundo centenário da Revolução Francesa, processo longo e muito dramático que começou em 14 de julho de 1789 e acabou com o golpe do 18 Brumário do ano VII (09 de novembro de 1799), com o qual Napoleão obteve plenos poderes. A burguesia afastava assim a ameaça de anarquia e consolidava a sua força. A transformação social que essa revolução provocou foi a mais violenta, a mais profunda de quantas ocorreram até então. Acabou com a hegemonia da aristocracia e elevou ao poder uma nova classe, a burguesia, cujo ímpeto revolucionário e cujos valores culturais marcariam profundamente a sociedade européia em seu conjunto. A violência do choque social foi extraordinária e a luta pelo poder entre grupos rivais, que defendiam concepções conflitantes, teve como consequência a instauração do *Terror*, período durante o qual muitas pessoas foram condenadas à guilhotina, sob a acusação de serem contra-revolucionárias e de pactuar com as potências estrangeiras.

Foi também nesse ano de 1789 que, no mês de março, apareceu a primeira edição do *Traité Élémentaire de Chimie*, de Lavoisier. No dizer de Thomas Kuhn esse livro, como a *Física* de Aristóteles, o *Almagesto* de Ptolomeu, os *Principia* e a *Ótica* de Newton, a *Eletricidade* de Franklin e a *Geologia* de Lyell, serviria, por muito tempo, para definir implicitamente os problemas e métodos legítimos de um campo de investigação para as gerações sucessivas de pesquisadores. Se o *Traité Élémentaire de Chimie* pôde desempenhar esse papel durante muito tempo foi por duas razões essenciais: "o seu empreendimento era suficientemente inaudito para atrair um grupo duradouro de adeptos e afastá-los de outras formas concorrentes de atividade científica. Simultaneamente, esse empreendimento era suficientemente aberto para deixar todo tipo de problema para ser resolvido pelo grupo redefinido de praticantes".<sup>1</sup> Ambas características definem o que Kuhn chama de *paradigma*, com base no qual se desenvolve a ciência normal. Toda vez que tem lugar uma revolução na ciência, há uma mudança de *paradigma*.

O *Traité Élémentaire de Chimie* representava na verdade, a conclusão, o fim de um empreendimento que Lavoisier realizara de maneira sistemática e persistente durante mais de quinze anos e que provocaria, como ele previra, uma verdadeira revolução na química.

## BIOGRAFIA DE LAVOISIER

Antoine Laurent Lavoisier nasceu na segunda-feira, dia 26 de agosto de 1743, em Paris. Seu pai, Jean Antoine, advogado, era procurador no Parlamento dessa cidade; sua mãe, Emilie Punctis, faleceu quando Lavoisier contava 5 anos. Tinha uma irmã, dois anos mais jovem do que ele, que morreu com 15 anos. Na morte da mãe, seu pai foi viver com a sogra, Mme. Punctis e a tia materna, Constance, que proporcionaram ao jovem Lavoisier carinhos e cuidados durante a infância e a adolescência.

\* O presente artigo foi escrito em 1988 (Nota dos Editores).

Tanto a mãe como o pai pertenciam a famílias de posses, de *grands bourgeois*, particularmente a primeira, que era muito rica, de forma que Lavoisier recebeu além de afeto, uma educação esmerada. Estudou no College Mazarin, famoso na época e, depois de finalizar brilhantemente seus estudos nessa instituição, entrou na universidade licenciando-se em direito em 1764.

Durante a sua vida universitária demonstrou, sobretudo, interesse pelas ciências, seguindo cursos de professores renomados: o botânico Bernard de Jussieu (1699-1777), o matemático Nicholas Louis de Lacleille (1713-1762), o químico Guillaume François Rouelle (1703-1770) e o geólogo Jean-Etienne Guettard (1715-1786), este último considerado um dos fundadores da geologia moderna. Outra figura relevante dessa época, que contribuiu notavelmente à sua formação, foi Etienne Bonnot de Marly de Condillac (1715-1780) cujos princípios de lógica Lavoisier adotou, valendo-se deles na construção do seu tratado.<sup>2</sup>

A influência preponderante na sua formação científica, nos primeiros anos da carreira, foi, no entanto, a que exerceu o famoso Guettard, que frequentava o salão de Mme. Punctis, a avó de Lavoisier, o qual devia sua fama às explorações geológicas do território francês. Lavoisier acompanhou-o em muitas dessas excursões, sendo especialmente notável uma efetuada em 1767 (Lavoisier tinha 24 anos) que se prolongou de junho até novembro. Nessas viagens Lavoisier efetuava todos os dias as observações meteorológicas, prática que continuou ininterruptamente durante toda a sua vida. Interessava-se também por todas as singularidades naturais, agrícolas ou industriais que encontrava e colecionava rochas e minerais.<sup>3</sup>

Em 27 de fevereiro de 1765 (com 22 anos) apresentou à Academia Real de Ciências uma memória sobre as diferentes espécies de gesso. Em 09 de abril de 1766 obteve uma medalha de ouro por uma "Memória sobre os diferentes meios que podem ser empregados para se iluminar uma cidade" apresentada em um concurso proposto pela Academia. Conta-se que Lavoisier fez cobrir de papel preto um quarto, no qual permaneceu durante seis semanas, para fazer seus olhos mais sensíveis à luz das diferentes lâmpadas. Contudo, o seu trabalho, não obteve o primeiro prêmio, mas foi muito apreciado.<sup>4</sup>

Em 1768 os membros da Academia propõem o nome de Lavoisier como cabeça de lista para um posto deixado vago com a morte do químico Baron. O Rei escolhe o mineralogista Jars, mas, tendo em conta os desejos dos acadêmicos, cria, excepcionalmente, um posto de acadêmico adjunto para Lavoisier até que surgisse um posto vago. Nesta proposta de Lavoisier como cabeça de lista, a influência de Guettard foi decisiva: os candidatos eram geralmente homens maduros, com um passado científico valioso ou que tivessem contribuído para o bem do Estado com uma obra prática. Jars tinha 36 anos e Lavoisier 24 quando foram propostos. Os dois novos acadêmicos foram empossados em 01 de junho de 1768. Tendo Jars morrido no ano seguinte, ficou regularizada a situação do jovem debutante.<sup>5</sup> Toda a vida científica de Lavoisier está estreitamente associada à da Academia. Ligar-se-ia a ela com a seriedade, o entusiasmo e a dedicação que ele punha em tudo aquilo

que empreendia. Seria um dos seus maiores animadores e defensores até a supressão da mesma pela Revolução.

Nesse mesmo ano, em março de 1768, Lavoisier passa a fazer parte da *Ferme Générale*, também na qualidade de adjunto. Naquela época o Estado concedia a uma companhia privada, os *Fermiers Généraux*, a arrecadação dos impostos indiretos em troca de uma soma fixa que o concessionário devia pagar ao governo. O Estado assegurava dessa maneira a sua receita, e os *fermiers*, como compensação da máquina administrativa que deviam controlar, além dos seus gastos, obtinham apreciáveis lucros que o povo supunha serem quantiosos. Os *fermiers*, "esses sanguessugas públicos", em número de 60 em 1768, pagavam ao Estado 90 milhões de libras e constituíam, na verdade, uma união de financistas e, às vezes, especuladores. A honestidade duvidosa de alguns fez parecer ainda mais odiosa a companhia.<sup>6</sup> No mês de março de 1768, Lavoisier compra um terço da carga do *fermier général* Baudon por 340.000 libras.<sup>7</sup> O pai dele endossa 180.000 libras por conta do seu filho, dos quais 5% de juros são pagos antecipadamente.

Essa decisão, que tão dramáticas consequências teria para Lavoisier, causou muita surpresa, para não dizer escândalo, entre os acadêmicos. Conta-se que um deles, o geômetra Fontaine, disse, para acalmar a emoção dos seus pares: "Se ele é mais rico, os jantares que oferecerá serão melhores". O jovem Lavoisier parecia se preparar para uma vida puramente intelectual, mas ao se lançar nas finanças, demonstrava ambições menos desinteressadas. Para alguns, essa decisão se enquadrava perfeitamente dentro da decadência de valores morais própria desse século. Como dizia um comentarista da época: "Na minha juventude, os baixos empregos da finança eram recompensa para lacaios. Hoje encontram-se nela mais nobres do que plebeus". Esse mesmo comentarista observava que na época da regência (no começo do século XVIII) a ambição de um *fermier général* era a de fazer do seu filho conselheiro no Parlamento, mas o pai de Lavoisier, que era membro do Parlamento, não pôs nenhum obstáculo, pelo contrário, à entrada de seu filho nas finanças.<sup>8</sup>

O trabalho de Lavoisier nessa companhia era enorme. Muitas vezes devia se ausentar de Paris durante vários meses. Mas ele sempre fez a sua tarefa com a dedicação, seriedade e esmero que o caracterizavam. E isso sem jamais descuidar as suas pesquisas ou as suas ocupações na Academia, que sempre solicitava de seus membros trabalhos específicos.

A incorporação à *Ferme*, por outro lado, o conduziu ao casamento. No dia 16 de dezembro de 1771 (com 28 anos) Lavoisier casou-se com Marie-Anne Pierrette Paulze, filha de outro *fermier*, a qual tinha na ocasião 14 anos. Foi um casamento negociado pelo pai da moça para livrá-la de outro, imposto pelo influente e poderoso tio dela, o *contrôleur général* (inspetor geral das finanças) Terray. Esse queria casá-la com um homem bem mais velho do que ela, conde, figura pouco recomendável e sem grande fortuna. Lavoisier era um excelente partido, jovem, rico, cheio de qualidades intelectuais, de rigor e honestidade. A noiva levava 80.000 libras de dote e Lavoisier 170.000 da parte da mãe e 250.000 do pai.<sup>8</sup>

Pelo que se sabe, o casal foi muito feliz. Marie-Anne completou a sua educação depois do casamento e, como não tiveram filhos, converteu-se na colaboradora de seu marido, acompanhando-o no seu trabalho. Foi ela a tradutora de importantes obras de químicos britânicos da época. Foi ela também a autora dos esplêndidos desenhos que ilustraram o *Traité Élémentaire de Chimie*. Madame Lavoisier era uma perfeita representante dessas mulheres do século XVIII que aunavam o amor pelo saber, o entusiasmo pelas novas idéias a um refinado sendo de sociabilidade. Até o fim da sua vida o seu salão foi frequentado pelas personalidades culturais mais conhecidas e ilustres de sua geração.<sup>9</sup>

Em agosto de 1772, Lavoisier foi nomeado associado na classe de química na Academia.<sup>10</sup> Em 1775 ingressa na *Régie des poudres et salpêtres* (Administração de pólvora e salitre). Nessa época a pólvora francesa era de má qualidade e, em período de guerra, insuficiente. Diz-se que um dos fatores que conduziram a França a acabar com a *Guerra dos Sete Anos*<sup>11</sup> e a aceitar condições desfavoráveis no tratado de paz, foi a falta de pólvora do exército francês. Lavoisier foi encarregado de apresentar um informe sobre os problemas relativos ao salitre e a pólvora, o que ele realizou com a sua acostumada perícia. Depois, em 1776, foi nomeado *régisseur* (administrador) e foi morar no Arsenal, onde permaneceu até 1791. Ali instalou o seu famoso laboratório que continha os aparelhos mais precisos da época. Ali se reuniam os sábios franceses e os estrangeiros de passagem por Paris, para presenciar as históricas experiências que ele fazia com os seus colaboradores. Nesse laboratório, estiveram famosos cientistas da época como Priestley, Watt e Blagden da Inglaterra, Ingenhousz da Holanda, Franklin dos EE.UU., Felice Fontana da Itália, etc.

A atuação de Lavoisier na *Régie des Poudres* foi, como sempre, de grande eficácia. Criaram-se nitreiras e a preparação cuidadosa e científica da pólvora fez desta uma das melhores da Europa, além de permitir o seu armazenamento em grandes quantidades. No dizer de Aldo Mieli: "Foi a boa qualidade dessa pólvora e a sua abundância que permitiram a heróica e vitoriosa resistência contra as nações reacionárias unidas, que esperavam derrotar a França Republicana, e que fez possível as conquistas realizadas em toda Europa pelos franceses, portadores daqueles princípios de liberdade, fraternidade e igualdade, que forjaram os espíritos do século XIX e, que nesta metade do século XX, os caudilhos totalitários propuseram-se, em vão, destruir".<sup>12</sup>

Devem-se a Lavoisier as primeiras tentativas de preparar pólvoras com clorato de potássio, sintetizado nessa época por Berthollet. Em 1788, houve uma explosão na fábrica de Essones, na qual morreram duas pessoas (uma delas, o diretor do estabelecimento). Lavoisier, sua esposa e Berthollet, que assistiam às experiências, não pereceram por terem se trasladado a outro lugar da fábrica pouco antes da explosão.<sup>12</sup>

Além disso e, como se fosse pouco, ocupava-se da superintendência sobre os direitos de entrada em Paris. O contrabando era enorme nessa época e Lavoisier propôs construir um muro ao redor da cidade. Depois de alguma demora, o projeto foi aprovado e a execução foi encomendada a um arquiteto, Ledoux, que gastou mais de

30 milhões de libras nessa obra. Houve uma grande indignação popular porque, se dizia, o muro tirava a Paris a possibilidade de respirar ar puro.

Circulava entre a população o jogo de palavras:

*"Le mur murant Paris rend Paris murmurant."*<sup>13</sup>

e o quarteto:

*"Pour augmenter son numéraire*

*Et raccourcir notre horizon*

*La ferme a jugé nécessaire*

*De nous mettre tous em prison."*<sup>14</sup>

As lamentações e os impropérios não se limitavam à *Ferme*, havia também ataques diretos a Lavoisier. Em um opúsculo anônimo de 1787, pode-se ler: "Todo o mundo afirma que M. Lavoisier, da Academia de Ciências, é o patriota benfeitor a quem se deve a engenhosa e saudável invenção de encarcerar a capital dos franceses. Depois da morte deste acadêmico o colega encarregado do elogio do sábio deverá suprimir caritativamente este traço da sua história. A *Ferme* pode mandar fazer uma estátua sobre os muros que ele inventou, mas a Academia deveria se envergonhar de seu confrade". Contam que um marechal da França (o duque de Nivernais) a quem se perguntou a sua opinião sobre essa muralha respondeu: "Minha opinião é que o autor do projeto seja enforcado".<sup>15</sup>

Em outra ocasião, já em pleno período revolucionário (em 1789) Lavoisier fez trasladar certa quantidade de pólvora fora de Paris. Foi acusado de querer privar o povo de armas defensivas e houve começo de motim, mas logo tudo ficou esclarecido. O incidente, contudo, não contribuiu para a boa reputação de Lavoisier.

## A OBRA CIENTÍFICA DE LAVOISIER

### *Primeiros trabalhos*

Como dissemos acima, Lavoisier interessou-se pela química desde o fim dos seus estudos. Nessa época a física experimental tinha atingido grande desenvolvimento e gozava de grande popularidade entre a classe culta. Os laboratórios e os cursos de física e química estavam na moda e todos aqueles que tinham meios possuíam alguns aparelhos de demonstração e de experiência. Dentro desse ambiente geral de gosto e interesse pela ciência, Lavoisier tendo finalizado seus estudos de advocacia, e não tendo defendido senão uma causa, voltou-se para as ciências da natureza.

Seus primeiros estudos de geologia e mineralogia levaram-no a fazer várias análises químicas. Em 1766 faz algumas reflexões sobre a natureza dos quatro elementos de Aristóteles, e em 1768 a experiência do aquecimento da água em um pelicano<sup>16</sup> com o fim de verificar a suposta transformação da água em terra, hipótese sugerida pela experiência de Van Helmont (1577-1644).

Este autor tinha conservado durante cinco anos uma planta em um vaso com terra previamente dessecada em um forno, à qual só tinha dado água de chuva ou água destilada e tinha comprovado que o peso da terra, de 200 libras, tinha diminuído só de duas onças<sup>17</sup> e a árvore que começou com um rebento, pesava 169 libras, isso sem contar as folhas perdidas nos outonos. Deduziu então que a madeira, córtex e raízes da planta provinham somente de transformação da água. Daí a convicção dos químicos de que a água transformava-se em terra, convicção essa corroborada quando se fervia durante muitos dias água destilada em um recipiente de vidro e obtinha-se um resíduo sólido no fundo do mesmo.

Para sua experiência, Lavoisier utilizou uma balança de grande precisão e sensibilidade que tinha feito construir por Chemin, ensaiador da Casa da Moeda<sup>18</sup>, que dava um erro menor que um grão para um peso de 5 a 6 libras.<sup>19</sup> Começou a experiência em outubro de 1768 e manteve a temperatura do banho constante ( $\cong 70^\circ$  Réaumur)<sup>20</sup> durante 101 dias. Depois desse período, pesando o pelicano, comprovou que não havia variação de peso, o que demonstrava que (contrariamente à crença da época) a matéria do fogo não tinha penetrado no recipiente. Destilando a água observou que o resíduo terroso representava a perda de peso do pelicano.<sup>21</sup> Nesse primeiro trabalho, Lavoisier mostra bem claramente quais as características de sua mente e da sua obra científica. Concentra a sua atenção nas correlações ponderais e adota como critério fundamental o princípio que depois seria chamado de conservação da massa. Contudo, esse princípio, que já servia de base implicitamente nas investigações de outros cientistas (Black e Cavendish) só seria enunciado explicitamente por Lavoisier no seu *Traité de Chimie*. Quando trata da fermentação vinosa, ele afirma: "Porque nada se cria, nem nas operações da arte nem nas da natureza e pode-se estabelecer, em princípio, que, em toda operação há uma quantidade igual de matéria antes e depois da operação..."<sup>22</sup>

Com data de 20 de fevereiro de 1772, já dominando o seu ofício de experimentador e conhecendo, pelo que parece, a produção mais importante da época, Lavoisier deixa assentado nos seus registros qual haveria de ser seu programa de trabalho:

"Antes de começar a longa série de experiências que me proponho fazer sobre o fluido elástico que se desprende dos corpos, seja pela fermentação, seja por destilação, ou pelas diversas combinações, assim como (sobre) o ar absorvido na combustão de um grande número de substâncias, creio que devo formular aqui algumas reflexões por escrito com o objetivo de traçar para mim mesmo o plano que devo seguir.

É verdade que, em um grande número de circunstâncias, desprende-se dos corpos um fluido elástico, mas existem (vários) sistemas sobre a sua natureza. Alguns, como Hales e seus discípulos, pensaram que era o ar mesmo, o da atmosfera, o que se combina com os corpos, seja por obra da vegetação ou da economia animal, seja pelas operações da arte. Ele não pensou que esse fluido podia ser diferente do que respiramos com a dife-

rença de estar mais carregado de matérias nocivas ou benéficas, segundo a natureza dos corpos dos quais provém. Alguns dos físicos que sucederam a Hales notaram diferenças tão grandes entre o ar despreendido dos corpos e o que respiramos que pensaram que era uma substância diferente e o chamaram de ar fixo.

Um terceiro grupo de físicos pensou que a matéria elástica que se desprende dos corpos era diferente segundo as substâncias das quais havia sido extraída e chegou a conclusão que não era senão uma emanção das partes mais sutis dos corpos, das quais podiam distinguir-se uma infinidade de espécies.

Um quarto grupo de físicos...

Por mais numerosas que sejam as experiências de Hales, Black, Magbride (sic), Jacquin, Craz, Pristley (sic) e Smeth (sic) sobre este tema, não são, contudo, suficientemente numerosas para formar um corpo de teoria completo. Constantemente, o ar fixo apresenta fenômenos muito diferentes do ar ordinário. Com efeito, aquele mata os animais que o respiram, enquanto este é essencialmente necessário para a sua conservação. Combina-se com grande facilidade com todos os corpos, enquanto que o ar da atmosfera, nas mesmas circunstâncias, combina-se com dificuldade e quiçá não se combina em absoluto. Estas diferenças serão desenvolvidas em toda a sua extensão quando eu escrever a história de tudo o que foi feito sobre o ar que se desprende dos corpos e que se fixa neles. A importância do assunto obrigou-me a retomar todo esse trabalho que me pareceu feito para ocasionar uma revolução na física e na química. Pensei não dever considerar tudo o que foi feito antes de mim senão como indicações; propus-me repetir tudo com novas precauções, com o objetivo de ligar o que já conhecemos sobre o ar que se fixa, ou que se desprende dos corpos, com os outros conhecimentos adquiridos, e formar uma teoria. Os trabalhos dos diferentes autores que acabo de citar, considerados desse ponto de vista, apresentaram-me porções separadas de uma grande cadeia, da qual eles uniram alguns elos, mas falta ainda realizar uma imensa série de experiências para estabelecer uma continuidade. Um ponto importante, descurado pela maioria desses autores, é o de atentar para a origem desse ar que se encontra em um grande número de corpos. Eles poderiam ter aprendido com Hales que uma das principais operações da economia animal e vegetal consiste em fixar o ar, em combiná-lo com a água, o fogo e a terra, e em formar todos os (corpos) combinados que conhecemos. Poderiam ter visto ainda que o fluido elástico que sai das combinações dos ácidos, seja com os álcalis seja com qualquer outra substância, provém também originariamente da atmosfera. De tudo isso teriam podido deduzir que esta substância é o ar mesmo, combinado com alguma parte valátil que emana dos corpos, ou, pelo menos, que é uma substância extraída do ar da atmosfera. Esse modo de considerar o meu tema fez-me sentir a necessidade de repetir primeiramente e de multiplicar as experiências que absorvem ar, para que, conhecendo a origem dessa subs-

tância, possa seguir seus efeitos nas distintas combinações.

As operações mediante as quais pode-se chegar a fixar o ar são a vegetação, a respiração dos animais, a combustão, em algumas circunstâncias a calcinação e, finalmente, algumas combinações químicas. É por essas experiências que eu pensei começar".<sup>23</sup>

Esta linguagem, como observa Berthelot, lembra a de Descartes no Discurso do Método ao tentar a reforma da filosofia. Lavoisier procurava, como vimos, a revolução na química e previa desde o começo a importância do seu empreendimento.

A data de 1772 tem sido contestada porque o registro de laboratório prossegue com experiências realizadas em 1773. Supõe-se que houve erro, como acontece habitualmente no começo do ano. Contudo, Lavoisier fez vários trabalhos de calcinação e combustão em 1772 e nos mês de novembro ele já tinha a certeza de que o fósforo e o enxofre aumentam de peso ao queimar e, no dia 01 de novembro de 1772, apresentou à Academia um documento selado, que foi aberto e lido a 05 de maio do ano seguinte, contendo a declaração seguinte: "Há aproximadamente oito dias descobri que o enxofre, ao queimar, não perdia seu peso mas, ao contrário, o ganhava; que de uma libra de enxofre podia-se obter muito mais que uma libra de ácido vitriólico (ácido sulfúrico), abstração feita da umidade do ar; a mesma coisa acontece com o fósforo. Esse aumento de peso provém de uma quantidade prodigiosa de ar que se fixa durante a combustão e que se combina com os vapores. Esta descoberta que constatei com experiências que considero decisivas, fez-me pensar que o que se observa na combustão do enxofre e do fósforo podia também acontecer com todos os corpos que aumentam de peso com a combustão e a calcinação e me convenci de que o aumento de peso das cales metálicas tinha a mesma origem. A experiência confirmou completamente as minhas conjecturas. Fiz a redução do litargirio (PbO) em vasos fechados, com o aparelho de Hales<sup>24</sup>, e observei que no momento da passagem da cal ao metal produzia-se uma quantidade considerável de ar, e que esse ar formava um volume mil vezes maior que a quantidade de litargirio empregado. Essa descoberta parece-me uma das mais interessantes que foram feitas desde Stahl, e como é difícil não deixar entrever aos amigos, durante a conversação, alguma coisa que possa mostrar-lhes o caminho da verdade, julguei necessário deixar o presente depósito nas mãos do secretário da Academia até publicar as minhas experiências".<sup>25</sup> Posteriormente, nas suas memórias, Lavoisier corrigiu a última frase, a partir de Stahl por: "...decidi assegurar minha propriedade fazendo o presente depósito nas mãos do secretário da Academia, para ficar secreto até o momento em que publique as minhas experiências."<sup>26</sup>

No decorrer do ano de 1773, fez experiências com os carbonatos de cálcio e de metais alcalinos e com os óxidos metálicos. Estudou os fenômenos de efervescência dos carbonatos sob a ação dos ácidos, as precipitações dos sais metálicos pelos carbonatos ou hidróxidos alcali-

nos, a redução das cales metálicas (óxidos) pelo carvão, a formação dos óxidos por aquecimento dos respectivos metais sob uma campânula sobre mercúrio, a combustão do enxofre e do fósforo. Como consequência, presentiu o papel do carbono na redução dos óxidos e o de uma parte do ar atmosférico na oxidação do metal.<sup>27</sup>

Todos esses resultados foram comunicados à Academia em abril e julho e publicados no mês de dezembro de 1773 sob o título: *Opuscules Physiques et Chimiques*. O volume começava com um resumo dos conhecimentos anteriores sobre os ares. Havia muita confissão a não ser no caso do gás carbônico, bem caracterizado por Black (1728 - 1799) e denominado *ar fixo*; os conhecimentos eram incertos. O hidrogênio, identificado por Cavendish, produzido pela ação do zinco, do ferro ou do estanho sobre o ácido sulfúrico, conhecido como *ar inflamável*, era confundido muitas vezes com os gases que se desprendem dos pântanos e de certas fermentações. Priestley, em uma memória lida na Royal Society em março de 1772, tinha dado algumas informações sobre o ar inflamável e o *ar fixo* e havia anunciado a descoberta do óxido nítrico ao qual chamou *ar nitroso*.

Na segunda parte dos *Opuscules*, Lavoisier descrevia suas experiências e expunha suas conclusões. Observava que embora o minio ( $Pb_3O_4$ ) e o carvão aquecidos separadamente não produzissem fluido elástico, o fenômeno era observado, quando ambas as substâncias estavam misturadas. Então perguntava-se: “servem (o carvão e os materiais ricos nele), como pensam os discípulos de Stahl, para fornecer ao metal o flogisto que perdeu, ou entram na própria composição do fluido elástico?”<sup>28</sup>

Nessa época a teoria aceita por todos os químicos, quase sem exceção, e que explicava os fenômenos da combustão, da calcinação, etc., era a teoria do *flogisto*, ou matéria do fogo, desenvolvida pelo médico alemão Stahl (1660-1734). A calcinação dos metais com formação da cal correspondente explicava-se, nessa teoria, como devida ao desprendimento de *flogisto*, e, de acordo com ela, os metais eram compostos por cal e *flogisto*, *flogisto* esse que perdiam ao ser calcinados e transformados em cal. De forma semelhante, considerava-se que os combustíveis, como o carvão e os materiais oleosos, eram ricos em *flogisto*, que cediam ao ar no momento da combustão. Quando um óxido era aquecido conjuntamente com esses combustíveis, eles cediam parte do seu *flogisto* à cal e obtinha-se o metal. O aumento de peso observado durante a calcinação não parecia criar grandes problemas no começo, apesar da importância crescente das medidas ponderais. Muitas vezes os químicos não faziam distinção entre a massa e a densidade, mas, com o acúmulo de dados, foram levados a atribuir *leveza*, e até peso negativo, ao hipotético *flogisto*.

Nos *Opuscules*, Lavoisier já questiona essa interpretação, embora pense que são necessárias novas experiências para se chegar a uma conclusão definitiva. Afirma, entretanto, “que assim como todas as vezes que uma cal metálica passa do estado de cal ao de metal, há desprendimento de fluido elástico, do mesmo modo, to-

das as vezes em que um metal passa do estado de metal ao de cal, há absorção desse mesmo fluido, e a própria calcinação é proporcional à quantidade dessa absorção”.<sup>29</sup> Mais adiante acrescenta: “várias circunstâncias pareceriam levar a crer que todo o ar que respiramos não é apto a se fixar para formar parte das cales metálicas, mas que existe na atmosfera um fluido elástico particular que se encontra misturado com o ar e que, no momento em que se esgota a quantidade desse fluido contido na campânula (onde se faz a reação), a calcinação não pode mais se realizar”.<sup>30a</sup> Finalmente, Lavoisier demonstra experimentalmente nessa obra que o fluido elástico obtido pela redução do minio pelo carvão é idêntico ao *ar fixo* obtido por Black pela ação dos ácidos sobre a pedra calcária.<sup>30b</sup>

A partir de abril de 1772, Lavoisier, conjuntamente com Macquer (1718-1784) e Cadet (1731-1799) fez experiências sobre a destruição do diamante, muitas delas com o *vidro ardente*.<sup>31</sup> Esse dispositivo também foi utilizado nos estudos sobre a calcinação dos metais e a redução dos óxidos. Em julho de 1773 fez a redução do óxido de mercúrio precipitado de uma solução nítrica, mas não tirou conclusões precisas.<sup>32</sup>

Em meados de 1774, Lavoisier tinha a certeza de que a oxidação dos metais por via seca ou úmida, assim como a combustão do fósforo, eram acompanhadas pela fixação de uma parte do ar e que existia uma relação constante entre o aumento de peso do metal ou do fósforo e a diminuição de volume do ar. Como consequência das numerosas experiências realizadas sobre a redução das cales metálicas pelo carvão e pela combustão do diamante, foi levado a crer que essa parte do ar fixado pelos metais era o *ar fixo* de Black. Contudo, certos fatos contradiziam essa suposição; a adição de gás carbônico ao gás residual, obtido depois da calcinação de um metal no ar, não restituía as suas propriedades combustíveis.<sup>33</sup>

## A DESCOBERTA DO OXIGÊNIO

Em fevereiro de 1774 o químico Pierre Bayen (1725 - 1798) publicou no periódico *Observations sur la Physique* os resultados das suas experiências com o *mercúrius precipitatus per se*, obtido por dissolução do metal em ácido nítrico e precipitado por diferentes álcalis (potassa, amônia e cal). Bayen notou que, aquecendo o óxido, obtinha-se o metal, sem necessidade de usar carvão, e a cal perdia peso no processo. Relacionou seus resultados com as observações publicadas por Lavoisier nos *Opuscules* citados acima.<sup>34</sup> Em um segundo artigo publicado na mesma revista dois meses depois, indicava que o gás obtido aquecendo o precipitado *per se* com carvão era solúvel em água e semelhante ao *ar fixo*. Dizia, também, que a cal aquecida sem carvão desprendia o mesmo gás. No segundo caso, Bayen se perguntava: de onde o metal tira o *flogisto*?<sup>35</sup> No dia 3 de setembro, Cadet comunica à Academia que o *mercurius precipitatus per se* podia ser reduzido ao metal sem adição de carvão. Esse fato

contradizia as afirmações de Baumé (1728-1804), que na sua *Chimie Expérimentale et Raisonnée*, dizia que essa cal não podia ser reduzida sem adição de *flogisto*. A Academia nomeou, então, uma comissão, da qual Lavoisier formava parte que repetiu as experiências e confirmou os resultados de Cadet.<sup>36</sup> O que indica que Lavoisier devia estar ciente desses fatos pelo menos nessa data; entretanto, o segundo artigo de Bayen, contribuiu para manter a confusão relativa à natureza do gás emitido.

Em 1º de agosto desse mesmo ano, Joseph Priestley (1733-1804), na Inglaterra, fez a mesma experiência utilizando o *mercurius calcinatus per se*, óxido obtido por aquecimento moderado do mercúrio na presença de ar. Utilizou uma lente particularmente forte e uma campânula sobre mercúrio. Verificou que o gás desprendido era insolúvel em água e acrescentava: “uma vela ardia nesse ar com uma chama notavelmente vigorosa muito parecida à chama larga com a qual uma vela arde no ar nitroso (NO) exposto ao ferro ou ao figado de enxofre (ou seja, o N<sub>2</sub>O);<sup>37</sup> mas como não tinha obtido nada similar com este notável aspecto em nenhuma espécie de ar além dessa particular modificação do ar nitroso, e sabia que não fora usado ar nitroso na preparação do *mercurius calcinatus* estava completamente perplexo para dar conta desse fato.”<sup>38</sup> Repetiu então a experiência com o *mercurius precipitatus per se* com idêntico resultado e, como acreditava que o precipitado vermelho de mercúrio era diferente daquele obtido por calcinação do metal, admitiu que possivelmente esse último tinha tomado *um pouco de nitro* da atmosfera. Posteriormente obteve o mesmo resultado com outras amostras e com o minio, mas no último caso obtinha também o *ar fixo*.<sup>39</sup>

Nesse ponto das suas experiências, quando ainda acreditava que o gás desprendido por aquecimento do óxido de mercúrio era o óxido nitroso, Priestley fez uma viagem a Paris em outubro de 1774 e relatou a Lavoisier suas observações. De volta à Inglaterra prosseguiu seus trabalhos utilizando o *mercurius calcinatus per se* fornecido por Cadet, de cuja pureza não tinha, agora, nenhuma dúvida. Em 19 de novembro de 1774, observou que uma vela acesa dava uma chama muito mais brilhante e duradoura no ar desprendido por aquecimento dessa cal de mercúrio que no óxido nitroso. Mas foi só em 1º de março de 1775 que aplicou a esse gás a prova de *bondade* do ar, inventada por ele, que o diferenciou definitivamente do óxido nitroso.<sup>40</sup>

Lavoisier, de seu lado, começou a experimentar com o *mercurius precipitatus per se* a partir de novembro de 1774 utilizando o *vidro ardente*, mas foi só no fim de fevereiro e início de março de 1775 que realizou experiências mais precisas. Utilizou para esse fim uma pequena retorta cujo extremo imergia em uma campânula cheia de água, invertida sobre uma cuba também cheia de água. Começou por fazer a redução da cal de mercúrio com carvão para confirmar que esse produto era realmente um óxido e constatou que o gás desprendido era *ar fixo*. Repetiu, depois, a mesma experiência, nas mesmas condições, mas sem adicionar carvão, e obteve um

gás insolúvel em água, que não dava precipitado com água de cal nem se combinava com os álcalis. Fez a prova de sua *bondade* com óxido nítrico e verificou ser ele apto para manter a respiração e a combustão. Sobre esses resultados apresentou uma memória à Academia no dia 26 de abril de 1775, conhecida como *memória da Páscoa*, que foi publicada *in extenso* no periódico *Observations sur la Physique* de maio desse mesmo ano. Nesse texto Lavoisier declara: “Todas essas circunstâncias convenceram-me plenamente que esse ar era não somente ar comum, mas também que era mais respirável, mais combustível e, conseqüentemente, que era mais puro, ainda, que o ar no qual vivemos” e concluiu: “Parece provado do que precede que o princípio que se combina com os metais durante sua calcinação e que aumenta o seu peso, não é outra coisa senão a porção mais pura do mesmo ar que nos rodeia, que respiramos e que passa, nessa operação, do estado de expansibilidade ao de solidez; portanto, se ele é obtido no estado de ar fixo, em todas as reduções metálicas onde se emprega o carvão, é ao próprio carvão que é devido esse efeito e é muito possível que, se se pudesse reduzir todas as cales metálicas, sem adição (de carvão), como no mercúrio *precipitado per se*, elas produziram ar comum”.<sup>41</sup>

O volume da Academia contendo as memórias de 1775 só apareceu em 1778. Nele Lavoisier introduziu várias modificações, em particular no texto citado acima. Assim, ele dirá: “Todas essas circunstâncias convenceram-me plenamente que esse ar, longe de ser ar fixo, estava em um estado mais respirável, mais combustível e, por conseguinte, que era mais puro que o próprio ar no qual vivemos...” “Parece provado..., portanto, que se ele é obtido no estado de ar fixo em todas as reduções metálicas onde se emprega o carvão, é a combinação desse último com a porção pura do ar que é devido esse efeito e é muito possível que, se se pudesse reduzir todas as cales metálicas como se reduz o mercúrio *precipitado per se*, *sem adição (de carvão)*, obter-se-ia ar eminentemente respirável”.<sup>42</sup>

Pelo que precede vê-se claramente que em 1775 Lavoisier não fazia ainda uma diferença nítida entre a *porção mais pura do ar* e o ar comum. Só posteriormente conseguiu perceber que o gás que se combinava com os metais durante a calcinação não era o ar atmosférico puro, mas uma espécie nova a qual denominou *ar eminentemente respirável*. Ele usa pela primeira vez essa expressão, assim como a de *mofeta atmosférica* para o nitrogênio em uma memória apresentada à Academia em 21 de março de 1777 e lida no dia 16 de abril.<sup>43</sup>

Dado o atraso com que se faziam as publicações, a atualização dos textos pelos autores era hábito corrente nessa época. No caso específico da *memória da Páscoa*, Lavoisier não justificou tais mudanças, presumivelmente por considerá-lo desnecessário, tendo em conta que a memória original já tinha sido publicada.

A prioridade da descoberta do oxigênio tem dado lugar a muita controvérsia, controvérsia essa que teve como origem as queixas do próprio Priestley desejoso de fazer valer os seus direitos como descobridor desse

gás.<sup>44</sup> Ele pretendia ter dado informações valiosas a Lavoisier durante a sua visita a Paris. Contudo, essa reclamação parece não ter fundamento posto que, como já mencionamos, Priestley, nessa ocasião, acreditava ter obtido óxido nítrico a partir do óxido de mercúrio. Aparentemente, o diálogo que mantiveram não causou grande impressão a Lavoisier,<sup>45</sup> o qual, pelo que se sabe através de seus registros de laboratório, em 28 de fevereiro de 1775 ainda pensava ser gás carbônico o que se desprendia por aquecimento do *mercurius precipitatus per se*.<sup>33</sup> Tudo indica que, na sua mente, eram as experiências de Bayen as que lhe produziram uma impressão mais duradoura e que o levaram a trabalhar com o mesmo óxido de mercúrio utilizado por aquele. Contudo, não se pode eliminar a hipótese de ter sido influenciado, na sua escolha, pela entrevista com Priestley.

É preciso não esquecer que as experiências de Lavoisier referidas no documento selado de novembro de 1772, assim como as citadas posteriormente nos *Opuscles* levaram-no a ter uma percepção muito clara dos processos de calcinação e combustão. Antes da visita de Priestley a Paris, ele já tinha o seu esquema conceitual perfeitamente organizado. Faltava provar qual era esse “fluido elástico particular que se encontra misturado com o ar e que no momento em que se esgota... a calcinação não pode mais se realizar”.<sup>30</sup> Como ele diria depois na memória publicada em *Observations sur la Physique* (já mencionada): “...o ar, que se desprende das reduções metálicas pelo carvão, não é um ser simples, mas é de alguma maneira o resultado da combinação do fluido elástico desprendido do metal e daquele desprendido do carvão. Portanto, pelo fato de se obter esse fluido na forma de *ar fixo*, não se deve concluir que ele exista nesse estado na cal metálica, antes da combinação com o carvão. Essas reflexões fizeram-me sentir como era essencial, para esclarecer o mistério da redução das cales metálicas, orientar minhas experiências para as que são redutíveis sem adição (de carvão)”<sup>41</sup> As cales de ferro tinham essa propriedade mas nenhuma se reduzia totalmente e, por essa razão, foi levado a ensaiar o *mercurius precipitatus per se*.<sup>41</sup>

É necessário destacar que Lavoisier, apesar de ter verificado que o produto da decomposição do óxido de mercúrio era “mais respirável, mais combustível e, por conseguinte, mais puro ainda que o ar no qual vivemos”, acreditava, no entanto, ser esse gás o próprio ar atmosférico. Evidentemente, nessa etapa crucial da sua pesquisa, o que ele precisava confirmar de forma irrefutável era a existência no ar de um *princípio*, que se combinava com os metais durante a calcinação e aumentava o seu peso. O fato de esse *princípio* ser o ar mais puro adequava-se perfeitamente à sua teoria. Não entrava ainda nas suas cogitações, nem parecia necessário, questionar a natureza elementar do ar. Foi, provavelmente, ao tomar conhecimento das experiências cuidadosas que Priestley realizara após a sua volta a Inglaterra, que Lavoisier descobriu, em pouco tempo (de 1776 a 1777), a verdadeira composição da atmosfera.

Segundo Priestley, o ar não era uma substância ele-

mentar simples indestrutível e inalterável mas uma *composição* “...porque o flogisto com o qual fica carregado, proveniente dos corpos que queimam nele, dos animais que o respiram e de outros vários processos químicos, o altera e corrompe de maneira a torná-lo completamente inadequado para a combustão, a respiração e outras finalidades para as quais é útil, e descobri que a agitação na água, o processo da vegetação e provavelmente outros processos naturais, ao extrair o flogisto supérfluo, restituem a sua pureza original. Mas eu mesmo não tinha idéia da possibilidade de ir mais além nessa direção e desse modo conseguir ar mais puro que o ar comum”.<sup>46</sup> Em consequência, chamou ao oxigênio *ar desflogisticado* e ao nitrogênio *ar flogisticado* pois era o ar residual, saturado de *flogisto*, que ficava depois da combustão e da calcinação dos metais. A fixação ou cessão de *flogisto* explicavam as variações de volume.

Lavoisier, nos seus registros, faz várias vezes constar a atenção particular que dava aos trabalhos de Priestley e usa freqüentemente a expressão *ar desflogisticado de M. Priestley* para o oxigênio. Mas é na memória apresentada em 5 de setembro de 1777 que ele dirá: “De agora em diante designarei o ar desflogisticado ou ar eminentemente respirável, no estado de combinação ou fixidez, pelo nome de *princípio acidificante* ou, se se preferir o mesmo significado com um nome grego pelo de *principe oxygine*”.<sup>47</sup> Posteriormente, em 25 de novembro de 1780 lê uma memória na Academia na qual emprega a expressão *ar vital* e diz: “é o nome que o historiador da Academia dá ao ar desflogisticado de M. Priestley”.<sup>48</sup>

Como observa Kuhn, “a proposição *o oxigênio foi descoberto*, embora indubitavelmente correta engana por sugerir que descobrir alguma coisa é um ato simples, singular, assimilável a nosso conceito usual (e também questionável) de ver. É por isso que tão facilmente admitimos que descobrir, como ver ou tocar, deveria ser atribuível inequivocadamente a um indivíduo e a um momento no tempo. Mas esta última atribuição é sempre impossível e a primeira amiúde também... Entretanto, entre esses limites ou outros semelhantes, qualquer tentativa para datar a descoberta deve ser inevitavelmente arbitrária, porque a descoberta de um novo tipo de fenômeno é, necessariamente, um evento complexo que envolve o reconhecimento, tanto de *que algo é*, como o *que é*. Note-se, por exemplo, que se o oxigênio fosse para nós ar desflogisticado, deveríamos afirmar sem hesitação que Priestley foi o seu descobridor, embora ainda não soubéssemos exatamente quando. Mas se tanto observação como conceitualização, fato e assimilação à uma teoria, estão inseparavelmente ligados na descoberta, então a descoberta é um processo e deve levar tempo”.<sup>49</sup>

Segundo a opinião de Kuhn, só é possível descobrir em um instante e sem esforço a existência de um fenômeno e a sua natureza, se as categorias conceituais estão prontas com antecedência e, nesse caso, o fenômeno não é de um gênero novo. Contudo, mesmo que a descoberta implique um processo longo de assimilação con-

ceitual, isso não implica necessariamente uma mudança de *paradigma*. No caso da descoberta do oxigênio, entretanto, foi justamente o que aconteceu. “O que Lavoisier anunciou em suas memórias, a partir de 1777, não foi tanto a descoberta do oxigênio como teoria da combustão pelo oxigênio. Essa teoria foi a pedra angular de uma reformulação da química tão vasta que é comumente chamada a revolução química. Na verdade, se a descoberta do oxigênio não houvesse sido parte integrante da emergência de um novo *paradigma* da química, a questão da prioridade, da qual partimos, nunca teria parecido tão importante”.<sup>50</sup>

Pelo que o próprio Lavoisier deixou registrado, no documento selado de novembro de 1772, ele estava ciente do erro fundamental contido na teoria do flogisto, já que na combustão uma parte do ar da atmosfera era fixado pelos combustíveis. Como observa Kuhn “Essa conscientização apriorística das dificuldades deve ser uma parte significativa do que possibilitou que Lavoisier visse, em experiências similares às de Priestley, um gás que o próprio Priestley foi incapaz de ver. Inversamente, o fato de ser necessária uma inversão completa do paradigma, para ver o que Lavoisier viu, deve ser a razão principal pela qual Priestley, até o fim de sua longa vida, fosse incapaz de ver”.<sup>50</sup>

Posteriormente, Lavoisier deu uma forma mais acabada à sua descoberta, unindo em uma mesma experiência a absorção de uma parte do ar pelo mercúrio ao ser calcinado e a regeneração do oxigênio por aquecimento do óxido obtido. Essa experiência figurará depois, no seu *Traité Élémentaire de Chimie*. Finalmente, misturando a *mofeta* (nitrogênio) com uma quantidade de *ar respirável*, obtido com a cal de mercúrio, e igual ao volume de ar absorvido previamente durante a sua oxidação, obteve o ar atmosférico.<sup>51</sup>

Concomitantemente, ele se interessa pelo papel desempenhado pelo oxigênio na formação dos ácidos. Em primeiro lugar, do ácido carbônico, como resultado da redução dos óxidos metálicos com o carvão. Demonstra, além disso, que a combustão do diamante no oxigênio produz somente ácido carbônico e as do enxofre e do fósforo nesse mesmo gás, os ácidos sulfúricos e fosfórico, respectivamente. A participação do *flogisto* na combustão ficava assim totalmente eliminada. Essas experiências e a interpretação dada a elas por Lavoisier eram completamente revolucionárias. É preciso não esquecer que todos os químicos da época consideravam de uma evidência indiscutível a demonstração feita por Stahl, que provava ser o enxofre constituído por ácido vitriólico e *flogisto*.<sup>52</sup>

As idéias de Lavoisier baseavam-se sempre em medidas ponderais e volumétricas muito precisas, as mais precisas que os melhores aparelhos da época permitiam, e cada experiência era corroborada por uma demonstração inversa. Assim, a experiência inversa à da obtenção do ácido sulfúrico consistiu em produzir oxigênio. Pela ação do mercúrio sobre esse ácido e a decomposição do sulfato mercúrio por aquecimento, obtinha-se gás sulfuroso, oxigênio e mercúrio.<sup>53</sup> Previamente, tinha repetido

a experiência de Priestley que consistia em dissolver o mercúrio em ácido nítrico e decompor o nitrato pelo calor. Pondo em contato o oxigênio e o óxido nítrico recolhidos obtinha novamente o produto de origem.<sup>54</sup> Dessa maneira foi levado a acreditar que os ácidos continham ou eram engendrados pelo mesmo *princípio* que, no começo, foi o próprio ar e que rapidamente percebeu ser um dos seus constituintes.

É interessante lembrar aqui que Priestley reclamava das interpretações dadas por Lavoisier às suas experiências dizendo que “a especulação é, na física, uma mercadoria de pouco valor, os fatos novos e importantes são muito mais escassos e, em consequência, mais preciosos”.<sup>55</sup> Lavoisier, de seu lado, na memória sobre a decomposição e recomposição do ácido nítrico citada acima, disse: “Antes de entrar na matéria, começarei por prevenir o público que uma parte das experiências contidas nesta memória não me pertencem; não há nenhuma da qual M. Priestley não possa reclamar a primeira idéia; mas como os mesmos fatos nos conduziram a consequências diametralmente opostas, espero que se me acusarem de ter tomado as provas das obras desse célebre físico, não se me negará, ao menos, a propriedade das consequências”.<sup>54</sup>

## LUTA CONTRA A TEORIA DO FLOGISTO

A partir de 1777 Lavoisier começa a sua luta, cada vez mais intensa, contra a teoria do *flogisto*, a qual se manifesta em três memórias apresentadas à Academia: *Memoire sur la combustion en général*, de 12 de novembro de 1777,<sup>56</sup> *Reflexions sur la calcination et la combustion, à l'occasion d'un ouvrage intitulé: Traité chimique de l'air et du feu*, de dezembro (01 a 07) de 1781<sup>57</sup> e *Reflexions sur le phlogistique pour servir de suite à la théorie de la combustion et de la calcination publiée en 1777*, de 28 de junho de 1785.<sup>58</sup>

A primeira é uma exposição sistemática das suas idéias dessa época: “Arrisco hoje a propor à Academia”, diz, “uma teoria nova sobre a combustão, ou melhor, para me exprimir, com a reserva que me impus como lei, uma hipótese, pela qual se explicam muito satisfatoriamente todos os fenômenos da combustão, da calcinação e mesmo, em parte, os que acompanham a respiração dos animais. Já tinha lançado os primeiros fundamentos desta hipótese nos meus *Opuscules physiques et chimiques*, mas, confesso que, pouco confiante nas minhas próprias luzes, não ousava então proclamar abertamente uma opinião que podia parecer singular e que era diretamente contrária à teoria de Stahl e à de vários homens célebres que o seguiram”. Indica depois os quatro fenômenos principais nos quais baseia a sua teoria: 1) em toda combustão se libera matéria do fogo e da luz; 2) a combustão não pode realizar-se senão numa só espécie de ar, que ele designa *ar puro*. Em outros ares ou no vácuo os corpos em combustão se apagam; 3) em toda combustão há destruição ou decomposição do *ar puro* e o corpo queimado aumenta de peso tanto quanto

a quantidade de ar destruído ou decomposto; 4) em toda combustão na qual intervem esse ar a substância queimada transforma-se em um ácido característico: o enxofre em ácido vitriólico, o fósforo em ácido fosfórico, as substâncias carbonadas produzem ácido gredoso.<sup>59</sup> A calcinação dos metais está submetida às mesmas leis. Toda calcinação 1) produz a matéria do fogo; 2) não pode se produzir senão no *ar puro*; 3) corresponde à combinação desse ar puro com a substância calcinada. Nesse caso forma-se um composto particular, a cal metálica. Depois acrescenta: “esses fenômenos se explicam de maneira muito feliz com a teoria de Stahl, mas é preciso supor que existe matéria do fogo, o flogisto, nos metais, no enxofre e em todos os corpos combustíveis. Mas se se pede provar a existência do flogisto nessas substâncias aos partidários da teoria, eles caem num círculo vicioso: dizem que os corpos combustíveis contêm a matéria do fogo porque queimam e queimam porque contêm a matéria do fogo. Isso é explicar a combustão pela combustão. A existência da matéria do fogo, do flogisto, nos metais, no enxofre, etc., não é então senão uma hipótese. Mas se eu mostrar que esses fenômenos podem ser explicados de forma natural com a hipótese oposta, sem supor a existência do flogisto nos combustíveis, o sistema de Stahl será abalado até nos seus fundamentos”. Explica depois o que ele entende por matéria do fogo, à qual chamará depois de *calórico*. Considera-a um elemento e como tal aparecerá no seu *Traité de Chimie*. Segundo ele, “o ar está composto da matéria do fogo como dissolvente combinado com uma substância que lhe serve de base. Todas as vezes que essa base está na presença de uma substância com a qual tem mais afinidade, ela abandona seu dissolvente e a matéria do fogo aparece como calor, chama e luz. O ar puro... é então o verdadeiro corpo combustível, e possivelmente o único da natureza. Então, para explicar os fenômenos da combustão não é necessário supor que existam uma quantidade imensa de fogo fixada em todos os corpos que chamamos *combustíveis* e, pelo contrário, é provável que exista pouca nos metais. Compreende-se também porque não pode haver combustão nem no vácuo..., enfim, não estamos obrigados a admitir, como o faz Stahl, que os corpos que aumentam de peso, percam uma parte de sua substância”.

Ele conclui: “ao atacar a doutrina de Stahl não pretendo substituí-la por uma teoria rigorosamente demonstrada, mas somente por uma hipótese que acho mais provável, mais conforme às leis da natureza, que considero conter explicações menos forçadas e menos contraditórias”.

Na segunda memória, Lavoisier e Berthollet fizeram uma análise crítica da obra de Scheele, *Chemische Abhandlungen von Luft und Feuer*, traduzida por Dietrich. Na última memória, Lavoisier ataca com mais rigor a teoria do flogisto e diz: “Deduzi todas as explicações de um princípio simples; é que o ar puro, o ar vital, está composto por um princípio particular que lhe é próprio, que forma a sua base e que denominei *principe oxygene* combinado com a matéria do fogo e do calor.

Uma vez admitido esse princípio, as dificuldades principais da química parecem haver-se desvanecido e dissipado e todos os fenômenos se explicam com surpreendente simplicidade. Mas, se tudo se explica na química de uma maneira satisfatória sem recorrer ao flogisto, é infinitamente provável que esse princípio não exista, que seja um ser hipotético, uma suposição gratuita”.

Referindo-se aos esforços de *flogistas* da época, como Macquer e Baumé, que trataram de dar explicação racional às numerosas contradições da teoria de Stahl, Lavoisier diz: “Os partidários da doutrina de Stahl têm sempre os mesmos apertos. Quando se lhes pergunta o que acontece ao calcinar mercúrio no ar vital, os físicos ingleses respondem que, à medida que o flogisto se desprende do metal, combina-se com o ar no qual se está operando e o transforma em ar fixo ou ar flogisticado; esta afirmação é, entretanto, contrária aos fatos. Quando se opera sobre o ar vital absolutamente puro, pode-se absorvê-lo até a última gota, e, se a absorção é interrompida antes de que tenha sido completada, a porção do ar vital que fica não é alterada de forma alguma; ela contém exatamente a mesma quantidade de ar mefítico contida originariamente na totalidade do ar que foi empregada. O flogisto, nesta experiência, não se combinou, por conseguinte, com o ar, como o pretendem os físicos ingleses, e então é necessário admitir, como Macquer, que escapou na forma de fogo livre, da matéria da luz, através dos poros dos vasos. Se no momento da calcinação dos metais no ar vital, ele tem a propriedade de penetrar o vidro, se tem essa mesma propriedade na revivificação das cales de ouro, de prata e de mercúrio, porque não a tem com respeito às outras cales metálicas? Assim, os partidários da doutrina de Stahl depois de terem sido forçados a dizer que o flogisto ora pesa, ora não pesa, estão ainda obrigados a admitir que, mesmo em estado livre, ora penetra nos poros dos recipientes mais compactos, ora não penetra, qualidades essas incompatíveis em um mesmo ser e que provam mais e mais que se tem dado o mesmo nome a coisas muito diferentes”. Mais adiante acrescenta: “é hora de trazer a química para raciocínios mais rigorosos, de despojar os fatos que enriquecem esta ciência todos os dias daquilo que acrescentam os raciocínios e os preconceitos; de distinguir o que é fato e observação do que é sistemático e hipotético; enfim, de fixar o ponto até o qual chegaram os conhecimentos químicos, para que aqueles que nos sucedam possam partir desse ponto e proceder com segurança ao progresso da ciência”.

Depois de outras considerações, Lavoisier acaba dizendo: “Nesta memória não tive outro objetivo que o de dar novos desenvolvimentos à teoria da combustão que publiquei em 1777, de fazer ver que o flogisto de Stahl é um ser imaginário cuja suposta existência nos metais, no enxofre, no fósforo e em todos os corpos combustíveis é gratuita: que todos os fenômenos da combustão e da calcinação se explicam de uma maneira muito mais simples e muito mais fácil sem flogisto que com flogisto. Não espero que as minhas idéias sejam logo adotadas; o espírito humano se aferra a uma maneira

de ver e aqueles que têm encarado a natureza sob um certo ponto de vista durante uma parte de sua carreira se adaptam com dificuldades às idéias novas; é hora, portanto, de conformar ou destruir as opiniões que apresentei. Entrementes, vejo com grande satisfação que os jovens que começam a estudar a ciência sem preconceitos, que os geômetras e os físicos, que têm a cabeça limpa para considerar as verdades químicas, não acreditam mais no flogisto no sentido apresentado por Stahl e olham toda essa doutrina como um andaime mais embaçoso que útil para contruir o edifício da ciência química”.

## A COMPOSIÇÃO DA ÁGUA

A síntese de água, a partir de *ar inflamável* (hidrogênio)<sup>60</sup> e ar atmosférico, ou *ar desflogisticado*, foi feita por Cavendish (1731-1810), em 1781, utilizando o eudiômetro, inventado por Volta (1745-1827), no qual se produzia uma fâsca elétrica num recipiente fechado contendo os gases. Como no caso da descoberta do oxigênio por Priestley os resultados, no começo, não foram muito claros: o produto da explosão parecia às vezes água pura, outras tinha reação ácida.

Antes de 1775, Priestley tinha queimado *ar inflamável* com *ar desflogisticado*, mas foi, na verdade, Macquer o primeiro a observar a condensação de gotas de água no fundo de uma cápsula colocada sobre uma chama de hidrogênio que ardia livremente no ar.<sup>61</sup> Cavendish, que havia estudado cuidadosamente o hidrogênio, no curso de seus trabalhos sobre as diversas maneiras de *flogisticar* o ar comum, decidiu repetir a experiência que Warltire realizara com o intuito de verificar se o calor era ponderável e que Priestley relatou em um dos seus livros.<sup>62</sup> Fazendo explodir uma mistura de hidrogênio e ar em um recipiente de cobre, Warltire observava um decréscimo de peso e a formação de gotas de água. Cavendish não conseguiu confirmar a perda de peso mas constatou a formação de água. Verificou que “quando se faz explodir uma mistura de ar inflamável e ar comum nas proporções adequadas, quase todo o ar inflamável e quase um quinto do ar comum, perdem a sua elasticidade e se condensam em forma de orvalho. E por este experimento parece que esse orvalho é água e, consequentemente que quase todo o ar inflamável e aproximadamente um quinto do ar comum são convertidos em água”.<sup>63</sup> Repetindo a mesma experiência com hidrogênio e oxigênio de diferentes origens, obtinha sempre água, contendo pequenas quantidades de ácido nítrico. Essa reação secundária impediu que chegasse a uma conclusão clara sobre a composição da água. A elucidação desse fenômeno parece ter sido a causa da demora na publicação de seus resultados, que só foram apresentados à Royal Society em janeiro de 1784. Nesse trabalho ele dirá: “que o ar desflogisticado é na verdade nada mais do que água desflogisticada ou água desprovida de

seu flogisto, ou, em outras palavras, que a água consiste de ar desflogisticado unido ao flogisto; e que o ar inflamável é ou flogisto puro, como supõem o Dr. Priestley e Mr. Kirwan, ou água unida ao flogisto posto que, de acordo com esta suposição, estas duas substâncias unidas formam a água”.<sup>63</sup>

Lavoisier havia-se interessado pela combustão do hidrogênio desde 1774. Na sua opinião, nesse processo devia se fixar uma parte do ar atmosférico e fez constar essa idéia no seu caderno de laboratório em março desse ano.<sup>64</sup> Segundo ele mesmo declarará posteriormente, seus primeiros ensaios sobre a combustão do hidrogênio datavam de 1776 ou 1777. Nessa época, desconhecendo a experiência de Macquer, acreditava que o produto da combustão devia ser ácido sulfúrico ou sulfuroso, enquanto que para Bucquet tratava-se do *ar fixo*. Para esclarecer essas dúvidas, ambos fizeram a experiência em uma garrafa aberta na presença de água de cal e não obtiveram precipitado. Contudo, esse resultado, que invalidava a hipótese de Bucquet, não permitia confirmar ou contradizer a sua. No inverno de 1781 a 1782 realizou, com Gingembre, uma nova experiência, na presença de água de cal, de álcali diluído, ou de água, na qual viram “com muito prazer o ar vital queimar no ar inflamável”, sem observar nenhum indício de acidez. “Esses resultados”, dirá Lavoisier, “me surpreenderam, tanto mais que eu havia reconhecido anteriormente que, em toda combustão, se formava um ácido; que esse ácido era o ácido vitriólico, se se queimava enxofre, ácido fosfórico, se se queimava fósforo, ar fixo, se se queimava carvão e a analogia tinha-me levado invencivelmente a concluir que a combustão do ar inflamável devia produzir igualmente um ácido” e acrescenta: “Contudo, nada se aniquila nas experiências; somente a matéria do fogo, do calor e da luz, tem a propriedade de passar através dos poros dos vasos; portanto, os dois ares, que são corpos pesados não podiam desaparecer; daí a necessidade de fazer as experiências com maior exatidão e em mais grande escala”.<sup>65</sup> Fez construir, então, uma caixa pneumática para o hidrogênio (já possuía uma para o oxigênio) e tubos e torneiras que permitiam uma melhor manipulação dos gases.

Em junho de 1783, Charles Blagden, assistente de Cavendish, foi a Paris e relatou a Lavoisier as experiências daquele sobre a síntese da água.

Lavoisier fez a síntese da água, em 24 de junho de 1783, a partir do oxigênio e do hidrogênio obtido por ação do ácido sulfúrico diluído sobre o ferro. Observou a formação de água pura que não avermelhava a tintura de tornassol. Constatou, contudo, que o peso de água obtido era menor que a soma dos pesos dos dois gases e comentou em suas notas: “Assim, deve-se supor uma perda de duas terceiras partes do ar ou uma perda de peso”. No dia seguinte Lavoisier e Laplace comunicaram a experiência à Academia nos seguintes termos: “A água não é uma substância simples, ela está composta, peso por peso, de ar inflamável e de ar vital”.<sup>66</sup>

Nesse mesmo mês Monge (1746-1818) fez uma experiência similar, comunicada no mês de agosto à Academia por Vandermonde. Lavoisier disse mais tarde tê-la ignorado e reconheceu que “ele operou sem perdas, de forma que a sua experiência é ainda muito mais conclusiva que a nossa, e não deixa nada a desejar: o resultado que ele obteve foi água pura, cujo peso, encontrou-se aproximadamente igual ao dos dois ares.”<sup>65</sup>

Como era prática comum nessa época, os autores de memórias apresentadas à Royal Society costumavam fazer correções ou adições ao texto antes da sua publicação.<sup>67</sup> De regresso à Inglaterra, Blagden acrescentou o seguinte parágrafo na memória de Cavendish, de janeiro de 1784, citada anteriormente: “Todos os experimentos precedentes sobre a explosão do ar inflamável com ar comum e com ar desflogisticado, exceto aqueles que se referem à causa (da presença) do ácido encontrado na água, foram feitos no verão de 1781 e comunicados por mim ao Dr. Priestley, o qual como consequência disso fez alguns experimentos da mesma espécie, como relata em um artigo publicado no volume precedente das *Transactions*. Durante o verão passado, um amigo meu deu alguma informação sobre eles a M. Lavoisier, como também sobre as conclusões tiradas deles, que o ar desflogisticado é somente água privada de flogisto; mas nessa época M. Lavoisier estava tão longe de pensar tal opinião justificada que, até se convencer repetindo ele mesmo o experimento, encontrou alguma dificuldade em crer que a quase totalidade dos dois ares podia converter-se em água. É de se notar que nenhum desses senhores encontrou ácido na água produzida na combustão; o que deve provir do fato de eles terem queimado os dois ares de maneira diferente da minha; e de o primeiro (Priestley) ter usado uma classe diferente de ar inflamável, isto é, o obtido do carvão (óxido de carbono) e, quicá, uma maior proporção do mesmo.”<sup>63</sup>

Em novembro de 1783, Lavoisier leu uma memória na Academia, conhecida como a Memória de São Martinho, da qual foi publicado um resumo no número de dezembro da revista *Observations sur la Physique*. O redator anônimo declarava que, uma vez acabada a experiência, o peso da água recolhida era aproximadamente igual à soma dos pesos dos dois ares (oxigênio e hidrogênio) reunidos e que a água era tão pura como a destilada. Relatava também os resultados de Monge que tinham mostrado, por um método talvez mais exato, o mesmo resultado e acrescentava: “Finalmente, acabamos de saber por uma carta de M. Blagden a M. Berthollet, que M. Cavendish havia repetido ultimamente a mesma experiência por diferentes vias e que, quando a quantidade dos dois ares era bem proporcionada, obtinha constantemente o mesmo resultado”.<sup>68</sup>

Nesse resumo descreve-se também a experiência feita por Lavoisier para decompor a água. Para isso ele introduziu um pouco de água e de limalhas de aço bem puras dentro de uma tigela invertida sobre mercúrio e observou a formação de óxido férrico e o desprendimento de hidrogênio. “Eis aí então a água que, nesta experiência,

diz o relator, se decompõe em duas substâncias distintas, o ar desflogisticado, que se une ao ferro e o converte em cal, e o ar inflamável que se separa; e, como de outro lado, reunindo e recombinando essas duas mesmas substâncias, forma-se novamente a água, quase que invencivelmente somos levados a concluir que a água não é uma substância simples, um elemento propriamente dito, como se havia pensado sempre”.<sup>68</sup>

O texto dessa memória só apareceu publicado em maio de 1784, no volume com data de 1781. Nele, Lavoisier, em nota de pé de página, declara ter feito várias adições ao texto primitivo relativas ao trabalho realizado conjuntamente com Meusnier.<sup>65</sup> Essa memória é uma das mais importantes escritas por Lavoisier e mostra, como no caso da descoberta do oxigênio, a sua perspicácia em descobrir em cada fenômeno o que é relevante. Faz referência às primeiras tentativas para decompor a água, que já relatara em novembro de 1783 na reabertura anual da Academia, e diz: “Fiz observar, nessa ocasião, que se realmente a água era composta, como indicava a combustão dos dois ares, da união do *principe oxygene* com o princípio inflamável aquoso, não se poderia decompô-la e obter separadamente um dos seus princípios, sem apresentar ao outro uma substância com a qual tivesse mais afinidade: tendo o princípio inflamável aquoso mais afinidade com o *principe oxygene* que com qualquer outro corpo, como o farei ver na minha memória sobre as afinidades, não era por esse *latus* que podia ser tentada a decomposição; era, portanto, o *principe oxygene* que deveria ser atacado”. Inspira-se, entre outros, nos trabalhos de Bergman sobre a ação da água destilada sobre as limalhas de ferro e acrescenta: “M. Laplace, que estava ao par das minhas experiências, que as havia compartilhado amiúde, e que me ajudava com os seus conselhos, havia-me repetido muitas vezes que não tinha dúvidas que o ar inflamável, que se desprende da dissolução do ferro e do zinco no ácido vitriólico e no ácido marinho (ácido clorídrico), era devido à decomposição da água” e mais adiante: “Enquanto me ocupava dessas experiências, M. Blagden, que estava em Paris, nos fez conhecer de uma maneira muito exata as experiências feitas por M. Priestley sobre a revivificação das cales metálicas no ar inflamável”. Descreve a experiência de Priestley que consistia em aquecer minio na presença de hidrogênio. A cal era colocada em um cadinho dentro de uma campânula cheia de gás, sobre água, e era aquecida por meio de uma lente. Priestley conseguia consumir a maior parte do hidrogênio e concluía que o ar inflamável combinava-se com o chumbo para revivificá-lo e que, por conseguinte, o ar inflamável e o *flogisto* eram a mesma coisa, como tinha anunciado Kirwan. Lavoisier, então, afirma: “Eu observei que M. Priestley não prestou atenção a uma circunstância capital que tem lugar nesta experiência; é que o chumbo, longe de aumentar de peso, diminui, ao contrário, de um duodécimo, desprende-se então uma substância qualquer; ora, esta substância é necessariamente o ar vital, do qual o minio contém perto de um duodéci-

mo. Mas, por outro lado, depois desta operação, não fica fluido elástico de nenhuma espécie; não somente não se encontra na campânula ar vital, mas mesmo o ar inflamável que enchia desaparece; portanto os produtos não estão mais no estado aeriforme; e, como, de outro lado, está provado que a água é um composto de ar inflamável e de ar desflogisticado, é claro que M. Priestley formou água sem perceber". Diz também: "Esta experiência me fez lembrar que, tendo feito revivificações da cal de chumbo com pó de carvão, em vasos fechados, eu havia obtido água. Registrei esse fato, do qual ignorava a explicação, no volume dos *Opuscles* que publiquei em 1774". Depois de detalhar as suas experiências quantitativas de revivificação dos óxidos de chumbo, estanho e ferro, passa a descrever a primeira que fez conjuntamente com Meusnier sobre a decomposição da água.<sup>65</sup>

Nessa época, Lavoisier e Meusnier foram designados pela Academia, sob ordem do rei, para aperfeiçoar as máquinas aerostáticas, o que os levou a fazer pesquisas sobre o método mais econômico para produzir hidrogênio em grandes quantidades e a imaginar a maneira de obtê-lo pela decomposição da água. Utilizaram para esse fim um cano de fuzil aquecido até incandescência, através do qual se fazia gotejar água que se decompunha totalmente, obtendo-se assim o ar *ar inflamável*. Lavoisier e Meusnier fizeram novas experiências no inverno de 1783 a 1784 e apresentaram conjuntamente uma memória na Páscoa de 1784.<sup>69</sup>

Como no caso do oxigênio, a descoberta da síntese da água foi objeto de grande controvérsia. Ela começou com Watt, o qual, em abril de 1784, reivindicou a prioridade pela interpretação que deu uma experiência de Priestley de março de 1783, através de uma carta dirigida a este último, no mês de abril desse ano, na qual dizia: "Não estamos autorizados a concluir que a água está composta de ar desflogisticado e de concluir que a água está composta de ar desflogisticado e de flogisto desprovido de seu calor latente ou elementar?"<sup>67</sup> Essa carta retida por Priestley (a pedido do próprio Watt) foi lida na Royal Society em 26 de abril de 1784 juntamente com outra (também de Watt), enviada ao secretário dessa sociedade, sobre idêntico assunto e datada de novembro de 1784.

Lavoisier, por seu lado, no texto da memória publicada em 1784 (correspondente à que foi apresentada em novembro de 1783) diz: "Foi em 24 de junho de 1783 que fizemos a experiência, M. de Laplace e eu, na presença de M.M. le Roi, de Vandermonde, de vários outros acadêmicos, e de M. Blagden, hoje secretário da Sociedade Real de Londres; este último informou-nos que M. Cavendish, em Londres, já hávia ensaiado queimar ar inflamável em vasos fechados, e que havia obtido uma quantidade de água muito apreciável".<sup>65</sup> Esta interpretação dos fatos foi contestada por Blagden muito posteriormente, em uma carta enviada a *Crell's Chemische Annalen* em 1786.<sup>67</sup> Nela ele manifestava: "Não se pode inculpar M. Lavoisier de haver declarado nada contrário à verdade, mas não se pode negar que escon-

deu uma parte desta, porque deveria haver reconhecido que lhe informei dos experimentos de M. Cavendish alguns dias antes, enquanto que a sua expressão *il nous apprit* (informou-nos) faz surgir a idéia de que não lhe havia informado antes daquele dia preciso. De maneira similar, M. Lavoisier, ocultou uma circunstância de importância extraordinária, ou seja, que o seu experimento efetuou-se como consequência do que eu lhe havia informado. deveria ter feito constar não só que M. Cavendish havia obtido uma quantidade de água muito apreciável, mas também que o peso da água era igual à soma dos dois ares. Devia, além disso, ter acrescentado que foi informado das conclusões tiradas por M.M. Cavendish e Watt, quer dizer, que a água, e não um ácido ou outra substância, é produzida pela combinação de ar inflamável e de ar desflogisticado. E são justamente essas conclusões que abriram a M. Lavoisier o caminho à sua teoria atual, que concorda perfeitamente com a de M. Cavendish, com a diferença de que M. Lavoisier a arranja com a sua velha teoria que nega o flogisto".<sup>70</sup>

É interessante constatar que, sobre estas duas maneiras de relatar os fatos, alguns autores dão mais crédito às palavras de Blagden que às de Lavoisier, quando ambos deveriam merecer a mesma apreciação, sem por isso atribuir-se má fé a nenhum deles. Lavoisier não respondeu às acusações de Blagden e é fácil imaginar que, na sua ótica, isso parecia irrelevante, tendo em conta que, nessa época (1786), já havia dado um acabamento completo à teoria da combustão e derrubado praticamente a do *flogisto*, mesmo se ainda contasse com poucos adeptos.

Pode-se também levantar algumas dúvidas sobre o testemunho de Blagden. assim, pelo que se pode inferir através da carta dirigida a Berthollet, citada no resumo publicado em *Observations sur la Physique* em fins de 1783, Blagden ainda não parecia interessado em comunicar aos seus colegas franceses os verdadeiros resultados obtidos por Cavendish. Como este último demorasse a comunicá-los, Blagden, presumivelmente, só procurava assegurar-lhe a prioridade.<sup>71</sup> Por outro lado é difícil imaginar que Lavoisier houvesse realizado a sua experiência de 24 de junho de 1783, na frente de vários acadêmicos e do próprio Blagden, de maneira improvisada, sem ter preparado com antecedência a aparelhagem adequada. Ele fez construir a primeira caixa pneumática, cujo princípio era de sua invenção, em 1782 e, provavelmente no começo de 1783, fez construir a segunda. Isso permitiu-lhe realizar a combinação dos dois gases, hidrogênio e oxigênio, por meio de um maçarico alimentado pelos mesmos e cuja chama ardia em uma campânula fechada.<sup>72</sup> O problema de combustão do hidrogênio tinha necessariamente que interessar Lavoisier, pois esse era o último elo que faltava para completar a sua teoria. É verdade, também, que esperava descobrir um ácido e é bem possível que, ao ouvir Blagden falar em água (se é que ele falou desse fato antes da experiência do dia 24), Lavoisier tivesse rapidamente percebido a verdadeira natureza do produto da combustão do hidrogênio. Poder-se-ia também pôr em dúvida,

se não a boa fé de Blagden, pelos menos a sua memória. Teria ele relatado a Lavoisier a experiência de Cavendish antes de aquele fazer a sua? ou será que, tendo assistido à experiência de Lavoisier, considerou útil intercalar o parágrafo já citado no texto de Cavendish para assegurar a este a prioridade? São essas questões que ficarão, possivelmente, sem resposta definitiva. Esse é, em todo caso, um problema secundário que geralmente obnubila o primordial. Lavoisier, na verdade, nunca reivindicou a prioridade na descoberta da síntese da água e todo o debate em torno do assunto faz esquecer o fato crucial que é a interpretação dada aos resultados. Como no caso da combustão e da calcinação dos metais, foi a de Lavoisier a correta. Afirmar, como fizeram Cavendish e Watt, que o *ar desflogisticado é água desflogisticada* não implica questionar a natureza elementar da água. Para Lavoisier, a essa altura dos acontecimentos, aquela proposição não podia concordar, em hipótese alguma, com “a sua velha teoria que negava o flogisto”. Demonstrar que a água não era um elemento passou a ser, então, um objetivo de importância fundamental para o acabamento dessa teoria e foi com o intuito de assentá-la sobre bases sólidas e incontrovertíveis que consagrou-se, durante vários anos a esse problema.

Depois de um longo trabalho de preparação, realizado conjuntamente com Meusnier, fez a decomposição e a síntese da água. Nessas experiências utilizou os primeiros gasômetros concebidos pelo seu colaborador e construídos por Megnié, famoso construtor de aparelhos de precisão da época. Esses gasômetros, acabados de construir em fins de 1783, permitiram medir com muita precisão os volumes dos gases empregados.<sup>72</sup> As experiências decisivas sobre a síntese e a decomposição da água foram realizadas em grande escala por Lavoisier e Meusnier no Laboratório do Arsenal de 27 de fevereiro a 12 de março de 1785, na presença de um grande número de convidados e de comissários designados pela Academia. Em primeiro lugar decompunha-se uma grande quantidade de água fazendo-a passar através de um cano de fusil inclinado e incandescente. Depois sintetizava-se a água partindo do hidrogênio recolhido e de oxigênio (obtido do *mercurius precipitatus per se*), os quais se faziam entrar em um balão tarado onde se realizava a combustão.<sup>73</sup>

Essas experiências foram de grande valor tanto pela qualidade e perfeição do material utilizado, como pela realização em grande escala e pelas conclusões que foram inferidas. Os resultados apareceram em um breve artigo, que continha uma ilustração dos aparelhos utilizados, publicado em uma revista de vida efêmera, o *Journal polytype*<sup>74</sup>. Os cadernos de laboratório de Lavoisier contêm os resumos das diversas operações de controle, rubricados pelos comissários da Academia. Mas as narrações circunstanciadas das experiências, confiadas a Meunier, em vista da sua publicação posterior, foram consideradas perdidas durante muito tempo e só redescobertas, em 1956, por D.I. Duveen. Atualmente elas se encontram na Biblioteca da Cornell University. Nessas

notas os resultados são discutidos do ponto de vista puramente matemático e revelam o desejo de Lavoisier de demonstrar que as conclusões obtidas apoiavam-se em cálculos matemáticos rigorosos<sup>73</sup>.

Entre os químicos comissionados pela Academia, presentes nessas experiências, encontrava-se Berthollet (1748-1822) o qual, em 19 de março, escreveu a Bladgen. “Nestes últimos tempos, ocupamo-nos muito com a bela experiência de M. Cavendish sobre a composição da água. M. Lavoisier tratou de aportar a esse tema toda a exatidão de que ela é susceptível”<sup>73</sup>. Nessa carta, Berthollet descrevia brevemente a parte experimental, os pesos das diversas substâncias envolvidas, mas não se manifestava sobre a natureza da água. Poucas semanas depois, em 6 de abril de 1785, ele aderiu definitivamente às idéias de Lavoisier, o que foi uma conversão importante, dado o seu prestígio. Outros acadêmicos presentes, contudo, como Cadet, Baumé e Sage permaneceram intransigentes<sup>73</sup>.

No inverno de 1786-87, a síntese da água foi repetida por Lavoisier, com a colaboração de Laplace com o objetivo de determinar o seu calor de formação<sup>73</sup>. Em 1789 Seguin, fazendo uso dos aparelhos usados por Lavoisier e Meusnier, fez uma nova experiência utilizando oxigênio obtido a partir de clorato de potássio, com o intuito de eliminar a formação de ácido nítrico. Vários acadêmicos, entre os quais, Lavoisier, Meusnier e Laplace, apresentaram um relatório à Academia que não foi aprovado por D’Arcet e Baumé<sup>75</sup>.

Com respeito às prioridades do descobrimento, tanto do oxigênio como da água, é bom assinalar que Lavoisier não pretendeu ter feito mais do que ele fez. Assim, se bem que no seu *Traité Élémentaire de Chimie* ele diz, a respeito do oxigênio: “este ar, que descobrimos quase ao mesmo tempo M. Priestley, M. Scheele e eu”, o que é verdade, em uma memória apresentada à Academia em 5 de junho de 1782, escreve: “este ar que M. Priestley descobriu quase ao mesmo tempo que eu e, creio, mesmo antes do que eu”<sup>76</sup>. No que se refere à síntese da água, no relatório mencionado acima pode-se ler: “M. Cavendish parece ter sido o primeiro que notou que a água produzida nesta combustão é o resultado da combinação de dois gases, cujo peso é igual à soma dos pesos dos outros dois. Várias experiências, feitas em grande escala, de uma maneira precisa, por M.M. Lavoisier, Meusnier, Monge e por M. Lafèvre-Pineau confirmaram esta importante descoberta”<sup>75</sup>.

É preciso não esquecer que no período que vai de 1774 a 1785, Lavoisier, em luta contra todos os químicos da sua época, tratava, não somente de destruir a teoria do *flogisto*, como de impor a sua própria. Mais tarde, com o sucesso obtido por esta última, pôde, certamente, avaliar melhor a sua contribuição e a dos outros. Assim, nas suas memórias escritas a partir de 1792, depois de suprimida a *Ferme Générale* e de ter desocupado o seu laboratório no Arsenal, Lavoisier escreveu: “Comparando esta primeira notícia (a do documento selado de 1772) com a que tinha apresentado no dia 20

de outubro precedente sobre a combustão do fósforo, com a memória que li na Academia na sessão pública da Páscoa de 1775 e, finalmente, com as que publiquei sucessivamente, é fácil ver que eu havia concebido, desde 1772, todo o conjunto do sistema que publiquei posteriormente sobre a combustão. Esta teoria, à qual dei numerosos desenvolvimentos em 1777 e que levei, já naquela época, quase ao mesmo estado que apresenta hoje, só começou a ser ensinada por Fourcroy no inverno de 1786 a 1787; não foi adotada por Guyton-Morveau senão em uma época posterior; enfim, em 1785, Berthollet escrevia ainda no sistema do flogisto. Esta teoria não é, portanto, como ouço dizer, a teoria dos químicos franceses, ela é minha e essa é uma propriedade que reclamo dos meus contemporâneos e da posteridade. Outros, sem dúvida, acrescentaram novas etapas de aperfeiçoamento mas não poderão me contestar, espero, toda a teoria da oxidação e da combustão; a análise e a decomposição do ar pelos metais e os corpos combustíveis; a teoria da acidificação; conhecimentos mais exatos sobre um grande número de ácidos, especialmente dos ácidos vegetais; as primeiras idéias sobre a composição das substâncias vegetais e animais; a teoria da respiração, na qual Seguin colaborou comigo".<sup>77</sup>

Na verdade, um dos primeiros químicos franceses a adotar a teoria de Lavoisier foi Chaptal (1756-1832), professor de química em Montpellier, que o fez através de uma carta dirigida a Lavoisier em junho de 1784.<sup>78</sup> Posteriormente, outros químicos famosos foram aderindo também. O exemplo mais notável foi o de Richard Kirwan (1733-1812), um dos mais sérios defensores da teoria do flogisto, autor de *Essays on phlogiston and the constitution of acids*, publicado em 1788, que tivera grande impacto. Esse texto foi traduzido para o francês por Mme. Lavoisier, embora aparecesse, como era prática nessa época, em se tratando de produção feminina, como de autor anônimo. O livro continha também contribuições críticas de Guyton de Morveau (1737-1816), Lavoisier, Laplace, Monge, Berthollet e Fourcroy (1755-1809). Em 1791 Kirwan escrevia a Berthollet: "Enfim, deponho as armas e abandono o flogisto... Escreverei eu mesmo uma refutação do meu ensaio".<sup>79a</sup> Outra adesão importante foi a de Joseph Black que em uma carta a Lavoisier, publicada em *Annales de Chimie* em 1791, dizia: "Passei trinta anos crendo na teoria do flogisto e ensinando-a... experimentei durante muito tempo um grande afastamento do novo sistema, que apresentava como um erro o que eu considerava uma doutrina sã; contudo, esse afastamento, que não provinha senão da força do costume, tem diminuído gradualmente, vencido pela clareza e a solidez do vosso método...".<sup>79b</sup> Outras conversões importantes foram as de Klaproth (1743-1817) na Alemanha, Spallanzani (1729-1799), Volta e Felice Fontana (1729-1805) na Itália e Proust (1754-1826), nessa época professor em Madri. Em Portugal, o químico brasileiro Vicente de Seabra Telles, aderiu explicitamente à teoria, em um pequeno livro *Dissertação sobre a fermentação em geral, e suas espécies*, publicado em 1787.<sup>80</sup>

## OS ÁCIDOS

Como vimos acima, os trabalhos de Lavoisier sobre a formação do ácido carbônico pela combustão do carvão e do diamante, assim como as do ácido sulfúrico e fosfórico pela do enxofre e fósforo demonstraram a presença de oxigênio nesses ácidos e levaram-no a acreditar na existência de um princípio acidificante ou "princípio oxigênio". Sua opinião estava em franca oposição com a teoria de Stahl admitida por todos seus contemporâneos, mas mesmo assim não deixava de encaixar-se dentro das concepções da química da sua época. O princípio ácido que, desde longa data, os químicos pretendiam isolar e que identificavam a um dos componentes da "tria prima" de Paracelso, o mercúrio, apresentava-se a Lavoisier como real e fácil de identificar.

Na memória apresentada à Academia em 5 de setembro de 1777, referida anteriormente<sup>47</sup>, Lavoisier faz um resumo das suas idéias sobre os ácidos, que já tinham sido apresentadas parcialmente em trabalhos precedentes, e estabelece: "1.º) que o princípio acidificante ou oxigênio, combinado com a matéria do fogo, do calor e da luz, forma o ar mais puro, o que Priestley chamou ar desflogisticado; esta primeira proposição, na verdade, não está rigorosamente demonstrada e é possível que não seja demonstrável; 2.º) que o princípio acidificante ou oxigênio, combinado com as substâncias carbonadas ou carvão, forma o ar gredoso ou ar fixo; 3.º) que, com o enxofre, forma o ácido vitriólico; 4.º) que, com o ar nitroso, forma o ácido do nitro; 5.º) que, com o fósforo de Kunckel, forma o ácido fosfórico; 6.º) que, com as substâncias metálicas, em geral, forma as sales metálicas, salvo as exceções das quais falarei nesta memória ou nas seguintes".

Fala também do ácido sacarino (ácido oxálico) descoberto por Bergman (1735-1784) pela ação do ácido nítrico sobre o açúcar e diz: "Em diferentes memórias, proponho-me a fazer ver, sucessivamente, que, por processos análogos, pode-se unir esse mesmo princípio ao chifre dos animais, à seda, à linfa animal, à cera, aos óleos essenciais, aos óleos obtidos por pressão, ao maná, à cera, ao amido, ao arsênico, ao ferro e, provavelmente, a um grande número de substâncias dos três reinos e convertê-los em verdadeiros ácidos". Pelos seus registros, pode-se constatar, contudo, que essa parte do trabalho era mais complexa do que ele previa, em particular, no que se refere à oxidação do açúcar.<sup>81</sup>

## EXPERIÊNCIAS CALORIMÉTRICAS

Um grande número de trabalhos realizados por Lavoisier, como as experiências calorimétricas e as relacionadas com a respiração, estão fortemente vinculadas ao desenvolvimento e aprimoramento da sua nova teoria química. As primeiras, ele fez conjuntamente com Laplace e ambos os autores apresentaram várias memórias à Academia entre 1782 e 1783. Nesses trabalhos utilizaram um calorímetro muito mais aperfeiçoado que o de

Black (que já definira os conceitos de calor específico e calor latente) e mediram as quantidades de calor pela massa de gelo fundido durante o processo. Esse método havia sido ensaiado anteriormente pelo físico sueco Johan Carl Wilcke (1732-1796) mas com pouco sucesso.

No dia 18 de junho de 1783, Laplace leu a primeira memória sobre o calor feita conjuntamente com Lavoisier, na qual estavam relatadas as experiências realizadas no inverno precedente. O trabalho começa com uma exposição das suas teorias sobre a natureza do calor aceitas na época: "Os físicos estão em desacordo sobre a natureza do calor. Alguns o consideram como um fluido expandido por toda a natureza, o qual se encontra em todos os corpos por haver penetrado mais ou menos neles. Pode combinar-se com eles e, nesse estado, deixa de atuar sobre o termômetro e de se comunicar de um corpo a outro... Outros físicos pensam que o calor não é senão o resultado de um movimento insensível das moléculas da matéria. Sabemos que todos os corpos, mesmo os mais densos, estão cheios de um grande número de poros, de pequenos vazios. Esses espaços vazios deixam às suas partes insensíveis a liberdade de oscilar em todo sentido; é natural pensar, então, que essas partes estão em contínua agitação e que, se esta aumenta até certo ponto, pode chegar a desuni-las e a decompor os corpos. É esse movimento interno o que, segundo os físicos que mencionamos, constitui o calor".<sup>82</sup>

Os autores aplicam à teoria do calor o princípio de conservação das forças vivas, na qual o calor é considerado como a força viva resultante dos movimentos insensíveis das moléculas. Deduzem daí o princípio da conservação do calor na mistura dos corpos e o da invariabilidade da soma dos calores desprendidos e absorvidos, quando se retorna ao estado inicial depois de uma série de combinações, ou mudanças de estado. Não se pronunciam, contudo, por nenhuma das duas hipóteses, acrescentando que possivelmente ambas possam se verificar. A memória prossegue com a descrição das medidas efetuadas que compreendem, não somente a determinação de calores específicos, como também o calor de dissolução e de reações químicas, como a combustão do carvão, do hidrogênio e do fósforo, o calor de detonação do salitre com o carvão e o enxofre, e o calor desprendido por uma cobaia durante dez horas.

## EXPERIÊNCIAS SOBRE A RESPIRAÇÃO

Nas experiências que o levaram à descoberta do *ar desflogisticado*, Priestley tinha observado que a respiração dos animais "deteriorava o ar atmosférico" e que a *bondade* do ar podia ser restaurada pelos vegetais. Black, por seu lado, estudando o *ar fixo*, tinha constatado que o mesmo estava presente no ar expirado pelos animais. Mas foi Lavoisier que estabeleceu sobre bases sólidas a comparação entre respiração e combustão. Na sua memória já citada, sobre a respiração dos animais lida na Academia no dia 3 de maio de 1777, Lavoisier chega às seguintes conclusões: "1.º) que a respiração só

tem ação sobre a porção de ar puro, o ar eminentemente respirável, contido no ar atmosférico; que o excedente, ou seja, a parte mefítica, é um meio puramente passivo, que entra no pulmão e sai praticamente como entrou, quer dizer, sem mudanças e sem alteração; 2.º) que a calcinação dos metais em uma quantidade dada de ar atmosférico não acontece, como já disse muitas vezes, senão até que a porção de ar verdadeiro, de ar eminentemente respirável, contida nele, tenha sido esgotada e combinada com o metal; 3.º) que, da mesma maneira, encerrando os animais em uma quantidade dada de ar, eles morrem uma vez absorvida e convertida em ácido gredoso aeriforme a maior parte da porção respirável do ar, e quando este último é reduzido ao estado de mofeta; 4.º) que a espécie de mofeta que fica depois da calcinação dos metais não difere em nada, de acordo com todas as experiências que fiz, da que fica depois da respiração dos animais, contanto que esta última tenha sido despojada, pela cal ou pelos álcalis cáusticos, de sua parte fixa, ou seja, do ácido gredoso aeriforme que continha; que essas duas mofetas podem ser substituídas uma pela outra em todas as experiências, e que podem ser ambas transformadas em ar atmosférico por uma quantidade de ar eminentemente respirável igual à que perderam".<sup>51</sup>

Na memória sobre o calor, realizada com Laplace, ambos os autores diziam que a respiração era uma combustão muito lenta, inteiramente semelhante à do carvão; que se efetuava no interior dos pulmões, sem originar luz porque a matéria do fogo liberada era imediatamente absorvida pela umidade desses órgãos e que o calor produzido nessa combustão era transmitido ao sangue que atravessava os pulmões e dele a todo o animal.<sup>82</sup> Essa última conclusão seria contestada por Hassenfratz em 1791.<sup>83</sup> Posteriormente, em uma memória lida na Société de Médecine Lavoisier diria: "independentemente da porção de ar vital convertida em ácido carbônico, uma porção do que entrou nos pulmões não volta a sair no mesmo estado; do que se deduz que, na respiração, ou uma porção do ar vital se une ao sangue, ou se combina com uma porção do hidrogênio para formar água."<sup>84</sup>

A partir de 1789, Lavoisier voltou a trabalhar sobre o mesmo tema conjuntamente com Seguin (1765-1835). Trabalharam com cobaias e o próprio Seguin prestou-se a algumas experiências "por mais penosas, desagradáveis ou mesmo perigosas que fossem". Utilizaram, também, misturas de hidrogênio e oxigênio para demonstrar que o nitrogênio não participava na respiração. Madame Lavoisier deixou dois desenhos em que aparecem os dois experimentadores, além de outras pessoas, e ela mesma tomando notas. Mediram as variações de consumo do *ar vital* e dos produtos expirados. Distinguiram a perda de vapor de água pelos pulmões da que se faz pela superfície da pele, mostrando que ambos os processos regulam a temperatura do corpo humano ou animal. Estudaram a influência das condições fisiológicas: digestão, trabalho mecânico, variações da temperatura externa, etc. Em 13 de novembro de 1790, Lavoisier apresen-

tou à Academia uma memória sobre essas experiências, na qual os autores dizem “esse tipo de observações leva a comparar empregos de forças entre as quais não pareceria existir nenhuma relação”. Equiparam, então, os efeitos físicos e mecânicos produzidos pelo trabalho de um operário e o de um intelectual e terminam fazendo considerações morais e sociais, de acordo com os sentimentos que caracterizavam essa época.<sup>85</sup> Uma segunda memória sobre o assunto foi lida na Academia em 4 de maio de 1791 e publicada parcialmente por Seguin nos *Annales de Chimie* em 1814.<sup>86</sup> Três últimas memórias sobre a transpiração e a respiração dos animais foram lidas na Academia nos dias 1º de junho, 12 de novembro e 23 de dezembro de 1791, as duas primeiras por Lavoisier e a terceira por Seguin.<sup>87</sup> Essas foram as últimas contribuições originais de Lavoisier à Academia, embora continuasse participando em outras atividades.

Lavoisier foi também o criador da análise elementar das substâncias orgânicas. Valiosas contribuições sobre esse tema encontram-se na sua memória sobre a combustão do álcool e outros compostos orgânicos, publicadas no volume da Academia correspondente a 1784.<sup>88</sup> Observações adicionais sobre esse assunto apareceram posteriormente no seu *Traité de Chimie* enquanto que muitas outras ficaram inéditas e só foram conhecidas anos depois. Na memória citada mostra que muitas substâncias orgânicas estão compostas só de carbono e hidrogênio, que outras contêm também oxigênio, nitrogênio e fósforo. Utiliza a combustão das substâncias na presença de oxigênio para determinar a composição. Trata também da fermentação do vinho, indicando que é o açúcar que se decompõe produzindo *espírito de vinho* com grande desprendimento de gás carbônico. O açúcar é então um composto de carbono, hidrogênio e oxigênio, ao qual chama *água carbonatada*.

Lavoisier participou, também, de maneira preponderante na elaboração da nova nomenclatura química, proposta por Guyton de Morveau no *Journal de Physique* em maio de 1782.<sup>89</sup> Essa nomenclatura encontrou na teoria de Lavoisier as bases sobre as quais haveria de se estabelecer. Foi ele o encarregado da parte introdutória das comunicações feitas à Academia sobre o tema.<sup>90</sup> Como resultado da atividade conjunta de vários pesquisadores, foi publicada em 1787, sob os auspícios da Academia, a obra *Méthode de Nomenclature Chimique Proposée par MM. de Morveau, Lavoisier, Bertholet (sic) et de Fourcroy*.

Como vimos, Lavoisier ocupou-se das máquinas aerostáticas, inventadas nessa época pelos irmãos Montgolfier e fez várias comunicações sobre métodos mais baratos para obter o hidrogênio que era usado para encher esses balões. Além disso, realizou pesquisas importantes em agricultura para cujo fim comprou uma propriedade e estabeleceu nela um laboratório. Foi considerado uma autoridade em questões agrícolas, sendo nomeado membro da *Société d'Agriculture*.

Fez parte do *Comité des Poids et Mesures* (Comissão de Pesos e Medidas) criado pela Academia em 1791, nas funções de secretário e tesoureiro. Sua contribuição foi

considerável devido às cuidadosas experiências relativas ao peso de um pé cúbico de água a diferentes temperaturas e às determinações de coeficientes de dilatação de régua de platina. A balança utilizada no primeiro caso, fabricada por Fortin, pertencia ao próprio Lavoisier.

## O TRAITÉ ÉLÉMENTAIRE DE CHIMIE

Segundo uma crença, fomentada pelo próprio Lavoisier, tendo este destruído definitivamente a teoria do *flogisto* e convertido à sua nova teoria uma grande parte dos sábios da sua época, decidiu acabar sua obra com a publicação de seu *Traité Élémentaire de Chimie, présenté dans un ordre nouveau et d'après les découvertes modernes*. No prefácio, depois de citar os princípios expostos por Condillac na sua *Lógica* em que diz que “a arte de raciocinar se reduz a uma língua bem feita”, Lavoisier acrescentava: “enquanto eu pensava em me ocupar somente de nomenclatura, enquanto que não tinha outro objetivo que o de aperfeiçoar a linguagem da Química, minha obra transformou-se imperceptivelmente entre as minhas mãos, sem que fosse possível evitá-lo, em um tratado elementar de química”.<sup>91</sup>

Na verdade, Lavoisier pensou em redigir um tratado de química quando sua teoria ainda não estava totalmente acabada, ao que parece entre 1778 e 1780 e começou a preparar a sua obra entre 1780-1781. Embora não sendo professor, sentiu desde cedo a necessidade de transformar o ensino da química, expondo a matéria de maneira completamente diferente da tradicional e indicando o método racional a seguir. Em notas que ficaram inéditas ele relembra as suas primeiras impressões sobre o ensino da química: “quando comecei a estudar um curso de química pela primeira vez, ainda que o professor escolhido por mim (*de La Planche* do Collège Mazarin) fosse considerado o mais claro e mais ao alcance dos iniciantes, surpreendeu-me ver, de quanta escuridão estava rodeadas as primeiras abordagens da ciência”. Depois de se referir à forma racional e rigorosa dos cursos de física e matemática que seguiu, acrescentava: “Na química o caminho era completamente diferente. Desde os primeiros passos começava-se por supor em vez de provar, apresentavam-me palavras que não (se sabia) definir ou, pelo menos, que só se podia definir empregando conhecimentos que eram-me absolutamente desconhecidos e que não podia adquirir senão pelo estudo de toda a química. Assim começavam a ensinar-me a ciência supondo que eu já a sabia”.<sup>92</sup>

É preciso ter presente que, excetuando o livro de Macquer (1718-1784), *Les Éléments de Chimie Théorique* de 1749, todos os outros utilizados nessa época tinham um traço comum. A teoria apresentada no começo, não era utilizada na descrição dos métodos gerais da química ou das operações feitas, não tinha nenhuma repercussão sobre a obra, nem sobre a classificação dos corpos, nem mesmo sobre a sua preparação. Em 1778 Lavoisier começou a redigir o segundo volume dos

*Opuscules Physiques et Chimiques*, projeto depois abandonado em benefício de um tratado em colaboração com Bucquet. Previu que, para a redação do mesmo, um número considerável de experiências, feitas até essa data, deviam ser revistas sob uma luz completamente nova. A morte de Bucquet, ocorrida em janeiro de 1780, fez interromper o projeto. A partir de 1781 Lavoisier preparou dois projetos deferentes. Aparentemente, depois da redação definitiva de seu tratado, que faria em 1788, ele já tinha planejado publicar, posteriormente, uma obra mais completa.<sup>93</sup>

Os dois projetos diferem tanto pela repartição de temas entre os capítulos como pelo conteúdo. O *Traité Élémentaire de Chimie* tal como foi publicado em 1789 começa com o conhecido *Discours préliminaire* (discurso preliminar), inspirado nos ensinamentos de Condillac. Esse discurso contém também algumas passagens que figuram na *Nomenclature*. A primeira parte do livro está consagrada à exposição do seu sistema e tem como título *Da formação dos fluidos aeriformes e de sua decomposição, da combustão dos corpos simples e da formação dos ácidos*. No primeiro capítulo trata do calórico. Se na memória sobre o calor de 1783,<sup>82</sup> Lavoisier e Laplace parecem não concordar sobre a natureza do calor e por isso expõem as duas teorias vigentes, no seu *Traité* Lavoisier adere definitivamente à noção de fluido e ao tratar das variações de temperatura diz: “É difícil conceber esses fenômenos sem admitir que são o efeito de uma substância real e material, de um fluido muito sutil, que se insinua através das moléculas de todos os corpos e as separa”<sup>94a</sup> Mais adiante dá a definição de gás, que se enquadra perfeitamente dentro do pensamento tradicional dos químicos: “O gás é então para nós um nome genérico, que designa o último grau de saturação de uma substância qualquer pelo calórico, é a expressão de uma maneira de ser dos corpos”<sup>94b</sup>

A continuação trata do papel desempenhado na química pelo oxigênio, dos ácidos, da água, da combustão das matérias minerais e orgânicas, das fermentações e dos sais neutros.

A segunda parte contém 45 tabelas, nas quais apresenta de maneira sistemática, e com importantes observações, a composição de todas as substâncias conhecidas então. Na terceira, descreve os aparelhos e as operações da química. É interessante ressaltar a tabela das substâncias simples, ou seja, dos elementos, que é de grande valor histórico, por ser a primeira desse tipo. Nella Lavoisier distribui os elementos em quatro classe: 1) os cinco fundamentais, entre os quais inclui os imponderáveis, luz e calórico; 2) os elementos não metálicos, oxidáveis e acidificáveis; 3) os elementos metálicos, oxidáveis e acidificáveis; 4) os elementos térreos salificáveis, entre os quais inclui a cal, a magnésia, a barita, a alumina e a sílica, mas diz: “não podemos, portanto, assegurar que o que consideramos hoje como simples o seja realmente; tudo o que podemos dizer é que uma dada substância é o limite atual a que chega a análise química e que não pode mais subdividir no estado atual dos nossos conhecimentos”... “pode-se supor que, em bre-

ve, as terras deixarão de figurar entre as substâncias simples, elas são as únicas, de toda esta classe, que não têm nenhuma tendência a se unir ao oxigênio, o que me faz crer que esta indiferença pelo oxigênio é devida ao fato de já estarem saturadas desse gás”, e acrescenta: “Não inclui nessa tabela os álcalis fixos como a potassa e a soda, porque essas substâncias são, evidentemente, compostas, mesmo que ainda se ignore a natureza dos princípios que entram na sua combinação”<sup>95</sup>

No que se refere às afinidades, Lavoisier considerou que os conhecimentos sobre esse tema ainda requeriam novas experiências e advertia no prefácio do *Traité*: “Esta lei rigorosa, da qual não devia afastar-me, de não concluir nada mais além do que as experiências apresentam, e de jamais preencher o silêncio dos fatos, não me permitiu incluir nesta obra a parte da química mais susceptível, talvez, de tornar-se um dia uma ciência exata: é a que trata das afinidades químicas ou atrações eletivas”<sup>96</sup>

Os três capítulos da terceira parte, que tratam da determinação de pesos específicos e balanças, gazometria e calorimetria, constituem uma verdadeira novidade nas obras de química dessa época e mostram a importância dada por Lavoisier aos métodos quantitativos. Os outros capítulos são mais clássicos, embora os consagrados aos aparelhos fabricados por Meugnié e Fortin para Lavoisier sejam de particular interesse. O livro contém, no fim, 13 pranchas de belíssimas ilustrações feitas por Mme. Lavoisier.

## LAVOISIER E A REVOLUÇÃO FRANCESA

Quando começou a revolução francesa, Lavoisier tinha chegado ao ponto mais elevado da sua carreira científica, sendo reconhecido no seu país e no estrangeiro como um dos maiores sábios da França; seu laboratório do Arsenal era o ponto de reunião dos cientistas e intelectuais da época. Sua competência administrativa e financeira era admitida por todos, até o ponto de ter-lhe sido oferecido pelo rei, um junho de 1792, o cargo de ministro das contribuições públicas, cargo que ele rejeitou. Lavoisier, ainda que nobre,<sup>97</sup> como quase todos os intelectuais da sua época, era homem de idéias democráticas e progressistas. Assim, em 1788, escreveu um longo memorando sobre os *Etats Généraux*<sup>98</sup> destinado ao primeiro ministro, no qual defendia firmemente o *Terceiro Estado*.<sup>99</sup> Propunha para este, tantos representantes quanto para a nobreza e o clero reunidos e que o voto fosse individual. Atacava as *lettres de cachet*, que permitiam enviar as pessoas à prisão da Bastilha sem processo e proclamavam a necessidade de absoluta liberdade de opinião e de imprensa. Conjuntamente com outros espíritos liberais, constitucionalistas moderados, como Condorcet, Bailly, Monge, André Chénier, Dupont de Nemours, Mirabeau, etc., formou parte do clube *La Société de 1789*, que teve grande influência no primeiro período revolucionário e cuja importância decresceu com a aparição de sociedades mais radicais co-

mo a dos jacobinos, seus membros chegando a ser acusados até de ser contra-revolucionários.

A partir de 1787 formou parte da Assembléia provincial da região de Orléans e nessa ocasião fez propostas avançadas, como a abolição do trabalho pessoal obrigatório e gratuito, a instituição de regulamentações que favorecessem liberdade de comércio, a fundação de uma caixa de seguros destinada a proteger o povo na miséria e na velhice. Posteriormente, como suplente, Lavoisier não teve oportunidade de participar nos *Etats Généraux*, nem na Constituinte, mas em setembro de 1789 foi eleito membro da Assembléia de representantes do município de Paris. Exerceu outros cargos administrativos, no Banco de Descontos, na Comissão de Moedas, na Comissão de Pesos e Medidas já mencionada. Essas tarefas acabaram por afastá-lo de toda atividade científica.

O primeiro ataque pessoal contra Lavoisier veio de Jean Paul Marat, seu coetâneo, nascido na Suíça, filho de um médico da Sardenha (Giovanni Mara), médico ele mesmo, jornalista revolucionário, porta-voz do jacobinismo, que fundara o jornal *L'Ami du Peuple*, no qual denunciava os que considerava inimigos do povo e da causa revolucionária. Tinha estudado em Bordéus e Paris, doutorando-se depois na Universidade de St. Andrews na Inglaterra. De regresso à França foi nomeado médico do Conde d'Artois (posteriormente Carlos X da França). Escreveu vários livros científicos e nas suas *Recherches Physiques sur le feu* de 1780 não só combatia Newton como também emitia uma teoria da combustão contrária à de Lavoisier. Dizia que uma vela acesa, em um ambiente fechado, apagava por efeito do aumento da pressão do gás. No dia 10 de junho de 1780 Lavoisier leu na Academia um artigo do *Journal de Paris* onde se apresentavam, como tendo sido aprovado pelos acadêmicos, as observações que Marat havia feito e nas quais teria tornado visível o *elemento do fogo*. Lavoisier chamou a atenção sobre o fato de a dita informação não se ajustar à realidade.<sup>100</sup> Nas obras completas de Lavoisier não existe mais nada referente a Marat, mas não há dúvida que este último nunca esqueceu a pouca importância que o maior químico francês da época deu à sua obra. Assim, uma vez fundado *L'Ami du Peuple*, lançou os seus anátemas contra a Academia e principalmente contra Lavoisier. "Denuncio-vos, dizia, o corifeu dos charlatães, o tal Lavoisier, aprendiz de químico,<sup>101</sup> *fermier général*, administrador de pólvora e salitre, que encarcerou Paris e interrompeu a circulação do ar com uma muralha, administrador do Banco de Descontos, membro da Academia de Ciências".<sup>102</sup> Marat o acusou também de adulterar o tabaco com água. A *Ferme Générale* controlava o processamento do tabaco e as taxas impostas sobre o seu comércio; Lavoisier introduziu a prática de umedecê-lo até um certo grau para fazer a folha menos quebradiça. Como era vendido com base no conteúdo de matéria seca, a acusação de Marat não tinha fundamento. Também se deveu a este, a confusão sobre a transferência da pólvora do Arsenal para fora de Paris que mencionamos no começo.

## O FIM DA ACADEMIA

Em 1785, Lavoisier foi nomeado diretor da Academia de Ciências, cargo esse de intensa atividade administrativa, que ele desempenhou com a sua reconhecida eficiência. Nessa ocasião realizou a reforma que ele já vinha propondo desde muito tempo e que entrou em vigor a partir de 1786. Foram assim introduzidas a física geral, as ciências naturais, a geologia, a metalurgia e a agricultura e foi suprimida a classe dos adjuntos.

Nos primeiros tempos da Revolução, a douta assembléia teve o seu prestígio e influência aumentados devido ao fato de uma grande parte de seus membros haver contribuído à criação do ambiente intelectual, propício às idéias revolucionárias. Uma das principais tarefas que lhe foram encomendadas pelo governo revolucionário foi a relativa ao estabelecimento de um novo sistema de pesos e medidas. Foram criadas várias subcomissões e Lavoisier, conjuntamente com Haüy (1743-1822), devia determinar a unidade de peso, o que foi feito em janeiro de 1792. Entre 24 de maio e 5 de junho de 1792, com a colaboração de Borda (1733-1799), fez o estudo da dilatação térmica das régua de platina, destinadas pela Comissão de Pesos e Medidas à medição de bases para a triangulação.<sup>103</sup>

A partir dessa data, começam a se fazer sentir os primeiros ataques contra a Academia, devidos a Fourcroy (antigo colaborador de Lavoisier na elaboração da *Méthode de Nomenclature Chimique*, já citada) membro da Convenção,<sup>104</sup> na qual chegou a possuir muita influência. Assim, na sessão da Academia de 25 de abril de 1792, propôs que, seguindo o exemplo da Sociedade de Medicina, se excluíssem os acadêmicos suspeitos de *incivismo*, ou seja, de opiniões contra-revolucionárias. A Academia adiou a deliberação até o dia 29 e decidiu submeter a lista dos seus membros à consideração do governo para que ele mesmo fizesse a depuração. O governo aprovou uma lista modificada, mas como as instituições do antigo regime eram mais e mais alvo de críticas, os membros da Academia acharam conveniente se apresentar à Convenção para fazerem uma exposição dos seus trabalhos, em particular os relativos à Comissão de Pesos e Medidas, e apresentaram o último volume de suas memórias. A Academia foi bem recebida e até elogiada, mas três dias depois foi-lhe proibido eleger novos membros nos postos deixados vagos pelos que foram eliminados.

Começa então um período de lutas, no qual Lavoisier desenvolveu uma atividade intensa para salvar a instituição, não só contribuindo para ajudar economicamente aqueles acadêmicos que só tinham os honorários da Academia quando o governo cessou seus pagamentos, como também procurando apoio entre os membros da Convenção. Encontrou um decidido defensor em Lakanal (1762-1845), deputado na Convenção, membro da Comissão de Instrução Pública e reformador do sistema educacional durante a Revolução.

Em 25 de maio de 1793, Lakanal obteve algumas resoluções favoráveis, mas no dia 8 de agosto do mesmo ano a Convenção decidiu suprimir todas as sociedades científicas. A Comissão de Instrução Pública propôs que a Academia fosse excluída do decreto até a criação de uma nova instituição que continuasse a sua tarefa. Mas o famoso pintor Dávid, que era membro da Convenção, se opôs firmemente alegando que “as funestas academias não podiam subsistir em um regime livre”,<sup>105</sup> parecer que contou com a aprovação da Convenção. Lavoisier, contudo, conseguiu, através de Lakanal, que no dia 14 de agosto a Convenção Nacional emitisse um decreto permitindo aos acadêmicos continuar as suas reuniões no local da Academia para “ocupar-se especialmente dos assuntos que têm sido ou poderão ser enviados a eles pela Convenção Nacional”.<sup>105</sup> Estipulava-se, também, que os honorários dos acadêmicos seriam pagos como no passado. Esse decreto, no entanto, foi ignorado, devido à oposição de Fourcroy, cuja influência na Comissão de Instrução Pública era cada vez maior. No dia 17 de agosto as portas da Academia foram seladas. Depois, por iniciativa do próprio Fourcroy, decretou-se em 9 de setembro, a criação temporária de uma Comissão de Pesos e Medidas, da qual Lavoisier tomava parte. Contudo, no dia 14 de setembro a casa de Lavoisier foi perscrutada pela primeira vez. Nesse mesmo dia, entrou para a *Société Philomatique*, associação criada em 1789 com o objetivo de fundar um centro científico independente e da qual participariam, entre outros, Berthollet e Fourcroy. A douta companhia, entretanto, renasceu por decreto de 25 de outubro de 1795 com o nome de *Institut de France* e nele seriam reincorporados todos os antigos acadêmicos que não morreram até então e os que não foram executados.

## O PROCESSO DOS *FERMIERS GÉNÉRAUX* E MORTE DE LAVOISIER

Não foi, contudo, por ter defendido a Academia, que Lavoisier morreu no cadafalso, mas por ter sido *fermier général*.

A Assembléia Constituinte acabou com o contrato da *Ferme* em março de 1791, com efeito retroativo a 1º de julho de 1789. Uma comissão de nove *fermiers*, entre os quais não figurava Lavoisier, foi encarregada de preparar um informe sobre as suas atividades até o dia 1º de fevereiro de 1793. Quase ao mesmo tempo, Lavoisier teve que deixar o seu cargo de administrador da pólvora, mas foi autorizado a continuar morando no Arsenal e a conservar o seu laboratório. Finalmente, em 17 de agosto de 1792, depois de várias peripécias, Lavoisier abandonou precipitadamente sua casa e laboratório e foi morrer no *Boulevard de la Madeleine*. Evitou assim ser preso, o que aconteceu com os outros administradores que permaneceram nos seus postos.

O informe dos *fermiers* não foi acabado na data prevista. A Convenção, então, suprimiu a comissão mencionada e ordenou que fossem registrados e selados to-

dos os papéis dos *fermiers*. Foi nessa ocasião que se fez a primeira perquisição na casa de Lavoisier. Os *fermiers* deviam apresentar as suas contas em 1º de abril de 1794. Mas em 24 de novembro de 1793 ordenou-se o seu encarceramento. Lavoisier, contando obter a suspensão da ordem de detenção, tendo em conta os trabalhos oficiais que realizava, escondeu-se por alguns dias e escreveu uma carta à Comissão de Instrução Pública, presidida então por Guyton de Morveau, o qual não fez nada em favor do seu colega. Lavoisier escreveu outra carta à Comissão de Salvação Pública com igual resultado. Então, entregou-se às autoridades. No dia 17 de dezembro a sua casa foi selada; mais tarde, em 8 de janeiro de 1794, os aparelhos, pertencentes à Comissão de Pesos e Medidas, que Lavoisier utilizava na sua casa foram retirados. Na ocasião, o prisioneiro foi conduzido entre dois policiais à sua casa, na presença dos membros da Convenção encarregados de fazer a requisição, entre os quais figuravam: Guyton de Morveau, Fourcroy, Berthollet e Vendermonde; “Quem nos descreverá (dirá mais tarde Grimaux, biógrafo de Lavoisier) os olhares que trocaram o prisioneiro e os convencionais? Que sentimentos deviam agitar esses que viam diante de si, na condição humilhante de um criminoso, o antigo diretor da Academia, o opulento *fermier général*, o ilustre sábio do qual tantas vezes solicitaram o apoio e a aprovação?”<sup>106</sup>

No dia 18 de dezembro a Comissão de Pesos e Medidas solicita à Comissão de Segurança Geral que Lavoisier “possa retornar aos trabalhos importantes que sempre realizou com tanto zelo quanto entusiasmo”. A carta estava assinada corajosamente por Borda e Haüy que, com esse pedido, arriscavam a vida: Borda era um antigo nobre e Haüy um padre *non assermanté*.<sup>107</sup>

A resposta a essa carta veio, na verdade, na forma de uma resolução da Comissão de Salvação Pública de 23 de dezembro, na qual se dizia: “A Comissão de Salvação Pública, considerando que é importante, para o melhoramento do espírito público, que os encarregados do governo não deleguem funções, nem concedem missões, senão a homens dignos de confiança pelas suas virtudes republicanas e o seu ódio pelos reis, depois de consultar os membros da Comissão de Instrução Pública, ocupados especialmente na operação de pesos e medidas (entre os quais estava Guyton de Morveau), decreta que Borda, Lavoisier, Laplace, Coulomb (1736-1806), Brisson e Delambre (1749-1802), cessarão de ser membros da Comissão de Pesos e Medidas a partir desta data”.<sup>108</sup>

Entre os sábios da época, que inspiraram toda confiança à Comissão de Salvação Pública, encontravam-se Monge, Berthollet, Fourcroy, Guyton de Morveau e Vauquelin. Posteriormente, na época do I Império, todos eles receberam títulos de nobreza: os três primeiros de conde, o quarto de barão e o último de cavaleiro.

Houve outras tentativas para salvar Lavoisier. Cadet e Baumé, ainda adversários declarados da teoria química daquele, fizeram declarações muito favoráveis ao seu respeito. O *Bureau de Consultation des Arts et Métiers* (Secretaria de Artes e Ofícios) fez um informe assinado

por Lagrange, presidente, e Coulomb, Servières e Hallé, no qual se expunha com grande destaque o valor dos trabalhos científicos de Lavoisier. Contudo, em 24 de dezembro de 1793 os *fermiers* foram transferidos ao *Hôtel des Fermes* (Palácio da Arrecadação), onde deviam preparar as contas relativas à sua administração. Uma última tentativa de Mme. Lavoisier junto ao acusador Antoine Dupin, também não deu resultado. Seu comportamento digno e os argumentos que utilizou para demonstrar que as acusações contra os *fermiers* eram falsas não fizeram senão irritá-lo. Os *fermiers* apresentaram as suas contas, certos de que a sua inocência ficaria provada, particularmente no que se referia às fraudes e roubos de que eram acusados. Mas isso não convenceu nem aos comissários revisores nomeados pela Convenção, nem a Dupin. Uma das principais imputações foi a relativa ao umedecimento do tabaco, o que ficou depois célebre na história das injustiças judiciais. Com esta operação, se dizia, os *fermiers* tinham vendido água ao preço de tabaco, culpando-os de deverem ao Estado 130 milhões de libras. A outra acusação importante foi a de cumplicidade com as potências estrangeiras. No dia 5 de maio, Dupin apresentou o seu requerimento à Convenção e, no mesmo dia, os *fermiers* foram conduzidos à presença do Tribunal Revolucionário. Naquela noite os acusados foram transferidos à *Conciergerie*.<sup>109</sup> Ali, Lavoisier escreveu a sua conhecida carta a seu primo Auger de Villers. “Tive”, dizia, “uma carreira razoavelmente longa, sobretudo muito feliz, e creio que a minha memória será acompanhada de algum pesar, possivelmente de alguma glória. Que poderia ter desejado de mais? Os acontecimentos nos quais me encontro envolvido me evitarão, provavelmente, os inconvenientes da velhice. Morrerei inteiro, é outra vantagem que devo adicionar às que já tive. Se experimento algum sentimento doloroso é o de não ter feito mais pela minha família, é o de estar totalmente desprovido de tudo e de não poder dar a ela e a vós nenhuma prova de meu apego e de meu reconhecimento. É verdade, então, que o exercício de todas as virtudes sociais, os serviços importantes dados à pátria, uma carreira utilmente empregada no progresso das artes e dos conhecimentos humanos não bastam para preservar-nos de um fim sinistro e de morrer como culpados! Vos escrevo hoje, porque possivelmente amanhã não me será mais possível fazê-lo e porque é um doce consolo ocupar-me de vós e das pessoas que me são caras nestes últimos momentos. Lembrai-me junto às pessoas que se interessam por mim e que esta carta seja também para elas. É certamente a última que vos escrevo”.<sup>110a</sup>

Em 7 de maio os acusados foram examinados separadamente. No dia seguinte, ao amanhecer, os condenados foram conduzidos ante o Tribunal Revolucionário. O presidente Coffinhal começou fazendo o interrogatório sobre as identidades dos acusados. Três *fermiers*, protegidos de Robespierre, receberam ordem de libertação trazidas por comissários da Convenção e em seguida foi feito o requerimento do fiscal Liendon. Deu-se muito pouco tempo à defesa, tendo Hallé mencionado o infor-

me elogioso do *Bureau de Consultation* sobre Lavoisier. Atribuiu-se a Coffinhal a famosa frase, que não parece ter sido pronunciada: “A república não necessita de sábios, é necessário que a justiça siga o seu curso”. Coffinhal insistiu sobre a acusação de cumplicidade com as potências estrangeiras, delito esse punido de morte. Nessa época, do auge do *Terror*, a execução devia se realizar no máximo 24 horas após o veredito. Na tarde do dia 8 de maio começaram a cair as cabeças. A de Lavoisier foi a quarta e foi precedida pela de seu sogro. No dia seguinte, conta-se que Lagrange disse a Delambre: “Não necessitaram senão de um momento para fazer cair essa cabeça e cem anos, não serão suficientes para reproduzir outra semelhante”.<sup>110b</sup>

## AGRADECIMENTO

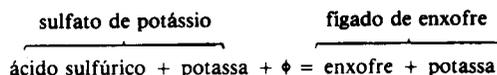
Agradeço aos professores Heloisa Beraldo, Luiz Otávio Amaral e Carlos A. Filgueiras a inestimável colaboração prestada seja na correção do texto, seja pelas inúmeras conversas e intercâmbio de idéias, seja no estímulo proporcionado na realização deste ensaio.

## Notas e Referências

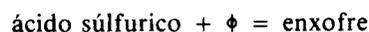
- 1 Thomas S. Kuhn — *The Structure of Scientific Revolutions*, 2<sup>nd</sup> ed., The University of Chicago Press, p. 10 (1970).
- 2 Aldo Mieli — *Lavoisier y la Formación de la Teoría Química Moderna*, Espasa - Calpe Argentina, Buenos Aires, p. 16 (1944).
- 3 Maurice Daumas — *Lavoisier*, Gallimard, Paris, p. 44 (1941).
- 4 Marcellin Berthelot — *La Révolution Chimique. Lavoisier*, Felix Alcan, Paris p. 11 (1980).
- 5 Maurice Daumas — Ref. 3, p. 46.
- 6 *Ibidem*, p. 47.
- 7 A libra, na origem, representava uma libra de prata e menos de 5 g deste metal em 1805.
- 8 Maurice Daumas. Ref. 3, p. 55-59.
- 9 Denis I. Duveen — *Madame Lavoisier 1758-1836, Chymia*, 4:13-29 (1953).
- 10 A *Académie Royale des Sciences* compunha-se de doze membros honorários pertencentes à aristocracia, aos quais estavam reservadas a presidência e a vice-presidência. Seguiam depois doze pensionários, os quais conjuntamente com os doze anteriores dirigiam as tarefas da Companhia. Vinham depois doze associados e doze adjuntos.
- 11 Na Guerra dos Sete Anos (1756-1761) a França perdeu o seu império colonial na América. Surgiram a Grã-Bretanha como a maior potência colonial do mundo e a Rússia como a grande potência européia.
- 12 Aldo Mieli — Ref. 2, p. 27-28.
- 13 O muro que mura Paris torna Paris murmurante.

- 14 Para aumentar o seu numerário e encurtar o nosso horizonte, a *ferme* julgou necessário nos pôr todos em prisão.
- 15 Aldo Mieli — Ref. 2, p. 25-26.
- 16 O pelicano era um balão provido de uma cucúrbita, da qual saíam dois tubos que comunicavam com o primeiro. Fechado hermeticamente permitia aquecer líquidos a refluxo durante muitas horas.
- 17 Uma libra francesa (480,50 g) tinha 16 onças.
- 18 Maurice Daumas — *Lavoisier. Théoricien et Expérimentateur*. Presses Universitaires de France. Paris, p. 132 (1955).
- 19 Uma libra francesa tinha 9216 grãos.
- 20 1° Réaumur equivale a 1,25° Celsius.
- 21 Aldo Mieli — Ref. 2, p. 28-31.
- 22 Antoine Laurent Lavoisier — *Oeuvrés*. Tome I. Imprimerie Impériale. p. 101. (1864).
- 23 Marcellin Berthelot — Ref. 4, p. 46-49.
- 24 O aparelho de Hales é a cuba hidropneumática que, na verdade, parece ter sido inventada por Moitrel d'Elément em 1719.
- 25 Oeuvres de Lavoisier. Correspondance. Receuillie et annotée par René Fric, Fascicule II, 1770-1775. Paris, p. 389-390 (1957).
- 26 Esta última é a versão citada geralmente pelos diversos autores. Ver a esse respeito: Henry Guerlac - A curious Lavoisier episode - *Chymia*, 5, 103-108 (1959).
- 27 Maurice Daumas — Ref. 18, p. 8.
- 28 *Opuscules Physiques et Chimiques*. Lavoisier, Oeuvres, op. cit. Tome I, p. 612.
- 29 Ibidem, p. 614.
- 30 Ibidem, a) p. 620; b) p. 634.
- 31 Lente que concentrava a luz do sol, a lente do Palais Royal, de cerca de 90 cm de diâmetro, pertencia à Academia.
- 32 Maurice Daumas — Ref. 18, p. 31.
- 33 Sidney J. French — The chemical revolution. The second phase. *J. Chem. Ed.*, 27:83-89 (1950).
- 34 Essai d'expériences chimiques faites sur quelques précipités de mercure, dans la vue de découvrir leur nature. Par M. Bayen, apothicaire-majon des Camps et Armés du Roi — *Observations sur la Physique, sur l'Histoire Naturelle et sur les Arts*. Tome II. Février, 129-145 (1774).
- 35 Ibidem, Seconde partie, Avril, 280-295 (1774).
- 36 Rapport sur une contestation entre M.M. Cadet et Baumé sur le précipité *per se*. Do 19 de novembro de 1776. Lavoisier, *Oeuvres*, op. cit. Tome IV, 188-190.
- 37 O óxido nítrico (NO) na presença de ferro ou de *figado de enxofre* (obtido por fusão de potassa e enxofre) é reduzido a óxido nítrico (N<sub>2</sub>O).
- 38 Joseph Priestley — *Experiments and observations on different kinds of air*. Volume II. Section III. London p. 29-48 (1775) in H.M. Leicester and H.S. Klickstein. *A Source Book in Chemistry*, p. 116.
- 39 Ibidem, p. 117. Segundo comentário do próprio Priestley, ele já tinha observado anteriormente a presença de *ar fixo* no minio, devido, certamente à presença de carbonatos nas amostras.
- 40 Ibidem, p. 119. A *bondade* do ar foi *medida* por Priestley em 1772. Esse método consistia em misturar um dado volume de ar com *ar nitroso* (NO) sobre água, medindo a contração de volume devida à combinação deste com o oxigênio e a dissolução na água do NO<sub>2</sub> formado.
- 41 Mémoire sur la nature du principe qui se combine avec les métaux pendant leur calcination, et qui en augmente le poids. *Observations sur la Physique*. Lu à la rentrée de l'Académie le 1 a 26 Avril par M. Lavoisier. Tome V. 429-433, Mai 1775. Na nota de pé de página, Lavoisier escreveu: "As primeiras experiências relativas a esta memória foram feitas faz mais de um ano; as do mercúrio *precipitado per se* foram tentadas com o vidro ardente no mês de novembro de 1774 e feitas depois com todas as precauções e cuidados necessários no laboratório de Montigny, conjuntamente com M. Trudaine em 28 de fevereiro, 1 e 2 de março deste ano; finalmente foram repetidas novamente em 31 de março último, na presença do duque de la Rochefoucault, de M. de Trudaine, de M. de Montigny, de M. Macquer e de M. Cadet.
- 42 Mémoire sur la nature du principe qui se combine avec les métaux et en augmente le poids. Mémoire lu à la rentrée publique de Pâques 1775, relu le 8 août 1778. Mémoires de l'Académie des Sciences, année 775, p. 520. Lavoisier - *Oeuvres* - Op. cit., Tome II. p. 122-128. (1862).
- 43 Mémoire sur la combustion du phosphore de Kunkel et sur la nature de l'acide qui résulte de cette combustion. Lavoisier - *Oeuvres* - Op. cit., Tome II, p. 139-152(1862).
- 44 Na verdade, a prioridade na descoberta do oxigênio deve ser atribuída a Scheele (1742-1786), que o obteve, por diversos métodos, entre 1770 e 1773 e o denominou *ar do fogo*. Seus trabalhos só foram conhecidos em 1777, mas ele descreveu seus resultados em uma carta enviada a Lavoisier em setembro de 1774, in Aaron S. Ihde - *The Development of Modern Chemistry*. Dover Publications. New York. p. 62 (1964)
- 45 Pelo que se sabe, Priestley falava mal francês e Lavoisier falava e compreendia mal inglês, mas conta com uma boa tradutora: Mme. Lavoisier.
- 46 Priestley - Ref. 38, p. 114.
- 47 Considérations générales sur les acides et sur la manière dont ils sont composés. Memória apresentada à Academia no dia 5 de setembro de 1777. Lida a partir do dia 17 de novembro de 1779. Lavoisier - *Oeuvres*, op. cit., Tome II, p. 248-260 (1862).
- 48 Mémoire sur quelques fluides que l'on peut obtenir à un degré de chaleur peu supérieur à la température moyenne de la terre. Lavoisier, *Oeuvres*, op. cit., Tome II, p. 261-270 (1862).
- 49 Thomas S. Kuhn - Ref. 1, p. 55.
- 50 Ibidem, p. 46.

- <sup>51</sup> Expériences sur la respiration des animaux et sur les changements qui arrivent à l'air en passant par leur poumon. Memória lida na Academia no dia 3 de maio de 1777. Lavoisier - *Oeuvres*, op. cit., Tome II, p. 174-183 (1862).
- <sup>52</sup> De acordo com Stahl o enxofre queima no ar dando ácido sulfúrico e eliminando *flogisto* ( $\phi$ ). Em 1697 esse autor demonstrou a operação inversa: aquecendo o sulfato de potássio com carvão (rico em flogisto) resulta uma massa escura idêntica ao *figado de enxofre*. Pode-se escrever então a seguinte equação:



Daí resulta:



- <sup>53</sup> Mémoire sur la dissolution du mercure dans l'acide vitriolique et sur la résolution de cet acide en acide sulfureux aériforme et en air éminemment respirable. Memória apresentada à Academia por Lavoisier e Bucquet em 5 de setembro de 1777. Lavoisier - *Oeuvres*, op. cit., Tome II, 194-198 (1862).
- <sup>54</sup> Mémoire sur l'existence de l'air dans l'acide nitreux et sur les moyens de décomposer et récomposer cet acide. Memória lida na Academia no dia 20 de abril de 1776. Lavoisier - *Oeuvres*, op. cit., Tome II, p. 129-1338 (1862).
- <sup>55</sup> Marcellin Berthelot, Ref. 4, p. 74.
- <sup>56</sup> Lavoisier - *Oeuvres*, op. cit. Tome II, 225-233 (1862).
- <sup>57</sup> Ibidem, 391-402.
- <sup>58</sup> Ibidem, 623-655.
- <sup>59</sup> Lavoisier emprega pela primeira vez a expressão *acide crayeux aériforme* (ácido gredoso aeriforme) para o gás carbônico na memória da referência 51. Nessa época o nome *ar inflamável* era utilizado para designar indiscriminadamente o hidrogênio, o óxido de carbono, o metano e outros hidrocarbonetos. Habitualmente indicava-se a origem. Cavendish o obtinha a partir dos ácidos sulfúrico e clorídrico.
- <sup>60</sup> Pierre J. Macquer - *Dictionnaire de Chimie*, Paris, vol. 1, 583 (1778).
- <sup>61</sup> Joseph Priestley. *Experiments and observations relating to various branches of Natural Philosophy*. Birmingham (1781).
- <sup>62</sup> Henry Cavendish. *Experiments on air*. Read January 15, 1784. Philosophical Transactions 74, 119-153 (1784) in H.M. Leicester and H.S. Klichstein, op. cit. p. 142-153.
- <sup>63</sup> Maurice Daumas. Ref. 18, p. 32.
- <sup>64</sup> Mémoire dans lequel on a pour objet de prouver que l'eau n'est point une substance simple, un élément proprement dit, mais qu'elle est susceptible de décomposition et de récomposition. Mémoire lu à la rentrée publique de la St. Martin de 1783. Mémoires de l'Académie de Sciences, année 1781 (publicadas em 1784), p. 468. Lavoisier - *Oeuvres*, op. cit., Tome II, p. 334-359 (1862).
- <sup>65</sup> Maurice Daumas - Ref. 18. p. 48-49. A expressão *peso por peso* (poids pour poids), deve ser interpretada como: a soma dos pesos dos gases combinados deve ser igual ao peso da água formada, o que era necessário provar. Ibidem, p. 139.
- <sup>66</sup> Sidney M. Edelstein - The water controversy, *Chymia*, 1: 123-134 (1948).
- <sup>67</sup> Extrait d'un mémoire lu par M. Lavoisier à la séance publique de l'Académie Royale des Sciences le 12 Novembre, sur la nature de l'eau, et sur les expériences qui paraissent prouver que cette substance n'est point un élément proprement dit, mais qu'elle est susceptible de décomposition et récomposition. *Observations sur la Physique*. Tome XXIII (2) 452-455 (1783).
- <sup>68</sup> Mémoire ou l'on prove, par la décomposition de l'eau, que ce fluide n'est point une substance et qu'il y a plusieurs moyens d'obtenir en grand l'air inflammable qui y entre comme principe constituant. Par MM. Meusnier et Lavoisier. Lu le 21 Avril de 1784. Mémoires de l'Académie des Sciences, année 1781, p. 269. Lavoisier - *Oeuvres*, op. cit. Tome II, p. 360-372 (1862).
- <sup>69</sup> Aldo Mieli, Ref. 2, p. 95.
- <sup>70</sup> Maurice Daumas, Ref. 18, p. 85.
- <sup>71</sup> Ibidem, p. 143-146.
- <sup>72</sup> Maurice Daumas and Denis I. Duveen. Lavoisier's relatively unknown large-scale decomposition and synthesis of water, february 27 and 28, 1785. *Chymia*, 5: 113-129 (1959).
- <sup>73</sup> Developpement des dernières expériences de la décomposition et récomposition de l'eau, faites par M.M.Lavoisier et Meusnier, de l'Académie des Sciences. *Journal Polytypé*, 1: 21-44 (1784) in *Oeuvres de Lavoisier. Correspondance*. Fascicule IV, 1784-1786. Annexe IV. Editions Belin. Paris, p, 305-309 (1986).
- <sup>74</sup> Rapport sur une nouvelle experience relative à la formation de l'eau, du 28 août 1789. Lavoisier - *Oeuvres*, op. cit. Tome II, p. 515-518 (1862).
- <sup>75</sup> Mémoire sur un moyen d'augmenter considérablement l'action du feu et la chaleur dans las opérations chimiques. 28 août 1789. Lavoisier - *Oeuvres*, op. cit., Tome II, p. 423-431 (1862).
- <sup>76</sup> Lavoisier, *Oeuvres*, op. cit., Tome II, p. 104 (1862).
- <sup>77</sup> Lavoisier, *Correspondance*, Ref. 74, p. 308.
- <sup>78</sup> a) Aldo Mieli, Ref. 2, p. 119; b) Annales de Chimie; VIII (3) 225-229 (1791).
- <sup>79</sup> Carlos A. Lombardi Filgueiras, Pioneiros da Ciência no Brasil, *Ciência Hoje*, 8, N° 44, 52-58 (1988).
- <sup>80</sup> Marcellin Berthelot, Ref. 4, p. 77.
- <sup>81</sup> Mémoire sur la chaleur, publicada no volume de 1780. Lavoisier, *Oeuvres*, op. cit., Tome II, p. 283-333 (1862).
- <sup>82</sup> Hassenfratz, que fora auxiliar de Lavoisier e que, nessa época, colaborava com Lagrange, refere-se à opinião deste último, em um trabalho publicado

nos *Annales de Chimie IX*, 225-229 (1791). De acordo com ela o calor resultante da economia animal deveria produzir-se em todas as partes do corpo por onde circula o sangue.

- <sup>84</sup> Aldo Mieli, Ref. 2, p. 107.
- <sup>85</sup> Mémoire sur la respiration des animaux, Lavoisier, *Oeuvres*, op. cit., Tome II, p. 688-703 (1862).
- <sup>86</sup> Maurice Daumas, Ref. 18, p. 64.
- <sup>87</sup> Ibidem, p. 65.
- <sup>88</sup> Mémoire sur la combinaison du principe oxygène avec l'esprit de vin, l'huile et différents corps combustibles. Lavoisier, *Oeuvres*, op. cit., Tome II, p. 586-600 (1862).
- <sup>89</sup> Mémoire sur les dénominations chimiques, la nécessité d'en perfectionner le système et les règles pour y parvenir in Aldo Mieli, Ref. 2, p. 115.
- <sup>90</sup> Mémoire sur la nécessité de réformer et de perfectionner la nomenclature chimique. Memória lida na Academia em 18 de abril de 1787. Lavoisier, *Oeuvres*, op. cit., Tome V, p. 354.
- <sup>91</sup> Lavoisier, *Oeuvres*, op. cit. Tome I, p. 1.
- <sup>92</sup> Maurice Daumas, Ref. 18, p. 93.
- <sup>93</sup> Ibidem, p. 99-107.
- <sup>94</sup> a) Lavoisier, *Oeuvres*, op. cit., Tome I, p. 19; b) Ibidem, p. 47.
- <sup>95</sup> Ibidem, p. 137.
- <sup>96</sup> Ibidem, p. 5.
- <sup>97</sup> A nobreza de Lavoisier era muito recente. Seu pai havia comprado um título hereditário em 1772.
- <sup>98</sup> Mémoire sur la convocation des Etats Généraux, in Aldo Mieli, Ref. 2, p. 129-130.
- <sup>99</sup> Os Etats Généraux (Estados Gerais) eram uma assembleia que o rei convocava e que se compunha de representantes dos três *estados*: nobreza, clero e *terceiro estado* (pequena burguesia: comerciantes, artesãos e camponeses) em partes iguais. Esses *estados* não se reuniam desde 1614 e o rei foi obrigado a convocá-los em 1788, reunindo-se pela primeira vez em 5 de maio de 1789. Com a revolução, transformaram-se rapidamente em *Assemblée Nacional* e depois em *Assemblée Constituante*.
- <sup>100</sup> Remarque sur une assertion de M. Marat. Lavoisier, *Oeuvres*, op. cit. Tome IV, p. 360 (1868).

- <sup>101</sup> Wohlard, em 1868, diria de Lavoisier que havia sido um rico financista que executava, nas horas vagas, alguns trabalhos de amador de segunda ordem. Maurice Daumas, Ref. 18, p. 71.
- <sup>102</sup> Aldo Mieli, Ref. 2, p. 134.
- <sup>103</sup> Maurice Daumas. Ref. 18, p. 66.
- <sup>104</sup> No dia 10 de agosto de 1792 houve uma sublevação popular, que foi chamada *a segunda Revolução Francesa*. A Comuna (municipalidade) de Paris, em poder dos insurretos, tomou o poder e o rei foi preso na *Tour du Temple*. A *Convenção Nacional*, escolhida por sufrágio universal, tomou posse no dia da batalha de Valmy (20 de setembro). Nessa, pela primeira vez, as tropas revolucionárias derrotaram a coligação monárquica sob o comando dos prussianos. A história dessa assembleia foi marcada pela luta entre girondinos e jacobinos. Com a prisão e execução dos girondinos, os jacobinos ficaram donos do poder. A 10 de outubro de 1793, a *Convenção* decretou que o governo da França seria *revolucionário*, isto é, de exceção até a paz. Segundo as palavras de Robespierre: "O governo revolucionário deve dar prova de uma energia incomum, precisamente por se achar em estado de guerra... O governo revolucionário está obrigado a proteger os bons cidadãos, porém, para os inimigos do povo, só resta uma coisa: a morte". O novo regime caracterizou-se pela criação de um executivo com vastos poderes, divididos em dois órgãos responsáveis perante a *Convenção*: O *Comité de Salut Public* (Comissão de Salvação Pública) e o *Comité de Sureté Générale* (Comissão de Segurança Geral). O primeiro iria governar ditatorialmente a França e salvá-la da invasão estrangeira.
- <sup>105</sup> Aldo Mieli, Ref. 2, p. 138.
- <sup>106</sup> Ibidem, p. 140.
- <sup>107</sup> Os padres *assermentés* eram os que tinham jurado fidelidade à Revolução.
- <sup>108</sup> Aldo Mieli, Ref. 2, p. 141.
- <sup>109</sup> A *Conciergerie*, situada no atual Palácio da Justiça, era o lugar aonde se enviavam os presos antes de serem julgados pelo Tribunal Revolucionário.
- <sup>110</sup> a) Aldo Mieli, Ref. 2, p. 144; b) Ibidem, p. 145.

## ANEXO B

ALFONSO-GOLDFARB, A. M.; FERRAZ, M. H. M.; As possíveis origens da Química Moderna. **Revista Química Nova**. v. 16, n. 01, p. 63-38, jan., 1993.

## 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 realidade<sup>1</sup>, 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 aos tempos anteriores a Stahl, esquecerem-se por um momento, se possível, de que sua teoria existiu" <sup>2</sup>.*

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 XX<sup>3</sup>.

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 outros<sup>4</sup>. 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 pleno<sup>5</sup>.

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 verdadeiramente *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 ..."*<sup>6</sup>

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 experimental<sup>7</sup>.

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 contestador<sup>8</sup>.

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 combustíveis, mais eficazes e baratos do que os já conhecidos<sup>9</sup>.

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 XVII<sup>10</sup>. 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 devida<sup>11</sup>.

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 experimentais<sup>12</sup>.

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 retomaram<sup>13</sup>.

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 pares<sup>14</sup>. 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 medido<sup>15</sup>.

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-lo<sup>16</sup>.

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 química<sup>17</sup>. 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 combustão<sup>18</sup>, 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 ..."*<sup>19</sup>

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)<sup>20</sup>, mas a estes acrescenta o "ar fixo" como uma constante. Todavia, em 1773, começa a fazer críticas mais duras à confusão 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 anteriores<sup>21</sup>. 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 equivalem<sup>22</sup>. 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"<sup>23</sup>. 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"<sup>24</sup>. 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."*<sup>25</sup>

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 falta<sup>26</sup>.

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)<sup>27</sup>.

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 relatos<sup>28</sup>.

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 experimentadores<sup>29</sup>. 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"<sup>30</sup>.

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"<sup>31</sup>. 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 médico<sup>32</sup> !!!

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 geral<sup>33</sup>.

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 emprestará 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 químicos

- 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 integrante<sup>34</sup>. 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 animal<sup>35</sup>.

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**

## ANEXO C

FAUQUE, Danielle. O Papel Iniciador de Lavoisier. **Química Nova**, vol. 18, pp. 567-573, 1995.

O PAPEL INICIADOR DE LAVOISIER<sup>#</sup>

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*<sup>ii</sup> 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 mito<sup>i</sup> 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<sup>2d</sup>. Enfim em 1874, Wurtz, amargurado pela derrota de 1870<sup>iii</sup> 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 inéditos<sup>3</sup>. 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<sup>2o</sup> 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<sup>4,5</sup>. 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<sup>2a</sup>.

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 flogisto<sup>6</sup>. 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 numerosísimos 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

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

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

<sup>iii</sup> 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 meffítico 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 1764<sup>7</sup>, 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<sup>2f</sup>.

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<sup>iv</sup>, 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 mar<sup>5</sup>. 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<sup>v</sup> 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].

<sup>iv</sup> João Jacinto de Magalhães, expatriado português na Inglaterra, autor de várias obras científicas, membro da Royal Society e amigo de Priestley (N. T.).

<sup>v</sup> 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 dióxido de nitrogênio numa amostra de gás.

Após ter repetido os experimentos de Priestley<sup>4</sup>, 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 intervem 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<sup>vi</sup>.

### ... 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 sobrepassa 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 ácidos<sup>8</sup>, 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<sup>2a</sup>.

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 af esclarecido<sup>vii</sup>.

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<sup>2c</sup>. 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<sup>2b</sup>. Eles decomuseram 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<sup>2g</sup>; 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

<sup>vi</sup> 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].

<sup>vii</sup> 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<sup>viii</sup>, 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 Morveau<sup>9</sup>.

### 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<sup>ix</sup>. 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<sup>x</sup>. 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.

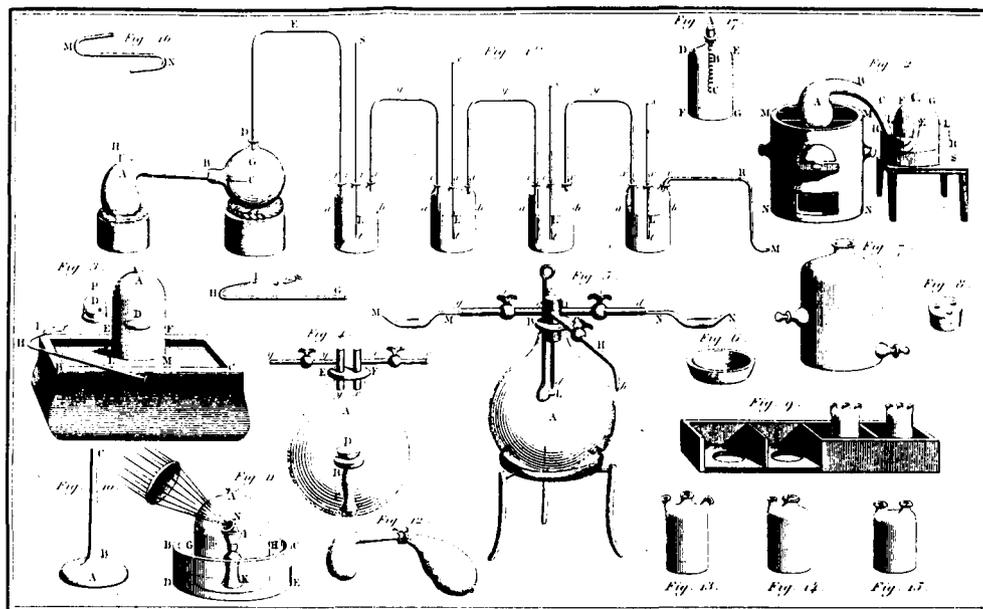


Figura 1. Ilustração extraída do *Traité élémentaire de chimie*. No original, Prancha IV.

<sup>viii</sup> 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.).

<sup>ix</sup> Os historiadores da química se dividem entre duas escolas de pensamento. Para M. Beretta<sup>3</sup> é uma ruptura; para B. Bensaude-Vincent<sup>1c</sup> é uma mudança sem ruptura.

<sup>x</sup> Ver em particular o estudo que F. Abbri consagra a Fontana, na Itália<sup>11</sup>.

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<sup>xi</sup>, 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<sup>xii</sup>.

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 Nomenclatura<sup>10</sup>

“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.

<sup>xi</sup> J. P. Poirier<sup>5</sup> para o papel de Lavoisier na economia; A. Donovan<sup>4</sup> para o estudo do homem Lavoisier em seu meio social.

<sup>xii</sup> 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, *nitrato 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.

## **ANEXO D**

FILGEIRAS, Carlos A. L. Lavoisier – o estabelecimento da química moderna. São Paulo: Editora Odysseus, 2007.

## A REVOLUÇÃO QUÍMICA DE LAVOSIER: UMA VERDADEIRA REVOLUÇÃO?

Carlos A. L. Filgueiras

Departamento de Química - UFMG - 31270-901 - Belo Horizonte - MG

Recebido em 4/5/94; aceito em 26/7/94

From 1989, when the bicentennial of publication of Lavoisier's "Traité Élémentaire de Chimie" was celebrated, until the present year, when the two-hundredth anniversary of the French chemist's death is being commemorated, much has been said and written on his life and oeuvre. The present work aims at discussing the theme of scientific revolutions in the light of several current models, applying the concepts to the chemical revolution of the late 18th century. Conceptual and historical aspects of the phenomenon are discussed, trying to relate it to other movements of similar magnitude within or without the scientific field.

**Keywords:** Lavoisier; chemical revolution.

A publicação em 1962 do livro de Thomas Kuhn *The Structure of Scientific Revolutions*<sup>1</sup> desencadeou uma verdadeira torrente de trabalhos versando sobre a natureza do progresso da ciência. A idéia de paradigmas que se opõem e se sucedem, inerente à obra de Kuhn, deitou por terra a noção de progresso científico gradual, cumulativo e constante, como sustentava George Sarton<sup>2</sup>. Mais recentemente, no entanto, o conceito kuhniano de revoluções científicas em que novos paradigmas se sucedem, eliminando inexoravelmente os sistemas anteriores também tem sido amplamente questionado, e novas formulações têm enriquecido sobremaneira o debate<sup>3</sup>.

O conceito de revolução científica está arraigado e faz parte da linguagem corrente. Por isto é conveniente discuti-lo e, numa comunidade química, examinar sua aplicabilidade à chamada revolução química de Lavoisier, neste ano em que se comemora o bicentenário de morte do químico francês. O que é, no entanto, uma revolução científica e por que a expressão poderia ser aplicada à obra lavoisieriana?

O conceito de revolução tem variado ao longo da história. A palavra inexistia entre os autores clássicos, tendo surgido no latim tardio, como *revolutio*, significando um simples movimento de uma coisa de um lugar para outro<sup>4</sup>. Seu uso só se difundiu a partir do ocaso da Idade Média, quando vários autores italianos, como Maquiavel, usaram a palavra *rivoluzione* para indicar qualquer desordem política, como um sinônimo de tumulto<sup>4</sup>. Uma grande mudança ocorreu no século 16 quando Copérnico utilizou o termo no título de seu livro *Das Revoluções dos Orbes Celestes*, consagrando-o no sentido que ele ainda conserva em astronomia. Todavia, o século 16 também era uma época em que a astrologia gozava de grande prestígio; o desejo de associar os eventos celestes aos da terra não poderia deixar de trazer a palavra em sua acepção copernicana até a vida dos homens<sup>4</sup>. Neste sentido, por exemplo, a crença religiosa da segunda vinda de Cristo e a restauração da humanidade em seu estado de graça anterior à queda original adequava-se bem à acepção de recorrência da palavra revolução.

Neste mesmo tom, já no século 17, Thomas Hobbes deu sua definição clássica de revolução ao analisar os eventos da guerra civil inglesa, com a execução do rei Carlos I, o governo de Cromwell e a subsequente restauração da monarquia sob Carlos II. Assim escreveu Hobbes no *Behemoth: Eu vi nesta revolução um movimento circular do poder soberano passando por dois usurpadores, a partir do finado rei até seu filho. Pois [o poder] passou do rei Carlos I ao Longo Parlamento e em seguida à Cauda do Parlamento; desta última para Oliver*

*Cromwell, e de Richard Cromwell de volta à Cauda do Parlamento; daí ao Longo Parlamento, e deste para o rei Carlos II; possa ele mantê-lo por muito tempo*<sup>4</sup>.

Nas décadas seguintes as duas acepções da palavra revolução coexistiram nos escritos dos pensadores europeus, até à definição proposta por Diderot na Enciclopédia: *uma mudança considerável acontecida no governo de um estado*<sup>4</sup>. Este foi também o sentido que permeou desde então o uso do termo em sua aplicação às mudanças nas ciências naturais: um processo de rejeição ou ruptura de um sistema existente (ou paradigma, na fraseologia kuhniana) e sua substituição por outro, capaz de fazer avançar o conhecimento naquela dada ciência. Este processo pressupõe tanto um aspecto teórico, isto é, a construção de um arcabouço lógico consistente e consonante com a experiência e a observação, assim como sua aplicação a problemas práticos, conciliando teoria e dados empíricos.

É interessante comparar os fenômenos revolução científica e revolução social ou política. Os autores destas últimas têm plena consciência de serem revolucionários desde seu engajamento no processo, de planejarem desde o início um rompimento com o *status quo*; nas revoluções científicas, ao contrário, isto nem sempre ocorre. Planck, por exemplo, não se imaginava um revolucionário ao fundar a mecânica quântica no início do presente século. Evidentemente o mesmo não se poderia dizer de Lênin. No entanto, ambos foram revolucionários em grande escala.

O revolucionário político acredita no estabelecimento de uma nova ordem social e política diversa da anterior, e caminha conscientemente nesse sentido. Ao contrário, a consciência de estar implantando um novo sistema (ou paradigma) muitas vezes está ausente na formulação do mesmo pelos protagonistas das revoluções científicas, como no caso de Planck mencionado acima.

Tanto na área social como na científica ocorrem revoluções ou tentativas de revoluções que malogram ou são abortadas antes mesmo de se manifestar: no primeiro caso estão as revoluções de 1848 por toda a Europa ou a Inconfidência Mineira. Na área científica pode-se apontar a tentativa de Boyle em causar uma revolução que substituisse a alquimia moribunda por uma química moderna; malgrado todas as grandes realizações de Boyle, sua obra não teve a magnitude e a abrangência que alcançaria mais tarde Lavoisier. A química do flogisto ou a química de coordenação de Jørgensen<sup>5</sup> também são exemplos de malogros em estabelecer com êxito novos paradigmas, embora tivessem tido uma voga relativa.

Os exemplos citados remetem-nos à consideração de que há revoluções de grande ou de menor monta. Assim se classificariam, respectivamente, as duas revoluções russas de 1917 e de 1905, bem como o estabelecimento da mecânica quântica com Planck e o desenvolvimento da espectroscopia a partir de Bunsen e Kirchhoff<sup>6</sup>. Este último caso foi notável como exemplo do que se poderia melhor chamar talvez de uma pré-revolução, pois expandiu consideravelmente o conhecimento da química ao possibilitar a descoberta de inúmeros elementos novos e sua análise espectroscópica. Esta levou à espetacular descoberta de um novo elemento, o hélio, no sol, em 1868, muitos anos antes que Ramsay o descobrisse na terra<sup>6</sup>. Todavia, por mais importantes que tenham sido os resultados da espectroscopia no século 19, ela não constituiu um novo paradigma, embora encerrasse muitos dos componentes essenciais à construção da revolução quântica que se seguiu. Com efeito, foi a espectroscopia atômica que levou à idéia, expressa primeiramente na equação de Balmer, de que existem certos estados discretos de energia nos átomos, e apenas esses, e que, conseqüentemente, as variações de energia nos átomos não são contínuas. Este é um aspecto fundamental da mecânica quântica. Todavia, o estudo da espectroscopia no século 19 era essencialmente empírico, faltando-lhe o importante componente teórico que caracteriza a mecânica quântica.

As grandes revoluções científicas trazem em seu bojo o germe de um componente ideológico de enormes conseqüências. Elas têm o potencial de extravasar do domínio meramente científico e afetar profundamente o homem. Assim, enquanto a chamada revolução copernicana retirou o homem do centro do universo, a revolução de Darwin fê-lo sentir-se não mais que uma das tantas espécies que habitam o planeta. A revolução freudiana abalou a arraigada noção de pecado e a possibilidade de reduzir todos os processos do cérebro humano a um caráter puramente racional.

No caso da revolução quântica (ou quântico - relativística), uma conseqüência importante diz respeito à confiança nos próprios paradigmas científicos. O abalo sofrido pelo grande e aparentemente indestrutível edifício da física newtoniana gerou uma semente de dúvida a partir da qual mesmo as teorias mais bem estruturadas e supostamente inexpugnáveis passam a não mais ter qualquer caráter de verdade acabada, mas sim de que representam a percepção da natureza nas circunstâncias e na época em que a teoria foi formulada.

Cohen<sup>7</sup> considera a necessidade de dois critérios para chamar um fenômeno de revolução científica: um critério externo (houve uma mudança) e outro interno (o grau de profundidade dessa mudança). O mesmo autor salienta uma grande diferença entre a revolução de Lavoisier e a copernicana (que na realidade foi mais kepleriana e galileana).

A revolução de Lavoisier foi a primeira na história a ser assim percebida e proclamada por seu protagonista principal e por seus contemporâneos, ao passo que a copernicana só veio a ser reconhecida como tal bastante tempo após ocorrer.

Lavoisier escreveu em suas notas de laboratório de 20 de fevereiro de 1773<sup>8</sup>, a propósito de seus trabalhos na química dos gases: *a importância do tema me obrigou a voltar a este trabalho que, no meu entender, está fadado a provocar uma revolução no terreno da física e da química*<sup>9</sup>. Esta intuição prematura de uma verdadeira revolução que se avizinhava foi mais tarde reafirmada em carta de 1791 a Chaptal, portanto quase duas décadas após a observação inicial: *todos os cientistas jovens adotam a nova teoria e daí eu concluo que a revolução na química está realizada*<sup>9</sup>. No ano anterior, em carta a Benjamin Franklin, ele havia escrito: *Ocorreu uma revolução numa parte importante do conhecimento humano após sua saída da Europa (...) Eu considerarei esta revolução como tendo progredido consideravelmente e mesmo completamente realizada se o senhor se posicionar ao nosso lado*. O trecho seguinte o leva da revolução científica à revolução política em

curso havia um ano: *após tê-lo posto a par do que está acontecendo na química, seria interessante falar de nossa revolução política. Nós a consideramos como executada e sem qualquer possibilidade de retorno à velha ordem*<sup>9</sup>.

Contemporaneamente à revolução química de Lavoisier, desenrolava-se na Grã-Bretanha a chamada revolução industrial. Todavia, o termo revolução só viria a ser consagrado para descrever este fenômeno no século seguinte, notadamente por Engels e por Marx<sup>10</sup>. Nem mesmo Adam Smith, o teórico da revolução industrial, que publicou *A Riqueza das Nações* em 1776, chegou a usar a expressão. Isto torna ainda mais notável a presciência de Lavoisier em sua anotação de 1773 e na certeza que o acompanhou ao longo dos anos em estar criando uma nova química. Há uma diferença de qualidade entre esta postura de Lavoisier e a proclamação de vários filósofos do século 17, como Bacon, em torno da necessidade de desenvolver a ciência de modo a torná-la a preocupação maior da mente humana. Lavoisier foi muito além: ele observou e experimentou, separou as variáveis, e construiu racionalmente a nova ciência química usando essencialmente o mesmo método que se emprega hoje: uma combinação de indução com dedução e experimentação rigorosa.

Há quem afirme que, na realidade, Lavoisier não encabeçou uma revolução, mas sim o processo de criação de uma nova ciência, pois aquilo que o precedera não seria química no sentido moderno do termo<sup>11</sup>. Ao contrário, a criação da física newtoniana um século antes teria sido uma verdadeira revolução, pois havia previamente uma ciência física reconhecida como tal mesmo no sentido moderno.

Esta é uma posição exagerada que ecoa os panegíricos de Charles-Adolphe Wurtz a Lavoisier em 1869: *A química é uma ciência francesa. Ela foi constituída por Lavoisier de imortal memória*<sup>12</sup>. Como ressalta Crosland, *a química existia bem antes de Lavoisier. Ela possuía mesmo em meados do século 18 várias teorias, o que mostra que ela podia já pretender ser uma ciência. Uma dessas teorias era a das afinidades químicas que, de uma certa maneira, lembrava as leis newtonianas de atração entre dois corpos do sistema solar e entre as partículas de matéria ordinária*<sup>12</sup>. Várias outras teorias poderiam ser também aduzidas, sem que se esqueça que por muitos séculos havia vigorado o paradigma alquímico que, embora diferindo fundamentalmente da química por basear-se na crença na transmutação elementar, tinha sido a doutrina corrente que tratava dos fenômenos químicos.

Qual foi então a importância da obra de Lavoisier e em que consistiu ela? O termo "revolução" será adequado para descrevê-la? Em primeiro lugar, Lavoisier não foi um descobridor de novas substâncias, o que às vezes surpreende muitas pessoas. Ele foi o grande sistematizador e quantificador da ciência química. Como bem resumiu Frederic L. Holmes, seu trabalho científico englobou *a substituição de um sistema químico por outro baseado numa nova teoria geral da combustão; um novo método de análise química baseada na convicção de que nada é ganho ou perdido numa operação química; uma nova definição de acidez; uma definição pragmática de um elemento químico e novos princípios de composição química; a calorimetria e os fundamentos de uma futura físico-química; o delineamento de uma futura química orgânica; uma teoria da respiração e um entendimento do efeito das plantas sobre a atmosfera; uma teoria da fermentação incluindo a equação química prototípica*<sup>13</sup>. Seu trabalho com a química dos gases levou à derrocada da teoria do flogisto e ao estabelecimento da química moderna. O flogisto era um conceito desenvolvido por Stahl por volta de 1700 e largamente aceito pelos químicos do século 18. De acordo com esse ponto de vista o flogisto seria o princípio da combustibilidade: toda vez que uma substância arde, ela perde flogisto. Assim um metal contém flogisto e sua cal (o produto da combustão, que hoje chamamos de óxido) seria o metal desprovido de flogisto. O

carvão seria riquíssimo em flogisto, pois queima facilmente deixando pouco resíduo. Além disso, o carvão tem o poder de, quando aquecido com uma cal, regenerar o metal original, devolvendo à cal o flogisto perdido na combustão. Isto é o que chamaríamos hoje de redução de um óxido. A teoria teve enorme sucesso porque foi a primeira teoria química capaz de explicar satisfatoriamente um grande número de reações. No entanto havia uma grande dificuldade: quando o carvão queima, seu resíduo pesa menos que o material original; quando um metal passa a cal o oposto acontece. Então, a perda de flogisto, uma substância material, às vezes fazia diminuir e outras vezes aumentar a massa da substância original. Mesmo considerando qualquer confusão entre os conceitos de massa e peso, a situação era de conciliação difícil: como explicar que um mesmo material teria ora massa (ou peso) positiva, ora negativa? Todavia esta pergunta parecia irrelevante para muitos dos químicos da época, como argumentou Richard Watson em seus *Chemical Essays* de 1781: *Certamente os senhores não esperam que a química seja capaz de apresentar-lhes um punhado de flogisto separado de um corpo inflamável; isto seria tão razoável como pedir um punhado de magnetismo, eletricidade ou gravidade extraído de um corpo magnético, elétrico ou pesado; existem poderes na natureza que não podem absolutamente tornar-se objetos dos sentidos, a não ser pelos efeitos que eles produzem, e o flogisto é deste tipo*<sup>14</sup>. A questão girava então em torno de o flogisto ser corpóreo ou incorpóreo.

A insistência de Lavoisier no uso de balanças sensibílimas e em medidas quantitativas rigorosas acabou por levá-lo à conclusão de que a teoria do flogisto estava equivocada: quando um corpo arde ocorre sempre a incorporação de alguma coisa a ele, o que Lavoisier viria mais tarde a chamar de oxigênio. A massa de todos os componentes (sólidos, líquidos e gasosos) após a combustão de um corpo é sempre maior que a massa do corpo antes de arder. Assim assinala McKie no prefácio à edição Dover do *Traité Élémentaire de Chimie* de Lavoisier: *Como Boyle em seu "Químico Céptico" de 1661, ele (Lavoisier) criticou destrutivamente a teoria química corrente; mas, contrariamente a Boyle, pôs em seu lugar uma teoria melhor*<sup>15</sup>.

Vale a pena parar um momento e tentar entender como se terá dado o processo de mudança conceitual encabeçado por Lavoisier. O livro recente de Paul Thagard, *Conceptual Revolutions*, é extremamente valioso neste sentido<sup>3</sup>. Ao descrever reações químicas por meio do sistema atual de equações, usando-se os conceitos de Stahl (flogisto) e de Lavoisier (oxigênio), pode-se bem aquilatar a diferença conceitual entre os dois. Assim se descrevem os processos de calcinação de um metal(I) ou da combustão do hidrogênio (II):

I) Stahl: metal  $\rightarrow$  cal + flogisto (metal = composto)  
Lavoisier: metal + oxigênio  $\rightarrow$  cal (metal = elemento)

II) Stahl: ar inflamável  $\rightarrow$  água + flogisto (ar inflamável = composto)  
Lavoisier: hidrogênio + oxigênio  $\rightarrow$  água (hidrogênio = elemento)

Evidentemente, o hidrogênio de Lavoisier é o mesmo ar inflamável dos adeptos da teoria do flogisto.

Vê-se, pelos exemplos acima, o enorme fosso conceitual que separa os dois sistemas, envolvendo a noção de substâncias elementares e compostas. Uma mudança conceitual seria, na linguagem de Kuhn, uma mudança de paradigma. Esta mudança consistiria, como diz Thagard, em olhar o cubo da Fig. 1 e ver inicialmente o quadrado ABCD como sendo a face anterior, para depois passar a ver o quadrado EFGH na frente e ABCD atrás.

O próprio Lavoisier levou anos para passar pela mudança conceitual, como já foi minuciosamente descrito por Lucia Tosi em *Química Nova*<sup>16</sup>.

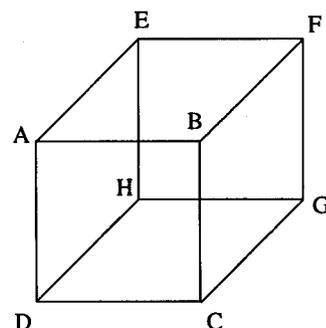
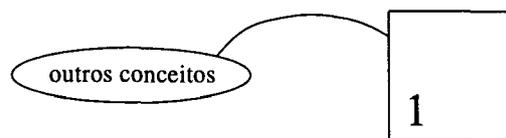


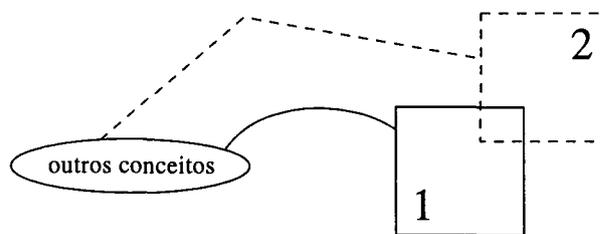
Figura 1. No cubo, tanto ABCD ou EFGH podem ser consideradas como a face anterior.

Como se dá, todavia a substituição de um conceito por outro? Para Kuhn a ruptura é total. Thagard, por outro lado, sugere uma rota alternativa, exemplificada pelo esquema descrito pela Fig. 2:

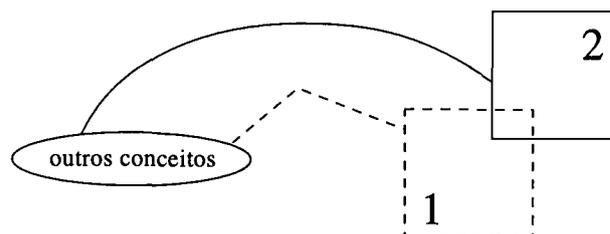
- representa o sistema conceitual antigo (1), com ligações com outros conceitos;
- representa a formação parcial do sistema novo(2), também ligado a outros conceitos, assim como (1). Embora Priestley e Lavoisier divergissem quanto aos sistemas do flogisto versus oxigênio, ambos compartilhavam muitos outros conceitos químicos;
- representa o novo sistema (2) plenamente desenvolvido e ocupando a posição frontal, enquanto o sistema (1) tende a desaparecer na retaguarda.



(a) rede conceitual antiga



(b) nova rede conceitual em construção



(c) nova rede conceitual suplantando a rede antiga

Figura 2. A mudança conceitual: uma nova rede é construída e suplanta a antiga.

A questão importante aqui é: o que faz o sistema (2) vir para a frente e ocupar o lugar de (1)? Uma das hipóteses é que os sistemas possuem regras, as quais têm "forças" que variam no tempo dependendo do grau com que elas contribuem para o desempenho do sistema. Então o sistema (1), do flogisto, tem regras que competem em força com aquelas do sistema (2), do oxigênio. A força das regras do sistema (2) é maior que aquela das regras do sistema (1). Conseqüentemente, o sistema (2) é capaz de explicar e prever um número maior de fenômenos e resolver problemas não resolvíveis no sistema anterior. É interessante notar que o gás oxigênio era para Lavoisier composto do *princípio oxigênio* e do *calórico*, este último o elemento do fogo e do calor<sup>16</sup>. Embora a ciência posterior viesse a modificar esse conceito, a interpretação lavoisieriana da combustão poderia admitir essa mudança sem necessitar uma alteração conceitual tão drástica e revolucionária como no abandono da teoria flogística. Deve-se salientar aqui que uma crítica que freqüentemente se lê a respeito da teoria do flogisto, de que este princípio tivesse massa zero ou mesmo negativa, quase não se fazia ao imponderável calórico de Lavoisier. Priestley bem o notou em 1796<sup>17</sup>. Considerações desta natureza conduzem ao conceito de coerência do sistema conceitual. Não só a força das regras teria importância no processo em que um sistema sobrepuja o outro. A coerência do sistema de Lavoisier levava a uma abrangência de explicações muito mais ampla que aquela do sistema flogístico. Isto permitiria relevar no conjunto a presença de algumas regras de pouca força.

Lavoisier não foi o descobridor do famoso princípio que leva o seu nome: havia muito que os químicos trabalhavam com a suposição implícita da conservação da matéria. Lavoisier foi, porém, aquele que o explicitou de maneira clara e inequívoca, em seu *Traité* de 1789: *podemos estabelecer como um axioma que, em todas as operações da arte e da natureza nada se cria; uma quantidade igual de matéria existe antes e depois do experimento; a qualidade e a quantidade dos elementos permanecem precisamente as mesmas; e nada ocorre além de variações e modificações na combinação dos elementos. Deste princípio depende toda a arte de executar experimentos químicos: devemos sempre supor uma igualdade exata entre os elementos do corpo examinado e aqueles dos produtos de sua análise*<sup>18</sup>.

O que era exatamente que se conservava numa transformação química? Evidentemente aquilo que se poderia medir nas balanças precisas que Lavoisier fez construir, mas também o calor, representado pelo calórico, uma substância sem massa, mas mensurável nas transformações químicas. Neste ponto Lavoisier divergia de Newton, para quem o calor não era material, mas simplesmente um movimento vibratório das partículas de um corpo<sup>19</sup>. Neste aspecto o desenvolvimento subsequente da ciência viria a dar razão a Newton.

A grande ênfase lavoisieriana na importância da análise química rigorosa levou mesmo Berthelot a escrever que Lavoisier considerava a química como a ciência por excelência da análise<sup>20</sup>. Assim, a síntese seria apenas uma comprovação dos resultados analíticos. A obra de Lavoisier é por demais extensa para ser descrita aqui. Recomenda-se ao leitor interessado consultar o excelente artigo já citado de Lucia Tosi, em que a autora faz uma análise pormenorizada da vida e da obra do grande químico<sup>16</sup>.

É importante ressaltar, porém, a dívida de Lavoisier para com o importante e pioneiro trabalho da escola inglesa no campo da química dos gases. De fato, a revolução de Lavoisier deve muitíssimo a essa escola, e a seus predecessores no continente, no que diz respeito aos estudos dos gases, do calor e das afinidades químicas.

Os trabalhos de Hales, Black, Cavendish e Priestley vieram mostrar que os gases são tão materiais como os líquidos e sólidos, diferindo dos chamados incorpóreos, como calor, luz gravidade ou éter. A famosa experiência de Priestley, hoje corriqueira para qualquer iniciante em química, de fazer encontrar ao

longo de um tubo de vidro dois gases, o cloreto de hidrogênio e a amônia, e verificar a formação de um sólido branco, o cloreto de amônio, marcou época. Tinha sido definitivamente demonstrado que não existe qualquer diferença fundamental no comportamento químico de gases em comparação com líquidos ou sólidos<sup>21</sup>.

O trabalho de Lavoisier mostrando pela primeira vez a composição do ar atmosférico e da água foi fundamental na sistematização que ele veio a fazer de toda a química, e que foi descrita no *Traité*. Antes, porém, foi necessária uma outra sistematização, a da nomenclatura química, que até então se apresentava num estado de completo caos. Assim é que em 1787 veio à luz o *Méthode de Nomenclature Chimique*, de autoria de Guyton de Morveau, Lavoisier, Berthollet e Fourcroy<sup>22</sup>. O livro abre com a memória lida por Lavoisier em 18 de abril de 1787 na Academia Real das Ciências. Nessa memória ele afirma que *será necessário rejeitar a nomenclatura ou seguir irresistivelmente a rota que ela terá marcado*. E mais adiante: *é tempo de desembaraçar a química dos obstáculos de toda espécie que retardam seu progresso; de introduzir nela um verdadeiro espírito de análise, e nós estabelecemos suficientemente que era pelo aperfeiçoamento da linguagem que esta reforma devia operar-se*<sup>23</sup>.

A introdução da nova nomenclatura revela uma sagacidade notável de Lavoisier e seus colaboradores. Nessa obra ele sistematiza a linguagem química e usa os termos por ele inventados de hidrogênio, oxigênio, etc. Ora, quem aceitasse esses termos estaria aceitando, *ipso facto*, a teoria de Lavoisier da composição da água, dos ácidos, do ar, etc. A nomenclatura tinha assim um conteúdo ideológico importantíssimo e, como tal, foi o carro-chefe da revolução lavoisieriana, dois anos antes da publicação do *Traité*, sua obra principal<sup>24</sup>. Este aspecto foi prontamente notado pelo arguto Cavendish, para quem qualquer nomenclatura sistemática seria imprópria, porque apareceriam tantas nomenclaturas quantas fossem as teorias da química<sup>25</sup>. O formato utilizado para estabelecer a nova nomenclatura química, que em grande parte é a nomenclatura ainda hoje usada, revela o poder de sistematização de Lavoisier. Sintomaticamente ele utilizou um sistema análogo ao de Lineu na botânica: a classificação em família, gênero e espécie poderia ser comparada na sequência ácido (família), ácido de enxofre (gênero) e ácido sulfúrico (espécie).

Como um cientista prático, Lavoisier não quis especular sobre aquilo que a ciência de seu tempo ainda não permitia tratar, como os átomos. A este respeito, eis o que ele tem a dizer no *Traité*: *deste modo, à medida que a química avança em direção à perfeição, dividindo e subdividindo, é impossível dizer onde ela terminará; e estas coisas que nós no presente julgamos simples poderão logo ser demonstradas não o serem. Tudo o que nós ousamos afirmar de qualquer substância é que ela deve ser considerada como simples no estado presente de nosso conhecimento, e até o ponto em que a análise química foi capaz de mostrar até agora*<sup>26</sup>.

A publicação do *Traité Élémentaire de Chimie* em 1789 teve um êxito extraordinário. Basta notar que entre 1789 e 1805 apareceram 23 edições integrais da obra em 7 países, sendo 7 edições apenas na França. Além dessas houve mais 3 edições parciais, uma delas no Novo Mundo, mais precisamente no México, em 1797<sup>27</sup>.

Na edição inglesa, publicada em 1790, o tradutor Robert Kerr alude, logo no início de seu prefácio, *à grande revolução que, na opinião de muitos químicos excelentes, ele efetuou na teoria química (...)*<sup>28</sup>.

Nem todos porém converteram-se à nova química de Lavoisier. O caso mais conhecido, já mencionado, é o de Priestley, que continuou como o último adepto da teoria do flogisto até sua morte em 1804.

Nos manuscritos de Lavoisier existentes nos Arquivos da Academia das Ciências de Paris, vê-se que Lavoisier imaginava

seu programa de trabalho como uma reconstrução da química<sup>29</sup>. Seu colega Fourcroy aponta como ponto de partida da revolução química a doutrina pneumática, levando-o, em consequência, a descrever corretamente o processo como um entendimento coletivo, e não o fruto do trabalho de um único grande homem. Já Chaptal, que além de químico viria também a ser ministro de estado e industrial, apresenta uma visão bastante diversa. Para ele o nascimento da química moderna surgiu de dois fatores principais em ação na França setecentista: o entusiasmo pela química despertado na sociedade em conferências públicas dadas por expositores brilhantes, e o papel do governo exercendo o que hoje chamaríamos de ação de fomento. Chaptal foi por vezes meticuloso ao extremo em suas críticas a Lavoisier; deve-se a ele a criação do termo *nitrogênio*, em substituição ao nome *azoto*, inventado por Lavoisier e considerado por Chaptal impróprio e em desacordo com a nova nomenclatura<sup>29</sup>.

Um dos críticos contemporâneos mais importantes de Lavoisier foi Georg Christoph Lichtenberg, professor de matemática e física em Göttingen. Sua crítica não se baseava, como a de Priestley, numa aderência à velha teoria do flogisto, de que ele discordava, mas sim naquilo que ele chamava de *desordem francesa* introduzida na química. Lichtenberg não concordava que a natureza apresentasse uma proliferação tão grande de elementos como a química de Lavoisier fazia crer. Para ele, a situação era análoga à proliferação de epíctos que infestara a astronomia ptolemaica. Assim escreveu ele que *se a química não tiver logo o seu Kepler ela será sufocada pelo imenso número de epíctos*<sup>30</sup>. Sua ânsia pela simplicidade era também entremeada de um certo antigalicismo: *a França não é o país de onde nós estejamos acostumados a esperar princípios científicos duradouros. Onde está a física cartesiana agora, que foi tão valorosamente defendida pelos Bernoullis?*<sup>30</sup>.

Lichtenberg teve um papel importante como um precursor de Thomas Kuhn. Ele chegou a desenvolver até mesmo um esquema de paradigmas, embora num sentido diferente daquele de Kuhn. Seus paradigmas seriam mais como os paradigmas gramaticais, partes da ciência, assim como estes são partes da língua. No entanto ele às vezes tem um sabor kuhniano quando escreve: *de um catolicismo melhorado de acordo com as suas regras fundamentais, jamais poderia surgir o protestantismo, nem a filosofia kantiana de uma filosofia popular esmerada. De uma física cartesiana gradualmente aperfeiçoada nunca se poderia desenvolver a verdadeira física newtoniana. Os maiores matemáticos viraram e dobraram os vórtices para fazê-los funcionar. Mas não adiantou, pois estes vórtices tiveram que ser empurrados enquanto a gravidade universal ascendia ao trono e agora reina da Via Láctea ao Sol, e reinará até o final dos tempos*<sup>31</sup>.

Um crítico acerbo de Lavoisier e pouco conhecido como tal foi Auguste Comte. Para ele, o verdadeiro autor da revolução química tinha sido Berthollet, e não Lavoisier. Esta é uma opinião surpreendente de encontrar no fundador do positivismo, uma vez que Berthollet foi o principal opositor da lei das proporções definidas de Proust, e o grande advogado das idéias de afinidade química, estas constituindo o que poderia ser chamado um conceito metafísico, e a lei aludida um conhecimento positivo, de acordo com a evolução comteana do conhecimento segundo os graus teológico, metafísico e positivo.

Comte havia estudado química na Escola Politécnica com Thénard, grande admirador de Berthollet. O livro deste último, *Essai de Statique Chimique* calou fundo no espírito do filósofo por sua insistência na redução da química a leis gerais de caráter preditivo. A lei de partição de Berthollet representava para Comte um princípio fundamental, perto do qual o trabalho de Lavoisier na combustão era completamente secundário<sup>32</sup>. Pela lei de partição, quando um ácido, por exemplo, fosse adicionado a um sal neutro, a base presente se combinaria com os dois ácidos em proporção a suas respectivas quantidades.

Este poder de predição e quantificação das reações químicas era de importância capital segundo Comte. Na verdade, os conhecimentos de química de Comte eram bastante limitados. Muito influiu em sua admiração por Berthollet o fato de este dizer na *Statique Chimique* que a afinidade química era análoga à atração gravitacional, a teoria científica por excelência para Comte. Berthollet era também um antivitalista, para quem não havia qualquer diferença entre química *in vitro* ou *in vivo*, o que para Comte era evidência de um espírito positivo, despojado de idéias teológicas ou metafísicas. Além disso, o livro de Berthollet delineava a evolução da química a partir da alquimia, o que caía como uma luva na concepção comteana da evolução do espírito humano tal como enunciada em sua lei dos três estados<sup>32</sup>.

O equívoco da apreciação da revolução de Lavoisier pelo fundador do positivismo não teve grandes seguidores entre os pensadores do século 19. Já no prefácio do segundo volume de *O Capital* de Marx, escrevia Engels, em 1884: *Priestley e Scheele haviam produzido oxigênio sem saber o que tinham nas mãos. Eles permaneceram prisioneiros das categorias flogísticas que herdaram. O elemento que estava destinado a refutar todos os pontos de vista flogísticos e a revolucionar a química permanecia estéril em suas mãos. Mas Priestley havia comunicado seu achado a Lavoisier em Paris, e Lavoisier, por meio desta descoberta, analisou toda a química flogística (...) Assim ele foi o primeiro a pôr toda a química de pé, que em sua forma flogística tinha estado de cabeça para baixo. E embora ele não tivesse produzido oxigênio simultânea e independentemente dos outros dois, como mais tarde sustentou, ele, não obstante, é o descobridor real do oxigênio com respeito aos outros que apenas o tinham produzido sem saber o que tinham. Marx permanece na mesma relação quanto a seus predecessores na teoria da mais-valia como Lavoisier esteve em relação a Priestley e Scheele*<sup>33</sup>.

Ao final do século 19 surgiu a muito citada obra de Berthelot, *La Révolution Chimique - Lavoisier*<sup>8</sup>. Berthelot era então secretário perpétuo da Academia das Ciências de Paris, e trabalhou com o intuito de resgatar de vez a memória do ilustre químico, cuja morte infamante jamais tinha sido desagravada desde 1794 por seus colegas e sucessores na Academia. É justamente Berthelot quem vem dar à luz as notas de laboratório de Lavoisier defendendo não só o caráter revolucionário de sua obra científica, mas também a plena consciência desse caráter que o acompanhou em toda a sua trajetória profissional.

## AGRADECIMENTOS

O autor agradece ao Prof. Luiz Otávio F. Amaral as várias e frutíferas discussões travadas ao longo da redação deste ensaio.

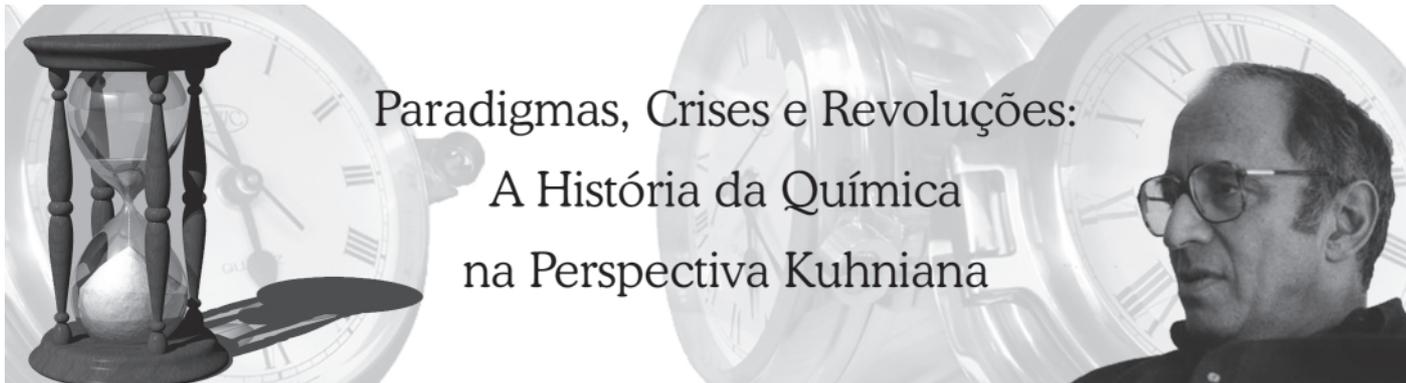
## REFERÊNCIAS

1. Kuhn, T. S.; *The Structure of Scientific Revolutions*, 2<sup>nd</sup> Edition, enlarged, The University of Chicago Press, Chicago (1970).
2. Cohen, I. B.; *Revolution in Science*, Harvard University Press, Cambridge, (1985), p. 22.
3. Thagard, P.; *Conceptual Revolutions*, Princeton University Press, Princeton, (1992).
4. Gilbert, F.; *Revolution*, em *Dictionary of the History of Ideas*, 5 volumes, Charles Scribners Sons, N. York, (1973), Vol. 4, pp. 152-167.
5. Kauffman, G. B.; *Sophus Mads Jørgensen*; *J. Chem. Educ.*, (1959), 36, 521.
6. Pearson, T. H.; Ihde, A. J.; *Chemistry and the Spectrum Before Bunsen and Kirchhoff*; *J. Chem. Educ.* (1951), 28, 267; Ihde, A. J., *The Development of Modern Chemistry*, Harper & Row, N. York, (1964), pp. 369-374.
7. Ref. 2, p. 8.

8. Berthelot, M.; *Una Revolución en la Química - Lavoisier*, Editorial Losada, Buenos Aires, (1942), p. 54. Esta é uma tradução por Apugliese, M., do livro publicado originalmente em francês em 1890.
9. Ref. 2, p. 230: em sua transcrição das notas de Lavoisier, Berthelot se enganou quanto ao ano, que foi 1773, e não 1772.
10. Iglesias, F.; *A Revolução Industrial*, Editora Brasiliense, S. Paulo, (1981), pp. 16-17.
11. Hankins, T. L., *Science and the Enlightenment*, Cambridge University Press, Cambridge, (1985), p. 81.
12. Crosland, M.; *Lavoisier, Le Mal-aimé; La Recherche*, (1983), **14**, 785.
13. Holmes, F. L.; *Lavoisier's Conceptual Passage*, *Osiris*, (1988), **4** (second series), 82.
14. Toulmin, S. e Goodfield, J.; *The Architecture of Matter*, The University of Chicago Press, Chicago, (1982), p. 214.
15. McKie, D.; Introdução à Edição Dover do *Traité Élémentaire de Chimie*, de Lavoisier, traduzido como *Elements of Chemistry*, Dover, N. York, (1965), p. XXIV.
16. Tosi, L.; *Lavoisier: Uma Revolução na Química; Quím. Nova*, (1989), **12**, 33.
17. Ref. 3, p. 59.
18. Lavoisier, A. L.; *Elements of Chemistry*, Dover, N. York, (1965), pp. 130-131.
19. Ref. 14, p. 211.
20. Ref. 8, pp. 137, 141.
21. Hartley, H.; *Studies in the History of Chemistry*, Clarendon Press, Oxford, (1971), p. 8.
22. Guyton de Morveau, L. B., Lavoisier, A. L., Berthollet, C. L.; de Fourcroy, A. F.; *Méthode de Nomenclature Chimique*, 1787, edição facsimilar, American Chemical Society, Washington, (1987).
23. Ref. 22, pp. 12, 16.
24. Christie, J. R. R.; Golinski, J. V.; *The Spreading of the Word: New Directions in the Historiography of Chemistry 1600-1800*; *Hist. Sci.*, (1982), **20**, 236.
25. Crosland, M. P.; *Historical Studies in the Language of Chemistry*, Dover, N. York, (1978), p. 196.
26. Ref. 18, p. 177.
27. Ref. 15, p. XXV, XXVII.
28. Ref. 18, p. V.
29. Bensaude-Vincent, B.; *A View of the Chemical Revolution through Contemporary Textbooks: Lavoisier, Fourcroy and Chaptal*; *Brit. J. Hist. Sci.*, (1990), **23**, 435.
30. Ref. 2, p. 517.
31. Ref. 2, p. 518-519.
32. Crosland, M.; *Comte and Berthollet - a Philosopher's View of Chemistry*, XII<sup>ème</sup> Congrès International d'Histoire des Sciences, Paris, 1968, Actes, Tome VI, Albert Blanchard, Paris, (1971), pp. 23-27.
33. Ref. 2, p. 516.

## ANEXO E

OKI, Maria da C. M. Paradigmas, Crises e Revoluções: A História da Química na Perspectiva Kuhniana. **Química Nova na Escola**, n. 20, p. 32-37, 2004.



## Paradigmas, Crises e Revoluções: A História da Química na Perspectiva Kuhniana

**Maria da Conceição Marinho Oki**

Este artigo apresenta os principais conceitos introduzidos pelo importante filósofo da Ciência Thomas Kuhn. São apresentados dois episódios da História da Química analisados por Kuhn: a revolução química de Lavoisier e o novo sistema de filosofia química de Dalton.

► Filosofia da Ciência, ensino de Ciências, História da Química ◀

Recebido em 13/05/03; aceito em 23/7/04

32

**T**homas Kuhn (1923-1996), físico e professor de História da Ciência, revolucionou a Ciência “instituída” até o início do século XX, propondo uma nova forma de compreender o seu processo de produção. Novos conceitos de paradigma, crise e revolução científica passaram a fazer parte do cotidiano do meio científico e das divulgações relacionadas às Ciências Exatas e Humanas. O processo de construção da Ciência passou a ser mais investigado e as “verdades científicas” foram reconhecidas como provisórias, o que contribuiu para a desmistificação da Ciência.

A construção do conhecimento, considerada como um processo social, foi caracterizada considerando a sua complexidade aliada à grande inventividade desse tipo de atividade. A sua arrojada proposta resgatou aspectos históricos e sociológicos como requisitos para análise da produção do conhecimento e minimizou os aspectos lógicos e metodológicos.

**A concepção de Ciência como “grande narrativa” foi abalada quando Kuhn questionou a concepção de progresso científico como uma decorrência natural da acumulação gradativa de conhecimentos**

Através de uma abordagem inovadora e propositiva, Kuhn apresentou críticas a princípios defendidos pelas escolas positivistas.

Thomas Kuhn graduou-se em Física e realizou o pós-graduação em Física Teórica. Seu interesse posterior pela História da Ciência refletiu sua preocupação com o enorme sucesso e grande poder da Ciência e suas consequências sociais. Como o próprio autor reconheceu no prefácio do seu mais importante livro, “A estrutura das revoluções científicas”, a obra foi concebida numa tentativa de justificar para ele mesmo e para seus amigos sua mudança de rumo (Kuhn, 1996, p. 10).

A concepção de Kuhn do que poderia ser a história das idéias científicas sofreu influência de importantes historiadores e filósofos, como Alexandre Koyré, Annelise Maier, Émile Meyerson e Hélene Metzger, entre outros, que já apresentavam perspectivas diferenciadas nas suas análises

sobre a Ciência.

Kuhn percebeu que existiam divergências entre os cientistas sociais relacionadas à natureza dos métodos e dos problemas científicos. Ele introduziu uma abordagem alternativa e diferenciada para discutir essas questões, preocupando-se, também, com a formação das comunidades científicas e com as características sociológicas dessas comunidades. Kuhn reconheceu a influência de fatores extracientíficos sobre a Ciência, admitindo a inexistência de um padrão de racionalidade para o julgamento de episódios do passado. Ele defendeu uma visão não linear para a evolução da ciência e a não-cumulatividade do saber científico, a não-neutralidade da observação e a transitoriedade das verdades científicas, entre outras.

A concepção de Ciência como “grande narrativa” foi abalada quando Kuhn questionou a concepção de progresso científico como uma decorrência natural da acumulação gradativa de conhecimentos. “O progresso através de revoluções é a alternativa proposta por Kuhn para o progresso acumulativo, característico dos relatos indutivistas da ciência.” (Chalmers, 1995, p. 135).

Apesar da grande repercussão do trabalho de Kuhn, críticas contempo-

Esta seção contempla a história da Química como parte da história da ciência, buscando ressaltar como o conhecimento científico é construído. Neste número a seção apresenta dois artigos.

râneas consideram que o legado kuhniano parece tênue quando olhado pelos filósofos. Uma das preocupações de Kuhn era ser bem aceito como filósofo, embora não tivesse tido uma ampla formação nesse campo (Bird, 2002, p. 455 e 460).

A importante contribuição de Kuhn para a queda do positivismo e do empiricismo é amplamente reconhecida; no entanto, em alguns aspectos do seu pensamento identifica-se resíduos de alguns princípios defendidos por essas escolas filosóficas. Na verdade, Kuhn iniciou uma revolução nesse campo que foi além do que ele próprio imaginava, contribuindo para a fundamentação de uma “Nova Filosofia da Ciência” constituída no século XX.

Embora as idéias de Kuhn tenham causado um grande impacto na Filosofia da Ciência contemporânea, Bird (2002) considera que a ausência de uma escola kuhniana pode ser em parte justificada pelo fato de a sua principal idéia, o conceito de paradigma, não ter encontrado o acolhimento apropriado nos meios acadêmicos. Atualmente se reconhece que esse conceito se aplica à cognição científica; no entanto, naquele período, essa articulação não aconteceu de imediato. A aplicação da ciência cognitiva à cognição científica é uma linha de investigação que se desenvolveu posteriormente.

### Principais conceitos kuhnianos

De acordo com Kuhn, o desenvolvimento da Ciência acontece envolvendo dois momentos: a *ciência normal* e a *ciência revolucionária*. Nos períodos de ciência normal, a comunidade atua consensualmente dentro de um *paradigma* que é compartilhado pelos cientistas. As leis científicas, por exemplo, são geralmente produtos do processo normal.

O termo “paradigma” constitui um importante conceito dentro da sua proposta teórica, tendo adquirido grande popularidade no meio cientí-

fico e acadêmico. Muitas críticas foram feitas à diversidade de significados atribuídos a esse termo, quando ele foi introduzido na primeira edição de seu livro “A estrutura das revoluções científicas”. As dúvidas e possíveis divergências foram reconhecidas por Kuhn, levando-o a aprimorar o significado do conceito no pós-fácio da edição de 1969 do livro (Ostermann, 1996). A definição a seguir pretendeu apresentar uma visão consensual:

*Considero paradigmas as realizações científicas universalmente reconhecidas que, durante algum tempo, fornecem problemas e soluções modelares para uma comunidade de praticantes de uma ciência.* (Kuhn, 1996, p. 13).

Mapeando as principais idéias e conceitos kuhnianos, Laudan *et al.* (1993, p. 46) apresentam o termo paradigma relacionando-o com “as suposições diretas de um campo”.

O aprimoramento desse termo incluiu um sentido geral e outro mais restrito. No geral, ele corresponde aos compromissos de pesquisa de uma comunidade científica (crenças, valores, técnicas compartilhadas), que se relacionam com a expressão *matriz disciplinar*.

Os componentes de uma matriz disciplinar são: *generalizações simbólicas, modelos particulares, valores compartilhados e exemplares*. Este último componente está relacionado com um sentido mais restrito do conceito, em que os exemplares formam o elo de ligação entre os fenômenos empíricos e as generalizações teóricas. “Exemplares são problemas concretos com as respectivas soluções” (Kuhn, 1977, p. 358-59 e 368).

Na perspectiva kuhniana o desenvolvimento da ciência inclui períodos

de ciência normal, nos quais o paradigma vigente direciona a atividade científica, e a ruptura denominada *revolução científica*. Esse momento é precedido de *anomalias* e *crises* dentro do paradigma dominante, que poderão levar a uma nova tradição de pesquisa. Dentro de um paradigma, as leis, teorias, aplicações e instrumentos proporcionam modelos que subsidiam as pesquisas científicas.

A acumulação de anomalias e a dificuldade em explicá-las pode originar uma crise, que poderá ser contornada quando um novo paradigma emergir. As condições externas podem ajudar a transformar uma simples anomalia em uma fonte de crise aguda (Kuhn, 1996, p. 15).

A ciência normal é concebida por Kuhn como uma atividade conservadora e a adesão da comunidade decorre de uma aceitação dogmática por parte dos seus membros. Ele considera que a maior parte dos avanços científicos é do tipo normal e acumulativo, sendo as mudanças revolucionárias diferentes e muito mais problemáticas, envolvendo descobertas que não podem ser acomodadas nas estruturas conceituais vigentes. Para que a assimilação aconteça, uma descoberta deve alterar o modo de pensar sobre ou de descrever um dado fenômeno natural (Kuhn, 2000, p. 14-15).

A existência de mudança acompanhada de muitas controvérsias é indicio que define as revoluções científicas. A forma descontínua através da qual acontece a mudança caracteriza a revolução científica. O período em que ocorre a transformação das anomalias em regra é caracterizado por observação, novos experimentos e uma reflexão sistemática. As expectativas, os padrões instrumentais e as teorias fundamentais são revistos (Kuhn, 1977, p. 219).

Os problemas a serem resolvidos foram comparados de forma metafórica a um quebra-cabeça; a solução dependerá da habilidade dos envolvidos no jogo científico: os cientistas.

De acordo com Kuhn, o desenvolvimento da Ciência acontece envolvendo dois momentos: a *ciência normal* e a *ciência revolucionária*

A existência de mudança acompanhada de muitas controvérsias é indicio que define as revoluções científicas. A forma descontínua através da qual acontece a mudança caracteriza a revolução científica

Na opinião de Kuhn, cientistas mais jovens são mais ousados e podem contribuir de forma mais direta na modificação de paradigmas.

As reelaborações posteriores de Kuhn sobre o conceito de paradigma passaram a sugerir que uma distinção aguda entre ciência normal e revolucionária não mais se aplicava. Segundo Larvor (2003), uma revolução seria tanto uma interrupção quanto uma evolução do passado, considerando-se a existência de continuidade através das interrupções. A possibilidade de uma mudança revolucionária na ciência normal sem deslocamento de paradigma passou a ser considerada.

Uma das principais contribuições de Kuhn para a Filosofia da Ciência foi, sem dúvida, o conceito de paradigma. No entanto, a partir da década de 70 esse tema é deixado de lado e seu interesse passa a ser a natureza da linguagem e o seu uso na Ciência. O foco de suas idéias passa a ser nas categorias comensurabilidade e incomensurabilidade.

Inicialmente, o segundo conceito, incomensurabilidade, expressava a dificuldade de se comparar os componentes teóricos e padrões de cientificidade, característicos de paradigmas diferentes, sustentados em racionalidades distintas. Essa idéia inicial foi muito criticada em função do entendimento de que cientistas que trabalhassem em paradigmas diferentes não poderiam se comunicar. Kuhn se defendeu das críticas argumentando que não teve a intenção de associar incomensurabilidade com não comparabilidade ou mesmo incomunicabilidade (Kuhn, 2000, p. 193). As críticas apresentadas levaram-no a repensar a sua idéia original e a desenvolver outra abordagem, aproximando-se para tanto da Filosofia da Linguagem.

Os termos comensurabilidade e incomensurabilidade passaram a representar relações obtidas entre estruturas lingüísticas. Kuhn desenvolveu uma explicação "taxonômica"

de incomensurabilidade, detendo-se num tipo de incomensurabilidade lingüística (Kuhn, 2000).

### **A História da Ciência na perspectiva kuhniana**

Uma das preocupações de Kuhn era com as abordagens lineares da História das Ciências que tinham como objetivo julgar o que havia sido produzido, demarcar no passado o que era científico, distinguindo esse tipo de saber dos mitos, crenças, superstições e equívocos acontecidos no processo de construção do conhecimento. Do seu ponto de vista, o objetivo de grande parte dos historiadores era o registro dos grandes descobridores e a justificativa dos erros cometidos, das pseudodescobertas, dos mitos e superstições que consideravam ter dificultado a acumulação do saber científico. As narrativas históricas apresentadas reforçavam uma visão continuísta e dogmática da ciência inclusive nos meios acadêmicos.

Kuhn questionou o julgamento valorativo entre componentes teóricos de paradigmas diferentes considerando que fatores históricos, sociológicos e psicológicos distintos determinam as estruturas conceituais específicas em cada contexto científico.

Uma História da Ciência madura é considerada como sendo formada, predominantemente, por uma sucessão de tradições. Dentro de cada tradição, as teorias, métodos e técnicas direcionam a atividade científica praticada durante um certo período, entrando em declínio e sendo substituídas (Kneller, 1980).

Para ilustrar suas propostas sobre as mudanças científicas, Kuhn analisou alguns episódios da História da Química que contribuíram para a grande repercussão da suas idéias. Kuhn apresenta uma abordagem historicista, uma epistemologia que se nutre da História das Ciências.

**As inovações propostas por Lavoisier tiveram tanta repercussão na constituição de uma Química moderna que passaram a ser identificadas como "Revolução Química"**



Antoine Laurent de Lavoisier e sua esposa Marie-Anne em quadro de Jacques-Louis David, de 1788.

### **Lavoisier: A antevisão de uma revolução**

Um dos períodos da História da Química escolhido por Kuhn para seu estudo foi a segunda metade do século XVIII. Nesse período, profundas modificações aconteceram graças à renovação de teorias e conceitos, tanto do ponto de vista da estrutura lógica como da linguagem utilizada. Alterações relativas ao *status* ontológico da Química com repercussões nas dimensões epistemológica e metodológica dessa ciência foram observadas. O principal responsável por essas transformações foi o mais importante químico do século XVIII, Antoine Laurent de Lavoisier (1743-1794).

As inovações propostas tiveram tanta repercussão na constituição de uma Química moderna que passaram a ser identificadas como "Revolução Química". Essa identificação está relacionada com a análise feita por Kuhn do trabalho de Lavoisier, em especial do episódio da descoberta do oxigênio e da crise gerada nesse período sobre as explicações de fenômenos como combustão, calcinação e respiração.

Alguns historiadores da Química teceram críticas a essa versão revolucionária do trabalho de Lavoisier. Os questionamentos apresentados apontam que as contribuições de pre-

decessores e sucessores desse químico para as profundas mudanças na Química não foram suficientemente valorizadas nas narrativas históricas. Um outro aspecto criticado foi o pouco reconhecimento da participação dos colaboradores de Lavoisier na elaboração dos seus trabalhos (Bensaude-Vincent, 1990; Bensaude-Vincent e Stengers, 2001; Maar, 1999).

Até meados do século XVIII, destacava-se no ambiente científico da Química a Teoria do Flogisto. A ciência normal operava à luz dessa teoria que, por ser qualitativa, trazia algumas desvantagens. Inicialmente gerava confusão na definição de elemento químico, já que os metais, por exemplo, eram considerados como compostos; além disto, não estabelecia uma relação quantitativa de correspondência entre as massas das substâncias que se esperava obter nas reações químicas e os valores determinados através do uso de balanças.

O desenvolvimento da química prática no século XVIII, as descobertas de novas substâncias químicas e a complexificação dos fenômenos investigados ameaçaram o paradigma dominante fundamentado na Teoria do Flogisto, amplamente usada nas explicações sobre transformações químicas nesse período. Configurava-se o insucesso da teoria vigente para explicar os novos fenômenos empíricos, acumulavam-se anomalias, gerando uma situação de crise. A causa principal dessa crise foi o desenvolvimento da Química Pneumática, que proporcionou a descoberta do oxigênio, permitindo que se compreendesse a sua reatividade química.

Uma outra questão contribuiu para o agravamento da crise: as divergências observadas nas relações de massa determinadas quando corpos eram submetidos ao aquecimento na presença do ar. Para alguns elementos a combustão levava a um aumento de massa e, para outros, a uma diminuição, o que não era adequa-

damente explicado pela Teoria do Flogisto. Essas questões levaram ao descrédito nessa teoria, comprometendo a sua credibilidade e desencadeando a sua decadência. Ao mesmo tempo começou a surgir uma outra explicação para os fenômenos, a partir do reconhecimento do papel do oxigênio (combustão, calcinação, respiração etc.). A descoberta desse elemento foi a chave de todo o mistério, permitindo que a sua reatividade química fosse compreendida.

Lavoisier comportou-se como um grande detetive; tendo percebido muitas anomalias na Química, conseguiu profetizar a sua ação revolucionária, registrando-a antecipadamente junto à Academia de Ciências Francesa. Ou seja, sua intenção foi a de introduzir profundas mudanças nessa ciência (Filgueiras, 1995). A proposta lavoisieriana de uma nova teoria da combustão abriu caminho para um novo paradigma que incorporou profundas mudanças conceituais na Química.

Segundo Kuhn (1996, p. 94), Schelle e Priestley participaram da descoberta do oxigênio, embora Lavoisier o tenha inventado, já que compreendeu o seu papel nos processos químicos. A sua nova teoria da combustão permitiu a explicação de muitas das anomalias detectadas.

Paralelamente à invenção do oxigênio, Lavoisier destacou-se como grande sistematizador da Química, conseguindo organizá-la e conferindo-lhe um novo *status*. Nessa nova abordagem a quantidade era também priorizada na explicação das reações químicas. A construção racional de uma Química moderna teve Lavoisier como um dos seus mais importantes mentores e executores; ele soube combinar de modo rigoroso indução, dedução e experimentação.

A nova teoria da combustão, que incluía novas suposições diretivas, foi fruto de uma lenta mudança nas idéias que Lavoisier inicialmente compartilhava com a comunidade dos flogistas. Sua proposta revolucionária

levou a um deslocamento da rede conceitual usada pelos cientistas para interpretar os fenômenos e o mundo; a mudança conceitual acompanha a mudança de paradigma (Kuhn, 1996, p. 137).

De acordo com Filgueiras (1995), as diferenças conceituais entre o sistema de Stahl (dos flogistas) e o de Lavoisier envolviam modificações na noção de substâncias elementares e compostas. Os metais, ou mesmo o hidrogênio, que segundo os flogistas eram compostos, no sistema lavoisieriano foram definidos como substâncias simples. As mudanças conceituais introduzidas permitiram a compreensão da composição do ar atmosférico e da água, questões estratégicas para uma ampla sistematização da Química delineada por Lavoisier e concretizada com a apresentação de uma nova nomenclatura química.

### **Dalton e um novo sistema de Filosofia Química: O exemplo mais completo de uma revolução científica?**

Outro exemplo utilizado por Kuhn para ilustrar os seus conceitos, segundo ele “talvez o exemplo mais completo de uma revolução científica”, foi o trabalho de Dalton contido em parte no seu livro “Novo sistema de Filosofia Química”, publicado em 1808 (Kuhn, 1996, p. 169).

Até o início do século XIX, a maioria dos químicos concordava que era possível explicar a composição química dos materiais tomando como base os elementos químicos. Nesse período os elementos eram considerados como os constituintes que resultavam da análise química (Bensaude-Vincent e Stengers, 2001).

Durante o século XVIII, as teorias de afinidades químicas eram usadas nas explicações das interações químicas, fundamentando o paradigma amplamente utilizado na concepção e análise dos experimentos químicos. No entanto, existiam dificuldades no campo conceitual relacionadas às explicações fornecidas para a diferença entre mistura e composto. Nesse período, ainda não era possível fazer a distinção entre misturas e compostos operacionalmente.

O desenvolvimento da Química

**Paralelamente à “invenção” do oxigênio, Lavoisier destacou-se como grande sistematizador da Química, conseguindo organizá-la e conferindo-lhe um novo *status***



John Dalton (1766-1844).

Experimental levou à formulação de leis que introduziram novas explicações quantitativas para as combinações químicas, a exemplo da lei dos equivalentes químicos e da lei das proporções definidas.

Um dos indícios de que o paradigma das afinidades estava em crise foi a importante controvérsia entre Proust e Berthollet. O primeiro sustentava que todas as reações químicas ocorriam segundo proporções fixas, enquanto o segundo negava esse fato, admitindo combinações em proporções que podiam variar de acordo com as quantidades das substâncias reagentes (Brock, 1992). No centro do debate encontrava-se a compreensão dos conceitos de mistura e de substância composta: “onde Berthollet via um composto que podia variar segundo proporções, Proust via apenas uma mistura física”. (Kuhn, 1996, p. 168).

Dalton, que não tinha formação em Química e cujo interesse inicial era no estudo da atmosfera e do comportamento dos gases, conseguiu olhar de modo diferente para os problemas. Ele apresentou explicações inovadoras, fundamentadas em um novo paradigma distinto daquele utilizado pelos químicos daquele período. Concebeu a mistura de gases, bem como a absorção de um gás pela água, como um processo físico, em que as afinidades não eram relevantes. Suas idéias enfrentaram dificuldades para se impor no meio acadêmico; no entanto, sua teoria permitia a compreensão da diferença en-

tre mistura e composto de modo mais eficaz do que aquele sugerido pela lei da Proust, tendo implicações mais amplas.

A visão de mundo introduzida por Dalton pressupunha uma maneira diferente de se compreender as reações químicas; os novos cálculos estequiométricos realizados passaram a ser orientados pelo novo paradigma. Os pesos atômicos determinados por Dalton conferiram à Química o *status* de ciência exata, ratificando o seu caráter quantitativo. A consolidação desse paradigma foi gradativa, envolvendo a comunidade dos químicos durante o século XIX. Nesse século, vários encontros científicos e os primeiros congressos internacionais discutiram, entre outros assuntos, a questão do atomismo (Nye, 1976).

Muitos cientistas da primeira metade do século XIX não partilhavam da crença na realidade dos átomos, ainda que utilizassem teorias e um sistema conceitual que se apoiava no conceito de átomo e na própria hipótese atômica de Dalton. Para muitos cientistas do século XIX, esta era apenas uma hipótese útil, porém sua demonstração não era ainda possível (Chagas, 2003).

A análise do trabalho de Dalton feita por Kuhn teve como objetivo resgatar o seu caráter revolucionário. A aplicação à Química de conceitos tradicionalmente usados na Física e nos estudos de Meteorologia introduziu profundas mudanças na interpretação dos fenômenos químicos.

Os conceitos científicos adquirem seus significados à luz do contexto em que são formulados ou reelaborados. O conceito de “elemento químico”, introduzido por Boyle no século XVII, adquiriu sua forma e função moderna somente com os trabalhos de Lavoisier e Dalton, fundamentado numa nova rede conceitual que conferiu legitimidade à nova conceituação proposta.

## Thomas Kuhn e a sua mudança de rumo

O livro de Kuhn “A estrutura das revoluções científicas” gerou muita polêmica nos meios acadêmicos. Mesmo sendo reconhecido como um dos mais influentes livros no campo da Filosofia da Ciência do século XX, muitas críticas foram apresentadas por filósofos e historiadores ao seu conteúdo e ao modelo geral de mudança científica apresentado. Em vários momentos Kuhn tentou se defender das críticas reelaborando algumas das suas idéias inicialmente divulgadas na forma de ensaios filosóficos.

No ano de 2000 aconteceu o lançamento do livro intitulado “The road since structure”, editado por James Connant e John Haugeland, contendo vários ensaios filosóficos publicados no período de 1970 a 1993 e trazendo uma entrevista autobiográfica do próprio Kuhn. Nesses ensaios, algumas de suas idéias foram retomadas tendo como objetivo apresentar “as suas últimas tentativas de repensar e estender as suas próprias hipóteses revolucionárias” (Kuhn, 2000, p. 1).

Os ensaios apresentados em seu último livro priorizaram quatro questões fundamentais da filosofia kuhniana: inicialmente reafirmam e defendem a visão de ciência como uma investigação cognitiva e empírica da

natureza, que exibe um único tipo de progresso que não pode ser explicado como “uma aproximação cada vez maior da realidade” (Kuhn, 2000, p. 2).

Um segundo tema abordado foi a idéia de que a ciência é essencialmente um empreendimento social e, como tal, capaz de assumir riscos conceituais que não poderiam ser assumidos por um único indivíduo, possibilitando a sua viabilidade a longo prazo.

Em terceiro lugar Kuhn retomou o seu ponto de vista de progresso científico e a quarta questão abordada foi

**Mesmo “A estrutura das revoluções científicas” sendo reconhecido como um dos mais influentes livros no campo da Filosofia da Ciência do século XX, muitas críticas foram apresentadas por filósofos e historiadores ao seu conteúdo e ao modelo geral de mudança científica apresentado**

a idéia de incomensurabilidade. Esse último tema tornou-se uma de suas principais preocupações nas últimas décadas de sua vida.

### Considerações finais

O conhecimento das idéias de Thomas Kuhn e de alguns aspectos da Filosofia da Ciência do século XX constituem uma importante referência para a aquisição de uma cultura científica que se faz cada vez mais necessária ao professor e ao aluno da área de Ciências.

A filosofia da Ciência kuhniana utiliza-se de episódios da própria História da Ciência para realizar suas análises e reflexões; nesse tipo de abordagem, a contextualização histórica e cultural do conhecimento científico é um pré-requisito que se faz necessário. Um novo olhar sobre a construção do conhecimento científico é apresentado numa perspectiva descontinuísta e não dogmática; a Ciência é considerada como um empreendimento humano e cultural.

A análise do trabalho de Lavoisier efetuada por Kuhn o reconheceu como precursor de uma nova tradição intelectual que incluiu novos padrões científicos de investigação dos problemas, possibilitando uma nova concepção de mundo. Segundo Abrantes (1998), a imagem de natureza em um dado contexto histórico encontra-se relacionada à imagem de Ciência, que incluiu os pressupostos epistemológicos e metodológicos da atividade científica.

Em relação ao atomismo daltoniano, percebe-se que a formulação da hipótese atômica feita por Dalton legitimou tanto uma nova maneira de praticar a Química quanto as leis de combinações químicas obtidas empiricamente. Ao assimilar o trabalho de Richter (Lei dos Equiva-

**O conhecimento das idéias de Thomas Kuhn e de alguns aspectos da Filosofia da Ciência do século XX constituem uma importante referência para a aquisição de uma cultura científica que se faz cada vez mais necessária ao professor e ao aluno da área de Ciências**

### Referências

- ABRANTES, P. *Imagens de natureza, imagens de Ciência*. Campinas: Papirus, 1998. p. 21-24.
- BENSAUD-VICENT, B. A view of the chemical revolution through contemporary textbooks: Lavoisier, Fourcroy and Chaptal. *The British Journal for the History of Science*, v. 23, p. 435-460, 1990.
- BENSAUD-VICENT, B. e STENGERS, I. *Histoire de la chimie*. Paris: La Découverte, 2001. p. 49-51; 118-121.
- BIRD, A. Kuhn's wrong turning. *Studies in History and Philosophy of Science*, v. 33, p. 443-463, 2002.
- BROCK, W.H. *Historia de la Química*. Trad. E.G. Hernández, A. del Valle, P. Burgos e I. Medina. Madri: Alianza Editorial, 1992. cap. 4, p. 88-119.
- CHAGAS, A.P. Os noventa anos de Les Atomes. *Química Nova na Escola*, n. 17, p. 36-38, 2003.
- CHALMERS, A.F. *O que é ciência afinal?* Trad. R. Fiker. São Paulo: Editora Brasiliense, 1995. p. 135.
- CHASSOT, A.I. *Alfabetização científica: Questões e desafios para a educação*. Ijuí: Editora Unijuí, 2000.
- FILGUEIRAS, C.L. A revolução química de Lavoisier: uma verdadeira revolução. *Química Nova*, v. 18, n. 2, p. 219-

224, 1995.

KNELLER, G.F. *A ciência como atividade humana*. Trad. A.J. de Souza. Rio de Janeiro: Zahar, 1980. p. 54-71.

KUHN, T. *A estrutura das revoluções científicas*. Trad. B.V. Boeira e N. Boeira. São Paulo: Perspectiva, 1996.

KUHN, T. *A tensão essencial*. Trad. R. Pacheco. Lisboa: Edições 70, 1977.

KUHN, T. *The road since structure*. Chicago: University of Chicago Press, 2000.

LAUDAN, L.; DONOVAN, A.; LAUDAN, R.; BARKER, P.; BROWN, H.; LEPLIN, J.; THARGARD, P. e WYKSTRA, S. Mudança científica: Modelos filosóficos e pesquisa histórica. *Estudos Avançados*, v. 7, n. 19, p. 7-87, 1993.

LARVOR, B. Why did Kuhn's structure of scientific revolutions cause a fuss? *Studies in History and Philosophy of Science*, v. 34, p. 369-390, 2003.

MAAR, J.H. *Pequena História da Química: Dos primórdios a Lavoisier*. Florianópolis: Papa Livros, 1999. p. 695-702.

NYE, M.J. The nineteenth-century atomic debates and the dilemma of an 'indifferent hypothesis'. *Studies in History and Philosophy of Science*, v. 7, p. 245-269, 1976.

OSTERMANN, F. A epistemologia de Kuhn. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, v. 15, p. 184-196, 1996.

lentes Químicos) e de Proust (Lei das Proporções Definidas), o paradigma daltoniano explicou a ampla generalidade dos resultados obtidos e sugeriu novas experiências, como o trabalho posteriormente desenvolvido por Gay-Lussac sobre a combinação de gases.

O principal mérito de Dalton foi retomar conceitos antigos e submetê-los a reelaboração à luz de uma nova racionalidade; novas questões foram formuladas e novas conclusões apresentadas. Dentro dos paradigmas lavoisieriano e daltoniano, novas redes conceituais se estabeleceram. A Teoria Atômica que

se constituiu não somente ordenou e explicou muitos fatos do seu domínio, como propôs inúmeros problemas e novos programas de pesquisa, justificando a sua amplitude revolucionária.

Consideramos que a articulação entre a Filosofia, a História e o Ensino de Ciências é um dos caminhos para se alcançar uma alfabetização científica necessária ao exercício da cidadania (Chassot, 2000). Esses conhecimentos são importantes tanto para o professor como para o aluno em qualquer nível de ensino, contribuindo para uma visão crítica da Ciência e dos cientistas e possibilitando uma educação em Ciência de qualidade.

**Maria da Conceição Marinho Oki** (marinhoc@ufba.br), engenheira química, mestre em Química Inorgânica, é docente do Departamento de Química Geral e Inorgânica do Instituto de Química da UFBA.

**Abstract:** *Paradigms, Crisis and Revolutions: The History of Chemistry in the Kuhnian Perspective* - This paper discusses the main concepts introduced by the important philosopher Thomas Kuhn. This article introduces two episodes of the History of Chemistry analysed by Kuhn: "the chemical revolution" of Lavoisier and "the new system of chemical philosophy" of Dalton.

**Keywords:** Philosophy of science, science teaching, history of chemistry