

Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC

Centro de Filosofia e Ciências Humanas – CFH

Departamento de Filosofia

Dissertação de Mestrado em Filosofia

Lavoisier e a Longa Revolução na Química

Mestrando: Ronei Clécio Mocellin

Orientador: Prof. Dr. Luiz Henrique Dutra

Florianópolis, setembro de 2003.

Lavoisier e a Longa Revolução na Química

Agradecimentos

Desejo expressar os meus mais sinceros agradecimentos ao Núcleo de Epistemologia e Lógica da Universidade Federal de Santa Catarina, em especial a Luiz Henrique de A. Dutra, meu orientador, que contribuiu de modo decisivo na elaboração desta dissertação, mas também a Gustavo Caponi, Juergen Heinrich Maar, Alberto O. Cupani, Décio Krause, entre outros que contribuíram para a realização deste trabalho. É também este o caso de Josiane, companheira nesta tarefa.

RESUMO

O objetivo desta dissertação é o de apresentar uma reflexão epistemológica a partir de um tema originado da ciência química. Analisando o lugar ocupado por Lavoisier na química do século XVIII, apresento uma discussão que procura aproximar o trabalho de filósofos e historiadores da ciência. Considero que a necessidade desta aproximação advém do fato de que os modelos epistemológicos que tratam da ciência atual estão sujeitos, se não atentarem para o tipo de historiografia utilizada, a anacronismos e generalizações. Para exemplificar este fato, apresento a leitura feita por Thomas Kuhn da química de Lavoisier, apontando que esta leitura resulta de uma imagem concebida pelos químicos-historiadores do século XIX. Embora esteja em concordância com as linhas gerais da epistemologia kuhniana, pretendo demonstrar que a obra de Lavoisier não exemplifica este modelo da forma como Kuhn a apresenta em seu *A Estrutura das Revoluções Científicas*, e também que não possui a abrangência pretendida pelos historiadores tradicionais da química.

O mistério das coisas, onde está ele?
Onde está ele que não aparece
Pelo menos a mostrar-nos que é mistério?
Que sabe o rio disso e que sabe a árvore?
E eu, que não sou mais do que eles, que sei disso?
Sempre que olho para as coisas penso no que os
homens pensam delas,
Rio como um regato que soa fresco numa pedra.
Porque o único sentido oculto das coisas
É elas não terem sentido oculto nenhum
É mais estranho do que todas as estranhezas
E de que os sonhos de todos os poetas
E os pensamentos de todos os filósofos,
Que as coisas sejam realmente o que parecem ser
E não haja nada que compreender.
Sim, eis o que os meus sentidos aprenderam sozinhos:
As coisas não têm significação; têm existência.
As coisas são o único sentido oculto das coisas.

(Alberto Caeiro, de O Guardador de Rebanhos. In: Fernando Pessoa, *Mensagem*, p.

114.)

Lavoisier e a Longa Revolução na Química

Introdução	11
Capítulo 1 – Uma Longa Revolução	12
- O Fundador	13
- Modos de transmissão	19
- Química universitária	22
Capítulo 2 – A Química Newtoniana	29
- As tabelas de afinidade	34
- As revoluções científicas	42
- As anomalias de Bergman	46
- Lavoisier newtoniano	48
Capítulo 3 – Lavoisier: Uma Revolução Científica	52
- A <i>química</i> de Lavoisier	56
- A teoria do flogisto	57
- A química pneumática	62
- O princípio Oxigênio	66
- A epistemologia de Lavoisier	74
- As rupturas com a tradição	84
Conclusão	88

INTRODUÇÃO

As discussões filosóficas sobre o desenvolvimento do conhecimento científico que tiveram lugar ao longo do século XX, via de regra, se apoiaram em exemplos extraídos das ciências físicas. O fato de a física ser a ciência experimental melhor assimilada pela linguagem da matemática, fez com que esta ciência passasse a ser tomada como modelo metodológico para as demais ciências empíricas. Assim, os sistemas epistemológicos da primeira metade daquele século privilegiaram as análises lógico-matemáticas do conhecimento científico, deixando de lado, não apenas as questões filosóficas sugeridas pela investigação experimental, como também todo o contexto social e intelectual subjacentes ao conhecimento científico. Embora recentemente tenha crescido o interesse pela filosofia de outras disciplinas científicas, notadamente pela filosofia da biologia, o modelo paradigmático para a filosofia da ciência continua a ser, todavia, a física.

Quanto à ciência química, sua utilização pelos filósofos da ciência foi muito escassa nos debates epistemológicos, pois, para a maioria desses filósofos, esta ciência, embora contasse com uma estrutura teórica própria, era, em última instância, redutível à física. Uma demonstração dessa seletividade epistemológica é fornecida pelas principais publicações que tratavam da filosofia da ciência nos países ocidentais. Por exemplo, se consultarmos as páginas do *The Journal of Unified Science*, porta-voz da escola de Viena, de 1931 a 1940, não encontraremos nenhuma referência à química, ocorrendo o mesmo com os títulos das contribuições ao *International Congress for the Unity of Science*. Da mesma forma, nos 18 volumes da *Foundations of the Unity of Science: Toward an International Encyclopedia of Unified Science*, publicado entre 1938 e 1970, há inúmeros artigos sobre física, matemática, biologia, probabilidades; porém, apenas um se referia à química.

Entretanto, é interessante notar que a ausência da filosofia da química nas publicações de língua inglesa não se repetiu nos países do leste europeu. Este interesse pela filosofia da química nos países do leste decorreu, principalmente, da utilização da química como exemplo na demonstração de Engels, em seu *Dialética da Natureza*, do caráter dialético do materialismo. Na defesa da interpretação dialético-materialista da ciência,

muitos filósofos e cientistas do leste escreveram sobre a singularidade das ciências,

refutando a interpretação neopositivista, bem como seu reducionismo fisicalista. A aplicação do esquema conceitual do materialismo dialético às ciências naturais, sugeria uma série de questões diretamente relevantes para o surgimento de uma filosofia da química. Uma delas era a distinção dos diferentes *tipos* de mudança materiais, bem como a dos diferentes *tipos* de matéria que, não sendo redutíveis às teorias físicas, careciam, portanto, de leis próprias que as descrevessem, garantindo com isso uma singularidade disciplinar. Para se ter uma idéia desse interesse, entre 1949 e 1986, foram inúmeras as publicações em filosofia da química, notadamente em russo e alemão. Além de muitos artigos publicados em periódico especializados, como o russo *Voprosi Filosofii* (Problemas de Filosofia), também foram publicados diversos livros que tratavam exclusivamente das questões filosóficas sugeridas pelo estudo, por exemplo, da estrutura atômica da matéria, da química quântica, das teorias ácido-base, da estrutura das moléculas orgânicas, etc.

Todavia, nos últimos anos, tem aumentado o interesse filosófico pelas ciências químicas nos países ocidentais. Podemos apontar como iniciativas que materializam este crescente interesse a realização da *First International Conference on Philosophy of Chemistry*, ocorrida em Londres em março de 1994, bem como de várias reuniões e congressos ocorridos naquele mesmo ano na Alemanha, nos Estados Unidos e na Itália. Em 1995, foi criado o jornal *Hyle: An International Journal for the Philosophy of Chemistry*, primeiro em forma eletrônica, depois, em 1997, na forma impressa. Também em 1997 se estabeleceu a *International Society for the Philosophy of Chemistry*, que realizou uma síntese de alguns temas a serem abordados pela filosofia da química. Esta seleção foi publicada em 1999 com o título *Foundations of Chemistry* (Van Brakel 1999, pp. 112-123).

Um dos principais obstáculos ao desenvolvimento da filosofia da química deveu-se à assimilação de que a química seria redutível à física. Dentre as disciplinas científicas, a química sempre foi considerada como a mais suscetível ao reducionismo físico. A biologia, por exemplo, já oferecia enormes dificuldades aos mecanicistas desde os tempos de Descartes, tendo encontrado no vitalismo uma alternativa teórica consistente. Entretanto, esse reducionismo não foi aceito por todos os químicos, de modo que, a partir do século XVII, ocorreram intrincados debates acerca da existência de uma forma química de retratar

o mundo. Isto faz com que a história da química seja permeada pela defesa constante de uma certa singularidade epistêmica. Haveria um *núcleo químico* capaz de oferecer um conhecimento sistemático das experiências levadas a termo pelos químicos, que clarificasse as espécies químicas, os sistemas de classificação, ou então, que desse uma fundamentação teórica mais adequada às formulações químicas?

Até o século XIX, essa singularidade era reivindicada pelos próprios químicos que, embora utilizassem algumas leis físicas, consideravam haver um limite na atuação destas leis, a partir do qual a ciência química tinha suas próprias *verdades*. Porém, ao longo do século XX, com a supremacia da *teoria dos quanta*, e sua conseqüente assimilação pela química, os químicos não se interessaram mais em defender uma singularidade para sua ciência, parecendo aceitar que, de fato, em última instância, a química era redutível à física. Isto coincidiu com o desinteresse dos químicos do século XX pela história de sua disciplina, contrastando com o destaque dado à história pelos químicos do século anterior.

No século XIX, vários químicos eminentes, após terem feito progredir sua disciplina, se dedicavam a fazer narrativas contando a evolução do conhecimento químico, desde *tempos remotos* até seu *momento atual*. Todavia, esta historiografia personalista estava mais preocupada com os interesses *atuais* a defender do que com a veracidade histórica, de modo que a tradição disciplinar era remodelada de acordo com as posições *atuais* a serem justificadas. Contudo, durante o século XX, a história da química foi deixando de ser praticada pelos químicos, talvez por estes não acreditarem que a história pudesse oferecer dados relevantes à moderna investigação, passando a ser praticada por historiadores profissionais que estavam interessados não em referendar o presente, mas em reconstruir os caminhos trilhados pelo conhecimento químico a partir dos escritos dos próprios protagonistas. Assim, a esta nova historiografia interessava construir narrativas que situassem o leitor no debate envolvido na aceitação de uma nova teoria, ou seja, que revelassem ao leitor o que significava acreditar nesta nova teoria, e também aquilo que a distinguia da antiga. Este novo enfoque dado à história da química foi conseqüência das mudanças no modo de fazer história da ciência originada pelos trabalhos de Alexandre Koyré, Anneliese Maier, Herbert Butterfield, Robert Merton, dentre outros, que procuravam descrever o desenvolvimento histórico de forma mais realista, mais próximo do ambiente intelectual e social no qual surgiram as idéias científicas. Assim, ao historiador interessava

investigar o desenvolvimento histórico atentando para a estrutura epistêmica responsável pela sustentação de uma determinada teoria científica.

A moderna historiografia científica ganhou ainda mais projeção a partir da publicação do *A Estrutura das Revoluções Científicas*, de Thomas Kuhn, um físico-historiador que propunha uma abordagem epistemológica que não restringia a análise do conhecimento científico ao formalismo dos lógicos. Segundo Kuhn, a característica essencial do conhecimento científico, e aquilo que o diferenciava de outras formas de conhecimento, era apresentar um desenvolvimento repleto de descontinuidades e de saltos revolucionários. Na defesa de suas concepções epistemológicas, Kuhn fez uso de variados exemplos históricos originários não só da física, mas também de outras ciências, como a geologia, a biologia e a química.

A abordagem kuhniana revitalizou não apenas os estudos historiográficos envolvendo a química, mas também as análises filosóficas desta ciência. Aqui, consideramos como filosóficas aquelas questões que envolvem, por exemplo, o reducionismo, a reconstrução lógica das teorias científicas, a química quântica, a físico-química, além de outros temas originados da química contemporânea. Como exemplo deste tipo de trabalho, tome-se o artigo *The Chemical Core of Chemistry*, de Joachim Schummer, no qual encontra-se uma alternativa filosófica ao reducionismo fisicalista. Neste artigo, Schummer apresentou uma investigação das estruturas lógicas e cognitivas do conhecimento químico partindo de *propriedades* que permitiam distinguir a química das demais disciplinas científicas. Para Schummer, nesta tarefa, não estariam envolvidas questões históricas, mas somente as implicações metodológicas suscitadas pela moderna investigação empírica (Schummer 1998, pp. 129-162).

Porém, nesta dissertação, não iremos tratar da moderna filosofia da química, que consideramos estar para a história da química da mesma forma que a filosofia da ciência está para a história da ciência. Seguindo Kuhn, consideramos que estas disciplinas devem se relacionar da maneira mais próxima possível, porém, deve ser uma relação interdisciplinar, de modo que seja garantida a particularidade de cada enfoque. Esta relação também é assimétrica, ou seja, não tem o mesmo grau de importância nas duas disciplinas. Assim, para a história da ciência, é essencial a compreensão da estrutura filosófica subjacente a uma determinada teoria científica, de modo que, para o historiador da ciência,

a filosofia, assim como o conhecimento da ciência, é um instrumento básico de trabalho. No entanto, esse interesse historiográfico se remete à história da filosofia, e não propriamente à atual filosofia da ciência, que tem, segundo Kuhn, muito pouco a contribuir para o trabalho do historiador. Todavia, não obstante a moderna filosofia da ciência ter muito pouco a dizer à história da ciência, esta, ao contrário, pode ajudar o filósofo da ciência a familiarizar-se mais estritamente com a ciência de um determinado período. Ou seja, se para a história da ciência, a atual filosofia da ciência tem poucas contribuições a dar, as análises filosóficas da ciência moderna, ao contrário, se enriquecem quando seus protagonistas conhecem o desenvolvimento histórico da disciplina analisada, de modo que é neste sentido que a relação entre a filosofia e a história da ciência é assimétrica (Kuhn 1989b, p. 39).

Aqui, faremos um trabalho histórico que terá por objetivo analisar o papel desempenhado pelo químico Antoine Laurent de Lavoisier (1743-1794) na história da química. Este trabalho pretende esclarecer como ocorreu a construção da imagem de Lavoisier como fundador da química moderna, bem como oferecer uma alternativa a esta imagem que procura ampliar o horizonte dos estudos históricos sobre a química.

Isto irá nos transpor do final do século XVIII para meados do século XVI, período no qual encontramos elementos que permitem delimitar uma prática química imbuída do mesmo espírito de novidade que caracterizou a chamada revolução científica. Este recuo revelará um debate rico em questões epistemológicas entre os que defendiam que a química era uma extensão da física, e aqueles que, ao contrário, defendiam uma singularidade para a sua ciência. As questões epistemológicas aí envolvidas interessam à atual epistemologia da ciência na medida em que o reducionismo ainda é um tema de interesse epistemológico.

Contudo, nos restringiremos ao reducionismo dos séculos XVII e XVIII, não discutindo nem as semelhanças, nem as diferenças, com as atuais reflexões sobre o tema. Esta restrição revela uma diferença importante entre o trabalho histórico e o trabalho filosófico suscitado pela ciência química. Enquanto os filósofos da química trabalham para construir um sistema epistemológico coerente para o edifício da química contemporânea, os historiadores delimitam um espaço de atuação, localizando seu tema e restringindo suas análises aos termos utilizados pelos próprios protagonistas. Assim, para os epistemólogos profissionais, a história da ciência serve apenas para exemplificar este ou aquele modelo

epistemológico; já para o historiador, não se deve transpor debates epistemológicos contemporâneos para discussões travadas no passado. Embora diferentes, estas disciplinas se influenciam mutuamente. Por exemplo, ao descrevermos as pretensões newtonianas sobre a química, desempenharemos tanto o papel de historiador quanto o de epistemólogo, pois apresentaremos não apenas as questões envolvidas naquele acontecimento, mas também nos serviremos daquele evento para apresentar um modelo epistemológico que consideramos satisfatório na explicação sobre o desenvolvimento da ciência. Trata-se do modelo epistemológico proposto por Kuhn, que considera que o conhecimento científico progride através de revoluções científicas. Assim, nosso trabalho será histórico, mas também abordará algumas questões epistemológicas relacionadas não com a moderna filosofia da química, mas com aquela parte mais geral da epistemologia científica.

Não observada essa diferença disciplinar, corre-se o risco das generalizações e dos anacronismos. Um exemplo de análise epistemológica que expande generalizações e comete anacronismo é a própria epistemologia kuhniana, que generalizou as conclusões tiradas do estudo da revolução copernicana e atribuiu a certos termos o significado que estes não possuíam no tempo em que foram empregados. Assim, não obstante intensa correspondência, esses campos tem interesses diferentes e somente auxiliam um ao outro se forem praticados em sua integridade.

Ao analisar a revolução química do século XVIII, Kuhn apontou Lavoisier como aquele que ofereceu à ciência química padrões de cientificidade que a tornaram uma *ciência moderna*. Aliás, a revolução lavoisieriana ofereceu um dos exemplos que melhor descreveu as idéias epistemológicas de Kuhn. A revolução química permitiu a Kuhn esclarecer melhor o que ele queria dizer ao se referir a uma *anomalia*, à diferença entre uma *descoberta* e uma *invenção científica*, bem como para apontar um fato ímpar entre as revoluções científicas, qual seja, o da previsibilidade revolucionária de seu principal protagonista. Esta estrutura epistemológica encontra dificuldades se descrevermos os episódios utilizados por Kuhn de forma mais próxima dos textos originais. Uma narrativa histórica centrada nos protagonistas da revolução química do século XVIII mostrará que esta revolução não exemplifica adequadamente os termos kuhnianos, sugerindo que o mais adequado para a compreensão daqueles eventos consiste em descrevê-los a partir da estrutura epistemológica da própria época.

Isso nos revela que a revolução química foi um evento que transcorreu ao longo do século XVIII, e que teve a contribuição de inúmeros personagens. Nesta descrição, nos familiarizaremos com diversas questões de natureza epistemológica, assim consideradas por tratarem da própria estrutura teórica do conhecimento químico, de modo a compreendermos aquilo que estava em jogo naqueles debates. Assim, sustentamos ser mais pertinente à história epistemológica da química analisarmos os fatos da forma mais próxima àquela como estes eram tratados pelos protagonistas do processo.

Contudo, embora façamos algumas restrições à interpretação kuhniana, nos parece que a revolução provocada por Lavoisier ainda pode exemplificar essa epistemologia. Em alguns aspectos, o surgimento da química lavoisieriana descreve aquilo que Kuhn aponta como essencial no surgimento de uma nova teoria científica. Por exemplo, a conversão de personalidades importantes ao novo paradigma científico, a existência de canais de comunicação entre os membros dessa nova comunidade científica, e principalmente, o surgimento de uma nova linguagem capaz de descrever o mundo sob o ponto de vista desse novo paradigma. Assim, apesar de apontar certas generalizações e anacronismos, consideramos pertinente a abordagem epistemológica feita por Kuhn.

Em consonância com o que foi dito, cabe uma rápida descrição de como iremos tratar esses temas. No primeiro capítulo, discutiremos a construção da imagem de Lavoisier como fundador da química moderna pelos químicos-historiadores franceses do século XIX. Faremos isto por dois motivos principais. O primeiro é o de revelar a parcialidade das narrativas históricas produzidas no século XIX, sugerindo uma expansão dos interesses historiográficos sobre a química, o que nos levará a refutar uma visão historiográfica tradicional que defende que a química passou por uma revolução tardia, e a reconsiderar a idéia de que a revolução científica teve como requisito fundamental o progresso na quantificação matemático-experimental da ciência, bem como a idéia de que a história da medicina não constitui um capítulo integral na história da ciência. O segundo motivo é o apontar a permanência dessa imagem de fundador na análise epistemológica apresentada por Kuhn.

No segundo capítulo, descreveremos a expansão do programa newtoniano para a química. Este programa foi proposto por Newton em sua *Óptica*, e tinha por objetivo fornecer à química um tratamento teórico semelhante ao utilizado para explicar o

movimento dos corpos macroscópicos. Esta incursão newtoniana sobre a química pode ser lida de duas maneiras distintas.

Pode ser lida como uma tentativa de incorporação da química pela física, como defenderam os físicos, mas também pode ser lida de um ponto de vista químico, na qual os químicos encontraram na metodologia newtoniana uma forma de apresentar os conhecimentos químicos segundo critérios mais rigorosos.

Discutindo estas possíveis leituras, abordaremos a questão do reducionismo da química à física, e também as alternativas a esse reducionismo apresentadas pelos químicos. Além de descrever as questões epistemológicas decorrentes desse reducionismo, também faremos uso da química newtoniana para discutirmos a epistemologia kuhniana à luz de um exemplo histórico. Isto exemplificará o uso que os epistemólogos fazem da história da ciência. Para os epistemólogos, a história não passa de um depósito de potenciais exemplos na resolução de problemas epistemológicos atuais. Desta forma, utilizaremos a narrativa histórica para exemplificarmos aquilo que Kuhn denominou de *mudança paradigmática*, demonstrando o significado da transformação de uma *anomalia* em *regra*. Permeando esta discussão sobre a epistemologia kuhniana, há outra que trata da relação entre duas tradições de ciência: as *ciências clássicas* (astronomia, estática, hidráulica, matemática, e harmonia), assim chamadas por englobar estudos eminentemente intelectuais, e as *ciências baconianas* (eletricidade, magnetismo, química), preocupadas com o experimentalismo empírico. As ciências clássicas sofreram profundas alterações durante o século XVII, porém, foram transformações restritas ao ambiente intelectual.

Ou seja, somente alguém com conhecimento matemático sofisticado seria capaz de compreender e comparar o *As Revoluções dos Orbes Celestes*, de Copérnico, com o não menos matematizado *Almagesto*, de Ptolomeu. Contudo, a partir do século XVII, começou a se desenvolver um novo método empírico para a investigação da natureza. Este novo método, atribuído a Francis Bacon (1561-1626), era empírico e pouco matematizado, contrastando com a estrutura matematizada das ciências clássicas. Os experimentalistas baconianos priorizavam as experiências reais, passíveis de controle e repetição, desprezando o experimentalismo clássico que recorria a observações corriqueiras, ou então, a experimentos mentais. A esses experimentalistas não era permitido fazer generalizações que ultrapasassem os limites do real. Todavia, esta novidade experimental teve pouca

influência sobre as ciências clássicas, de modo que, durante o século XVII e boa parte do XVIII, essas duas tradições de pesquisa se desenvolveram paralelamente. Uma exceção a este paralelismo foi Newton, que desenvolveu duas linhas de pesquisa distintas, uma centrada nas ciências clássicas, e outra mais preocupada com temas suscitados pela investigação baconiana.

O resultado foi duas linhas distintas de influência newtoniana, uma perceptível desde os *Principia*, a outra desde a *Óptica*. Todavia, cabe ressaltar que Newton utiliza os experimentos baconianos para obter generalizações teóricas, o que evidencia seu compromisso com as ciências clássicas, de modo que ele faz um uso não baconiano do experimento baconiano (Kuhn 1989d, pp. 63-100)

No final de sua *Óptica*, Newton tratou de uma série de questões para as quais pretendia lançar as bases de um estudo mais pormenorizado das ciências empíricas. A química foi tratada na chamada *questão 31*, na qual Newton apresenta seu programa de pesquisa para a ciência química. Este programa foi muito utilizado pela química do século XVIII, principalmente na construção de tabelas que organizavam os resultados experimentais acerca das *afinidades químicas*, assunto considerado por Newton como o mais suscetível de matematização.

Contudo, os químicos tradicionais rejeitavam as conseqüências epistemológicas do programa newtoniano, se esforçando em propor modelos que fossem tão apurados quanto o de Newton, porém, que preservassem a singularidade química. A química stahliana foi a principal alternativa ao reducionismo newtoniano, pois, ao unificar uma série de fenômenos químicos a partir do *princípio do flogisto*, oferecia aos químicos uma teoria explicativa consistente. Além de oferecer uma alternativa à química, Stahl também apresentou uma *teoria vitalista* para os estudos relacionados aos seres vivos.

Para Stahl, a química e a física somente poderiam explicar a matéria inerte, ou a degradação dos corpos após a morte, porém, eram insuficientes para explicar a manutenção da vida. Tanto na *teoria flogística*, como na *teoria vitalista*, Stahl, ou melhor, os stahlianos procuraram seguir um rigor semelhante ao das ciências físicas. Assim, na química, Stahl cria o primeiro sistema explicativo capaz de abranger uma variedade de fenômenos, tais como a calcinação, a combustão, e aquelas reações que hoje denominamos de oxirredução.

Na química a influência de Stahl se extinguiu com Lavoisier, que irá convergir o ideal metodológico newtoniano com a exigência de singularidade dos químicos tradicionais. Já nos domínios da biologia, ao contrário, o vitalismo de Stahl se estendeu até o século XIX. Um exemplo da permanência do vitalismo stahliano na biologia está nos trabalhos de Xavier Bichat, fisiólogo francês, que no final do século XVIII, postulava a existência de uma *força vital*, cuja natureza, a exemplo da *força gravitacional*, era desconhecida, mas que, como esta, era capaz de unificar uma variedade de fenômenos (Dutra 2001, p.5).

Essa química stahliana será apresentada no terceiro capítulo, no qual discutiremos melhor a revolução lavoisieriana. Partindo da descrição histórica dos eventos ocorridos no último terço de século XVIII, voltaremos a discutir a relação entre a epistemologia da ciência e a história da química.

A revolução lavoisieriana foi uma referência constante na argumentação de Kuhn em defesa de seu modelo epistemológico. Era a única que possuía um registro de nascimento, uma promessa revolucionária, servindo também para exemplificar o que era uma anomalia, uma descoberta, uma invenção, além da relação entre as revoluções científica e as revoluções políticas. Numa primeira aproximação, de fato, a obra de Lavoisier parece um perfeito caso de mudança revolucionária da ciência. Contudo, se abandonarmos as generalizações epistemológicas e atentarmos aos textos originais, constataremos que estas generalizações mais ofuscam que esclarecem a compreensão histórica. Assim, permeando a discussão sobre a epistemologia kuhniana com uma descrição histórica, revelaremos os anacronismos e generalizações deste modelo epistemológico. Contudo, interessados na construção de um história epistemológica da química, iremos sugerir uma leitura epistemológica mais próxima do pensamento lavoisieriano, pretendendo, com isso, enriquecer a descrição histórica daquele período.

Entretanto, o aprofundamento da narrativa histórica, apesar de refutar uma primeira leitura kuhniana, revelará um exemplo mais refinado para a argumentação kuhniana. Trata-se da revolução lingüística proposta por Lavoisier. Foi a nova nomenclatura química que garantiu o aspecto de modernidade que atualmente temos da obra de Lavoisier, e que metamorfoseou a sua revolução em fundação disciplinar. Assim, o momento em que ocorreu a ruptura entre a nossa química e a química tradicional foi aquele em que houve

uma ruptura nas estruturas lingüísticas da ciência química. Esta conclusão vem ao encontro daquilo que Kuhn, em trabalhos mais recentes, defendeu como a característica mais distintiva das mudanças revolucionárias. Segundo Kuhn, a principal característica das revoluções científicas estava na ruptura lingüística, pois nesta ruptura se alteravam não apenas os critérios que relacionavam os termos com a natureza, mas também o conjunto de objetos, ou situações, que relacionavam esses termos entre si (Kuhn 2000, pp. 13-32)

Com isso, pretendemos demonstrar que a epistemologia da ciência bem como as análises filosóficas da química contemporânea terão na história da química um poderoso aliado em suas discussões sobre temas atuais. Isto, desde que prestem mais atenção à própria historiografia utilizada, sob pena de fazer generalizações apressadas e cometer anacronismo, ofuscando seu vigor explicativo.

CAPÍTULO 1

UMA LONGA REVOLUÇÃO

Em 1890, Marcellin Berthelot (1827-1907), professor do *Collège de France* e membro perpétuo da *Academia de Ciências de Paris* publicou *A Revolução Química – Lavoisier*, obra na qual apresentava um estudo detalhado acerca dos descobrimentos científicos de Lavoisier.

Nesse trabalho, Berthelot não pretendeu fazer uma extensa biografia de Lavoisier, pois considerava que Édouard Grimaux (1835-1900) havia reunido de forma muito satisfatória os documentos que reconstituíam a vida social de Lavoisier. O que Berthelot desejava era abordar um assunto não muito explorado por Grimaux. Em seu trabalho, publicado em 1888, Grimaux descrevia Lavoisier baseado numa variedade de fontes de referência, dispondo de correspondências, manuscritos, anotações pessoais, e de documentos ainda inéditos, oferecendo uma narrativa grandiosa da vida daquele que teria fundado a química moderna.

Contudo, segundo Berthelot, esse trabalho era essencialmente biográfico, uma vez que o autor se limitava a consagrar umas poucas páginas ao trabalho científico de Lavoisier. Para preencher esta lacuna deixada por Grimaux, Berthelot decidiu apresentar uma biografia científica de Lavoisier, descrevendo suas teorias, seus experimentos, e as semelhanças que a química de seu tempo tinha com a do tempo de Lavoisier. Porém, este não era o único objetivo de Berthelot, que também escrevera seu livro para celebrar o centenário de duas revoluções, a política e a científica. Deste modo, assim como as instituições do *Ancien Régime* haviam ruído em 1789, as velhas teorias químicas haviam sucumbido diante da superioridade da teoria lavoisieriana, de modo que, para Berthelot, a obra de Lavoisier representava uma ruptura no desenvolvimento da ciência química, uma descontinuidade inesperada, que não ocorreu devido ao acúmulo do trabalho de diversas gerações de pensadores e pesquisadores, mas devido a um momento criador.

Além disso, Berthelot elevava a obra de Lavoisier ao nível das de Newton e Descartes, de modo que a nova ciência química teria surgido do gênio de Lavoisier, e esta nada devia nem às teorias químicas do passado, nem às teorias contemporâneas. Assim, as contribuições que constituem os fundamentos da química moderna eram devidas a um só homem: Lavoisier.

Como cientista, Berthelot era um químico respeitado, defensor de uma química sintética, que construía um corpo antes mesmo de conhecê-lo. Para Berthelot, a química criava o seu objeto, o que tornava esta ciência essencialmente diferente das ciências naturais e históricas, que trabalhavam para justificar suas teorias a partir daquilo que já existia. Ou seja, Berthelot concebia uma teoria química edificada de acordo com um processo de síntese, baseada em operações que produziam substâncias compostas a partir de suas partes elementares. O edifício dessa nova química começava a ser construído, segundo Berthelot, com a síntese de hidrocarbonetos, compostos produzido pela combinação de seus elementos constituintes: carbono e hidrogênio. Esses compostos constituíam a base para a produção de uma grande variedade de outros compostos químicos tais como álcoois, ácidos, aldeídos, ésteres, éteres, etc. (Bensaude-Vincent 1996a, pp. 217-224).

Contudo, aqui, não nos interessará o Berthelot cientista, mas o Berthelot historiador, pois sua *história* exemplifica bem aquilo que se concebia como história da ciência no final do século XIX, uma história escrita por cientistas. Assim, neste capítulo, abordarei algumas questões relativas à própria natureza da historiografia da química no “século da história”, procurando ressaltar a construção da imagem de Lavoisier pelos químicos-historiadores franceses, e a permanência desta imagem na epistemologia kuhniana. Como conclusão, proponho um alargamento dos horizontes da historiografia química, alargamento que obriga o recuo do “momento fundador” da ciência química do final do século XVIII para meados do século XVI. Fazendo isso, estarei refutando a idéia de que a química passa por uma revolução tardia, como defendeu Butterfield, sustentando, ao contrário, que a revolução química, como defende Debus, iniciou-se no mesmo período que a proclamada Revolução Científica.

O fundador

Guyton de Morveau, um dos principais colaboradores de Lavoisier, foi o primeiro a considera-lo o “fundador” da química moderna. Em 1786, na *Enciclopédia*, Guyton proclamou-lo como salvador da química, campeão da verdade, inimigo do dogmatismo. Para Guyton, a obra lavoisieriana era definitiva e inalterável, de modo que a ordem que Lavoisier pôs na química era a ordem da própria natureza, uma ordem imutável. Dizia :

A posteridade verá erguer-se o edifício de que eles (os primeiros químicos) só puderam estabelecer os fundamentos; mas ela só pensará destruir o que eles tiverem feito quando, com as mesmas matérias, nas mesmas circunstâncias, a natureza tiver deixado de operar os mesmos fenômenos (Bensaude-Vincent 1996b, p. 218).

Outro a descrever Lavoisier como “fundador” foi Jean-Baptiste Dumas (1800-1884). Na quarta lição do seu *Lições sobre a Filosofia Química*, escrita em 1836 por ocasião do aniversário da morte de Lavoisier, e também com o intuito de homenagear Madame Lavoisier, recém-falecida, Dumas apresentou Lavoisier como um ser inspirado, que revolucionou a química com auxílio da balança, e da fórmula “*rien ne se perd, rien ne se crée*”. Dumas, que foi ministro da educação no início do Segundo Império e presidente da *Academia de Ciências*, também se empenhou em publicar a obra completa de Lavoisier, dizendo estar *doando aos químicos o seu Evangelho*. Segundo Dumas, ao pronunciar o seu *fiat lux*, Lavoisier “afastara com um gesto audacioso os véus que a antiga química em vão se esforçou por erguer, na altura em que, dócil perante a sua voz poderosa, a aurora começa a penetrar as trevas que se devem desvanecer diante do fogo de seu gênio” (Dumas 1937, p. 113).

Além dessas apreensões triunfalistas, a imagem de Lavoisier “fundador” também serviu a interesses nacionalistas. Em 1869, véspera da guerra franco-prussiana, Adolphe Wurtz (1817-1884), professor da *Faculdade de Medicina de Paris*, deu ares nacionalistas à figura de Lavoisier, iniciando seu *Dicionário de Química* com uma provocação aos químicos alemães. Para Wurtz, a química era uma ciência de origem francesa, constituída por Lavoisier, de imortal memória (Crosland 1981, p. 718). Os alemães respondiam, denunciando as pretensões além-Reno de transformar a Química numa ciência

eminentemente francesa, acusando Lavoisier de diletantismo, e apontando que o verdadeiro revolucionário teria sido Stahl, e não Lavoisier, que apenas invertera o sistema stahliano.

Essas *Histórias* de Guyton, Dumas, e Wurtz, entre outras, representam o partidarismo que caracterizava as narrativas românticas da primeira metade do século XIX. Esta historiografia concebia o passado como uma coleção de fatos isolados, sendo tarefa do cientista-historiador recuperá-los para justificar suas próprias idéias, procurando, com isso, reivindicar uma tradição, ou solicitar a criação de uma nova cátedra, ou ainda, a construção de um novo laboratório. Assim, Guyton desejava divulgar as conquistas da nova química, por isso celebra Lavoisier como um salvador; Dumas desejava combater as idéias de Auguste Laurent, um antigo aluno seu, que concebia a estrutura dos corpos químicos como de natureza geométrica, ao contrário do mestre, que se mantinha adepto da teoria dualista de Berzelius, teoria que, por sua vez, tinha suas origens na química de Lavoisier, daí a apresentação deste como um gênio inspirado; e Wurtz que, embora provoque os alemães, desejava adotar nas escolas da França o modelo pedagógico de laboratórios-escola, inventado e praticado por Justus von Liebig (1803-1873) na Universidade de Giessen, evocando, para conseguir verbas, o grande Lavoisier, aquele que tudo media. Além disso, Wurtz também utilizava a imagem de Lavoisier para introduzir a noção de atomicidade, em substituição à teoria dos tipos de Dumas e Gerhardt.

No entanto, essas narrativas heróicas não resistem a uma análise mais apurada. Se transpusermos as declarações triunfalistas desses químicos-historiadores, encontraremos uma prática bem diferente, muitas vezes em franca contradição com suas declarações. Por exemplo, Guyton de Morveau trabalhava com as *afinidades*, assunto não abordado por Lavoisier, ou mesmo Berthollet, outro colaborador, que estudava as *condições das reações químicas*, problema também deixado de lado por Lavoisier. Além disso, as declarações de Guyton de Morveau soam estranhas, pois este nada fará para salvar da guilhotina aquele que considerava ser o “salvador da química”. Aliás, foram justamente os antigos colaboradores de Lavoisier, Guyton, Fourcroy e Berthollet, os designados pela Comissão de Segurança para ir até a casa de Lavoisier apreender todos os aparelhos e documentos necessários à Comissão dos Pesos e das Medidas. Mesmo sendo membros importantes da Comissão de Instrução Pública da Convenção Nacional, os companheiros de outrora nada fizeram para salvar Lavoisier. O apóio a Lavoisier veio de membros da doutrina inimiga,

Cadet e Baumé; embora adversários da teoria de Lavoisier, manifestaram a integridade moral de Lavoisier, ressaltando suas capacidades acadêmicas; mas isto não foi suficiente. Lavoisier, juntamente com os demais *fermiers généraux*, foi guilhotinado em 8 de maio de 1794 (Bensaude-Vincent 1996b, p. 216).

Na narrativa de Dumas, percebemos uma outra contradição na construção da imagem de fundador. Dumas lançou toda a química pré-lavoisieriana nas trevas do caos e da pré-história, admitindo que a história da química começava com Lavoisier. Contudo, como diz Bensaude-Vincent, não existe história depois desta revolução, pois tudo já está inscrito na fundação, de modo que a própria revolução escapava à história, sendo resultado da intuição genial de Lavoisier. Além deste paradoxo, há um segundo, que está relacionado com a investigação da natureza elementar da matéria. A definição provisória de Lavoisier sobre os corpos simples, como resíduo de um processo de análise, encorajava as tentativas de decomposição desses corpos, retomando a idéia de elemento primordial. Todavia, Dumas, bem como a maioria dos químicos franceses, era adepto da teoria dos equivalentes de Richter e, portanto, se via obrigado a rejeitar a teoria atomista. Assim, em suas aulas no *Collège de France*, Dumas se referia à teoria atômica da seguinte maneira:

O que nos resta da excursão ambiciosa que nos permitimos na região dos átomos? Nada, ou pelo menos nada de necessário. O que nos resta é a convicção que a química se perdeu aí, como sempre quando, abandonando a experiência, quis caminhar sem guia através das trevas. Com a experiência à mão, encontrareis os equivalentes de Wenzel, os equivalentes de Mitscherlich, mas procurareis em vão os átomos tal como a vossa imaginação sonhou [...]. Se eu fosse o mestre, apagaria a palavra átomo da ciência, persuadido que ele vai mais longe que a experiência; e na química nunca devemos ir mais longe que a experiência (Dumas 1937, p. 178).

Porém, esta rejeição não era total, pois Dumas compartilhava o uso dos “pesos atômicos”, conceito derivado da teoria atômica de Dalton. Contudo, Dumas tentava evitar essa contradição sugerindo uma diferenciação epistêmica entre o “átomo dos físicos”, que correspondia a um ideal de uma ciência dedutiva e mecanicista, e o “átomo dos químicos”, que se inscrevia num programa de caracterização aritmética de cada substância.

Essa alternativa epistemológica de Dumas não foi aceita por Wurtz, que tentava introduzir na França o atomismo empirista de Dalton, dizendo que o programa de Lavoisier sugeria a procura pelo elementar empírico. Assim, Wurtz proclamava um herói nacional mais para justificar suas concepções atomistas do que para combater os métodos e as teorias dos estrangeiros agressores, aliás, métodos e teorias adotados por Wurtz.

Portanto, as narrativas históricas da química, e da ciência em geral, na primeira metade do século XIX, estavam menos preocupadas com a veracidade da narração do que com os interesses *atuais* a justificar, com os heróis nacionais a proclamar, e com uma pátria a servir e defender.

Na segunda metade do século XIX, influenciada pela “grande história” positivista, a historiografia científica também se voltou para o documento, para as fontes originais das verdades *atuais*.

Assim, o positivista Berthelot resgatava o passado da química, segundo dizia, com a intenção de corrigir as injustiças, os exageros, e os erros daqueles que, antes dele, haviam tratado da obra de Lavoisier. Não era verdade, dizia Berthelot, que Lavoisier tinha sido o primeiro a pronunciar o “*rien ne se perd, rien ne se crée*”, pois no século II, Lucrécio já havia proclamado a constância da matéria. Também não era verdade que Lavoisier tivesse sido o primeiro a utilizar a balança, pois são inúmeras as provas de que tal instrumento era conhecido desde tempos antigos. Porém, afastados alguns exageros, era verdade que a revolução lavoisieriana era tão grandiosa quanto a revolução francesa, e com esta, o período que se seguiu a ela tornou-se muito diferente daquele que a precedera. Mas, ao contrário das narrativas tradicionais, a de Berthelot fundamentava seus argumentos em documentos exclusivamente científicos, mostrando que Lavoisier havia previsto sua revolução – registro de 1772 – e concluído em 1789, com a publicação de seu *Traité Élémentaire de Chimie*.

Assim, em 1789, o mundo vira acontecer duas revoluções grandiosas: uma social e outra científica. Para Berthelot, a revolução química e a revolução francesa eram dois acontecimentos semelhantes, imprevistos, que transformaram profundamente tanto a sociedade quanto a ciência química.

A *história* de Berthelot é menos triunfalista que as anteriores; porém, preserva a mesma imagem de Lavoisier “fundador”, isto por dois motivos principais: primeiro porque Berthelot, sendo francês, proclamava que o “fundador” de sua disciplina era um químico

nacional; segundo porque como historiador positivista, Berthelot necessitava de uma figura heróica, uma figura que marcasse, na história da disciplina, um momento de separação entre a época metafísica e a *nossa* época positiva.

Assim, no século XIX, os historiadores da ciência, românticos e positivistas, viam o desenvolvimento da ciência como uma marcha quase mecânica do intelecto na descoberta dos segredos da natureza, guiado por métodos sólidos, aplicados com habilidade. O objetivo dessas histórias da ciência era clarificar e aprofundar a compreensão dos métodos ou conceitos científicos *contemporâneos*, mediante a exibição de sua evolução. Deste modo, cabia ao historiador escolher uma ciência estabelecida e descrever quando, onde e como se originaram os elementos que, no seu tempo, constituíam o objeto material e o método presumível dessa ciência. Os erros que a ciência contemporânea pusera de lado eram considerados irrelevantes, exceto para servir de exemplo negativo de uma metodologia equivocada. Além disso, essas narrativas também não se interessavam pelas possíveis influências de fatores externos à ciência, exceto a religião, tida como um obstáculo a ser vencido, e a tecnologia, considerada uma aliada nas demonstrações técnicas.

Porém, já no século XX, os historiadores aprenderam a ver sua matéria de estudo com algo diferente de uma cronologia de resultados positivos, acumulados numa especialidade técnica definida em retrospectiva. O surgimento, como disciplina acadêmica, da história da filosofia contribuiu para uma mudança de orientação na abordagem da história da ciência. Além disso, a descoberta da física medieval por Pierre Duhem desafiava os historiadores da ciência a descrever as teorias antigas em seus próprios termos. Este desafio modelou, segundo Kuhn, a moderna história da ciência, e inspirou os escritos de Koyré, Maier, Partington, dentre tantos outros. Todavia, em contrapartida a esta abordagem internalista da ciência, a historiografia da ciência do século XX também guiou esforços numa outra direção, externalista, notadamente sob influência da historiografia marxista, que tem procurado descrever o desenvolvimento da ciência num contexto cultural mais amplo, no qual fatores institucionais, econômicos, estratégicos condicionam as novas descobertas (Kuhn 1989a, p. 145).

Contudo, não obstante as profundas diferenças entre a moderna historiografia e a do século XIX, a leitura epistemológica de Kuhn sobre a revolução lavoisieriana preservou a

imagem de Lavoisier “fundador”, que, como vimos acima, foi construída durante o século XIX.

Todavia, irei sugerir uma alternativa epistemológica à contradição kuhniana, e se reforço essa contradição é menos para tentar mostrar possíveis influências historiográficas no pensamento de Kuhn, e mais para destacar a permanência da imagem de “fundador” mantida por Kuhn. No entanto, esta imagem limita os interesses da historiografia química, pois concentra o surgimento de toda uma ciência a um “ato criador”. Assim, a seguir, proporei duas alternativas que procuram substituir o momento inicial da ciência química para uma época anterior a Lavoisier, o que recuará a revolução química para os tempos da Revolução Científica.

Modos de transmissão

A imprensa de Gutemberg possibilitou uma divulgação de idéias e conhecimentos que nenhum momento anterior viu ocorrer. Após a edição das primeiras Bíblias, em 1456, a publicação de outras obras fez crescer um próspero mercado livreiro na Europa Ocidental, envolvendo o trabalho de autores, tradutores, desenhistas, e fabricantes de papel e tinta, que viram florescer na cultura uma nova atividade econômica. O comércio de livros e materiais para prensa tiveram um rápido crescimento no final do século XV. Em 1480, cerca de 100 cidades européias dispunham de prensas tipográficas; em 1500, apenas 20 anos depois, o número de cidades com prensas saltou para 286, e estima-se que naquele ano foram impressas 35.000 edições de 10 a 15.000 textos diferentes e que pelo menos 20 milhões de exemplares já estavam em circulação. Esse próspero mercado continuou a crescer, e no decorrer do século XVII, havia em circulação cerca 200 milhões de exemplares, abrangendo textos erudito e populares (Rossi 2001, pp. 87-114). Assim, a difusão das novas idéias e o avanço do saber implicava um forte investimento de capitais que geravam lucros e riscos para os empresários que apostavam na alfabetização.

Contudo, o que nos interessa aqui não são os aspectos econômicos envolvidos no desenvolvimento da imprensa, mas o fato de que o gerenciamento desse mercado livreiro exigia do editor uma minuciosa avaliação da dimensão do público comprador de cada livro. Quantos compradores haveria para uma edição de Galeno, ou dos *Elementos* de Euclides, ou de um livro de viagem, ou de um herbário, ou ainda, de um manual de astronomia?

Nessa avaliação, o editor selecionava um determinado público leitor, o que possibilitava estimar a tiragem de uma determinada edição. Mais precisamente, nos interessa a seleção feita pelos editores, pois o ato de imprimir um livro implicava na existência de um leitor, ou melhor, de uma comunidade de pessoas que compartilhavam leituras comuns.

Porém, não obstante todos os tipos de livros terem sido publicados, nem todos tinham o mesmo estatuto e a mesma forma de transmissão. Esses livros atingiam públicos específicos, e foi esse mesmo público que começou a estabelecer critérios de aceitação de uma nova obra, de uma nova receita, ou de um novo modelo matemático. Contudo, cabe dizer que esse público era heterogêneo, abrangendo desde os doutores da Universidade até o metalúrgico das minas. Assim, a diferenciação desses públicos se dava justamente no estatuto do saber transmitido. A obra alquímica será publicada, e com grande sucesso comercial; porém, o leitor era avisado que não entenderia os conhecimentos essenciais ali contidos caso não soubesse ler nas entrelinhas, decodificando segredos destinados somente aos iniciados. Não bastava a leitura de um texto alquímico; para se tornar um verdadeiro alquimista, o aprendiz deveria acompanhar um mestre experiente que, com o passar dos anos, lhe transmitiria todo o seu conhecimento. Assim, a comunicação direta entre o mestre e o discípulo era um instrumento pedagógico privilegiado. Dizia Agripa: “Não sei se alguém sem mestre confiável e experiente possa compreender o sentido só pela leitura dos livros. Tais coisas não são confiadas às letras, mas são infundidas de espírito para espírito mediante palavras sagradas” (Agripa 1550, citado por Rossi 2001, p. 53).

Os próprios autores selecionavam seu público leitor, ressaltando os requisitos para se compreender integralmente aquilo que desejavam transmitir. Dizia Bauer:

Só para vocês, os filhos da doutrina e da sabedoria, escrevemos esta obra. Escrutem o livro, procurem colher o saber que espalhamos em vários lugares. O que ocultamos em um lugar o manifestamos em outro [...]. Não quisemos escrever a não ser para vocês, que possuem um espírito puro, cuja mente é casta e pudica, cuja fé ilibada teme e reverencia a Deus [...]. Só vocês acharão a doutrina que reservamos somente para vocês. Os mistérios, ocultados por muitos enigmas, não podem se tornar transparentes sem a inteligência oculta. Se vocês conseguirem tal inteligência, só então toda a ciência mágica penetrará em vocês e se manifestarão em vocês aquelas

virtudes já adquiridas por Hermes, Zoroastro, Apolônio, e por outros realizadores de coisas maravilhosas (Bauer 1550, citado por Rossi 2001, p. 51).

Contudo, a metodologia do segredo dos alquimistas foi posta de lado por pessoas voltadas para questões que envolviam a produção de minérios, a destilação de essências ou outros assuntos de natureza prática. É certo que alguns textos sobre esses assuntos já existiam na época dos manuscritos, porém, agora, esses textos podiam ser confrontados com outros mais recentes, e seu ensinamento questionado publicamente. Além disso, o autor desses manuais se via obrigado a identificar-se como tal, acabando com a época em que escritores de diferentes períodos assinavam o mesmo nome, colocando suas contribuições individuais à disposição de uma longa tradição, cujas origens se confundiam com as próprias origens da civilização.

Assim, homens interessados em problemas relativos às máquinas, à tecelagem, à agricultura e à navegação fizeram surgir uma nova literatura voltada para questões envolvidas numa determinada técnica. Nessa literatura, se destacam as obras de da Vinci, de Biringuccio, de Palissy e de Agricola. Essas obras tiveram grande influência nos trabalhos artesanais e, mais tarde, os conceitos nelas contidos terão lugar na metodologia baconiana, constituindo um conjunto de ciências que apresentaram um desenvolvimento paralelo ao das ciências clássicas.

Então, o surgimento de uma comunidade de praticantes das artes químicas pode servir-nos para demarcar um dos “momentos fundadores” da ciência química, isto porque foi entre essas pessoas que se desencadearam os debates que irão suscitar a própria natureza da ciência química. Ou seja, a diferença entre aqueles que se dizem respectivamente químicos e alquimistas remete para a questão do estatuto do saber que constroem, bem como para o seu modo de transmissão. Assim, o papel da imprensa foi crucial no advento da crise na tradição alquímica, não porque a condenou ao esquecimento, mas porque estabeleceu uma nova área de interesse. Deste modo:

Quanto mais vasto era o público que lia a língua vulgar, mais se podia avaliar as potenciais competências científicas e mais os artesãos eram encorajados a revelar os segredos das suas profissões imprimindo tratados e atraindo clientelas para suas lojas.

Permutas novas e frutuosas entre editores e leitores foram criadas igualmente com a penetração social do alfabetismo. Assim que os autores de Atlas e de herbários começaram a convidar os leitores a enviar-lhes comentários sobre o traçado das cotas, ou sobre as ervas e os grãos secos, criou-se uma forma de coleta de dados, à qual cada um podia dar a sua contribuição (Eisenstein 1979, citado por Bensaude-Vincent 1996a, p. 36).

Portanto, recuemos o “momento fundador” da ciência química para um tempo anterior ao de Lavoisier, um tempo em que as investigações científicas se diferenciavam pelo público que as praticavam, e pelos estatutos do saber por eles constituídos.

Contudo, o surgimento de uma literatura química e de uma comunidade de químicos não elevava o saber dos químicos ao nível epistêmico dos saberes clássicos. Os manuais técnicos, as receitas metalúrgicas não produziam conhecimentos essenciais, dignos da preocupação dos filósofos. Porém, isso começou a mudar com absorção dos conhecimentos químicos pela medicina, e será através das Escolas de Medicina que a química construirá sua identidade como ciência acadêmica.

Química universitária

Na Idade Média Cristã, é difícil estabelecer uma diferença clara entre o que seria uma “prática química”, ou seja, um conjunto de operação destinada à resolução de problemas práticos, daquelas “práticas espirituais”, destinadas ao aperfeiçoamento do espírito. As práticas químicas estavam relacionadas com a mineração, com a destilação de essências aromáticas, com o estudo da composição das águas minerais, com testes da qualidade do ouro, tanto *in natura* como aquele *fabricado* por alquimistas, e mais, uma grande quantidade de questões que envolviam a manipulação de matérias, bem como das transformações destes materiais em outros. Porém, fora esta dimensão prática, as transformações químicas também eram interpretadas como um meio para conhecer as íntimas relações entre o Criador e o mundo em que vivemos. Assim, o saber alquímico envolvia temas considerados sagrados, cujas origens se confundiam com o nascimento da própria civilização. Esta dimensão espiritual relacionava as transformações da matéria com o caminho espiritual que o sábio deveria trilhar, de modo que a transmutação de metal

comum em ouro não era apenas a operação concreta, mas representava também uma elevação espiritual.

Contudo, não devemos cometer o erro, muito comum na historiografia científica, de escrever a história em retrospectiva, como se o passado tivesse que servir de argumento para as mudanças do futuro. Partindo deste princípio, não me parece válido procurar o momento de separação entre os interesses dos “antigos alquimistas” e dos “futuros químicos” em algum caso específico, ou na obra de algum autor isolado. Não há na história da química o equivalente a uma “revolução galilaica”, de um autor que não somente teria pretendido estabelecer a diferença entre o passado e o futuro, mas também teria conseguido, até hoje, fazer reconhecer a justeza de suas pretensões (Bensaude-Vincent 1996a, p.35).

Assim, venho propondo a substituição daquilo que tenho chamado de “momento fundador” da época de Lavoisier para tempos mais antigos, e sem a intenção de descrever as questões epistêmicas dessas épocas de modo a guiá-los para a apoteose lavoisieriana. Por isso, considero que devemos tomar o termo “momento fundador” de modo que englobe o maior número de atividades e teorias que tratavam das transformações da matéria, bem como das que tratavam da interpretação teórica destas transformações.

Acima considerei que o surgimento da imprensa poderia nos servir para fixar um dos “momentos” que contribuíram para o estabelecimento de uma ciência química, pois, com o aparecimento do livro, surgiu uma comunidade de pessoas interessadas em operações químicas, de modo que a literatura produzida por estas pessoas diferia daquela produzida por aqueles que tinham uma apreensão mística das transformações da matéria. O estabelecimento de uma comunidade distinta das demais que, muito embora mantivesse um vocabulário alegórico e voltado ao segredo, fez surgir um intenso debate entre os membros dessa comunidade e os filósofos formados no ambiente universitário. Uma das questões centrais desse debate dizia respeito à reivindicação da parte dos experimentadores químicos de uma reforma no ensino universitário; uma reforma que englobasse o aprendizado das operações químicas.

Durante a Renascença, o sistema universitário privilegiava o ensino do Direito, da Medicina, da Retórica e, com menor intensidade, da Física e da Matemática. Esse sistema não fornecia um ambiente propício para discussões de temas científicos; ao contrário, como diz Westfall:

Em 1600, as universidades reuniam no próprio interior grupos de intelectuais de grande cultura, levados não tanto a saudar o comparecimento da ciência moderna, quanto a considerá-la uma ameaça quer para a verdadeira filosofia, quer para a religião revelada (citado por Rossi 2001, p. 370).

Porém, isso mudaria ao longo do século XVI, a partir da obra de Theophrastus Paracelso (1493-1541), médico-químico suíço contemporâneo de Copérnico e Vesálio, e, não obstante o *De Revolutionibus orbium coelestium* (1543) de Copérnico, e o *De humani corporis fabrica* (1543) de Vesálio terem tido uma importância fundamental nas críticas ao saber tradicional, nenhuma crítica neles contida era tão frontal à tradição da época como as que estavam presentes nos escritos do químico suíço.

Paracelso foi uma figura polêmica em seu tempo, médico, viajava de cidade em cidade prestando seus serviços e escrevendo textos que rejeitavam a autoridade antiga, bem como os axiomas específicos da filosofia e da educação tradicionais, exigindo uma reforma do ensino universitário. A principal motivação para a reformulação do currículo universitário era de natureza religiosa, uma vez que Paracelso visualizava uma filosofia e uma medicina verdadeiramente cristãs, em contraste com a filosofia e a medicina atéias de Aristóteles, de Galeno, cujas obras deveriam ser queimadas, como ele fizera em 1527 em Basiléia, e esquecidas. Isto porque a lógica e os debates acadêmicos apenas perpetuavam os erros do passado, de modo que aqueles que procuravam o conhecimento deveriam ir para o mundo da natureza e aprender por meio de novas observações.

Assim, o pensamento paracelsiano insistia que nosso universo era mais bem compreendido do ponto de vista químico ou alquímico, termos usados como sinônimos nos séculos XVI e XVII. Paracelso e aqueles que viam beleza e unidade numa relação harmoniosa entre macrocosmo e microcosmo, imaginavam o Criador como um alquimista divino que separava o puro do impuro.

Para Paracelso, todos os que melhoram a natureza, o padeiro que dá ao grão a perfeição do pão, o metalúrgico que transforma os minérios em espadas, o vinhateiro que faz o vinho a partir da uva, podem ser chamados alquimistas. Alquimista é Deus que criou o mundo,

alquimista é o corpo que digere e transforma a alimentação em corpo humano, o mais nobre de todos os corpos. Alquimia é também a criação de um homúnculo num alambique de licor espermático. Alquimista, mais do que qualquer outro, é o médico capaz de tratar os corpos. O homem, no centro da criação, possui em si próprio o conhecimento das coisas, mas este conhecimento só se poderá atualizar pela experiência, graças à tendência, à atração, à afinidade, entre essas coisas e o seu análogo no homem, e esta atualização terá lugar apenas por uma graça pessoalmente conferida por Deus ao investigador (Hannaway 1975, citado por Bensaude-Vincent 1996a, p.38).

Contudo, aqui, não nos interessa o sistema paracelsiano propriamente dito, mas apenas uma de suas conseqüências mais importantes, a de desencadear o crescente interesse dos médicos na produção de remédios capazes de interagir com o corpo, promovendo o restabelecimento da saúde. Os médicos-químicos paracelsianos rejeitavam a antiga medicina de Galeno, e propunham em seu lugar uma teoria de cura baseada nas semelhanças e não nos contrastes, uma medicina que procurava restabelecer o equilíbrio entre os *elementos* Sal, Enxofre e Mercúrio, que representam a correspondência da harmonia entre o Pai, o Filho e Espírito Santo. Porém, os sucessores desses primeiros médicos-químicos irão rejeitar as implicações místico-religiosas da química paracelsiana, interessando-se apenas pelos benefícios farmacêuticos da química. Foram estes benefícios que levaram à criação de cadeiras de ensino de química nas faculdades de medicina. A primeira cadeira de química numa universidade européia foi criada em Marburg, na Alemanha, onde em 1609, Johann Hartmann foi nomeado professor de *Chymiatría*. No decorrer do século XVII, houve uma ampla aceitação da química nas faculdades de medicina espalhadas pela Europa, de modo que a química se tornara uma ciência ensinada na universidade, um saber constituído, é certo que ligado à medicina, mas deixara de ser apenas um saber artesanal.

No século XVII, Jean Baptist van Helmont (1577-1644) reformulou o paracelsismo, dando ênfase à quantificação, às técnicas de observação e, acima de tudo, às explicações químicas dos processos fisiológicos, fazendo com que a química paracelsiana criasse raízes no ambiente universitário.

Essa assimilação do ensino da química, via as escolas de medicina, constitui a primeira fase um outro possível “momento” de fundação da ciência química, pois, segundo Debus, os trabalhos de Paracelso e seus seguidores, na química ou na medicina, foram contemporâneos aos de Copérnico e Vesálio e, como esses, promoveram mudanças fundamentais. É difícil, diz Debus, sustentar que os progressos devidos a Paracelso não tenham sido verdadeiramente revolucionários em sua natureza e espírito. O resultado foi uma medicina química que se estabeleceu nas faculdades médicas de toda a Europa no curso do século XVII (Debus 1991, pp. 35-43).

A segunda fase resultou do processo que tornou a química uma ciência independente da medicina. Essa separação se deu por iniciativa de médicos que consideravam que van Helmont e os paracelsianos haviam exagerado na relação entre a química e a medicina. Todavia, a reação dos médicos contra as explicações iatroquímicas dos processos vitais se deu através de duas teorias concorrentes.

Hermann Boerhaave (1668-1738) compreendia a medicina como uma extensão da ciência mecânica, considerando que a física era a base da medicina, explicando um corpo em termos de pilares, escoras, vigas, alavancas, polias, ou seja, ele argumentava que os processos vitais deveriam ser examinados à luz da nova física matemática. Boerhaave reconhecia o valor da química, desde que ela fosse confinada aos resultados experimentais e não fosse usada como um sistema abrangente da natureza e do homem. Para ele, a verdadeira ciência geral da matéria orgânica e inorgânica era a física, da qual todas as ciências são ancilares (Debus 1991, p.40).

O vitalismo de Stahl reagiu de forma mais incisiva à influência da química na medicina. Stahl fazia uma nítida distinção entre matéria viva e matéria não-viva, considerando que era a *anima* que impedia a degeneração dos corpos, de modo que, quando a vida terminava, a decomposição se iniciava. Assim, Stahl considerava que a matéria não-viva podia ser estudada pela ciência mecanicista, mas esse não seria o caso da matéria viva. A *anima* era o que dirigia os processos vitais, e estes nada deviam às especulações químicas e físicas. Esse vitalismo stahliano estendeu suas influências até o final do século XVIII. Nós o encontramos, por exemplo, na teoria fisiologia defendida Xavier Bichat (1771-1802), na qual este admite existir uma *força vital* que permitia explicar os processos vitais da mesma forma como a *força gravitacional* explicava os processos físicos. Esta separação entre os

fenômenos que seriam próprios da vida e os que ocorriam no mundo inanimado somente foi superada com a nova fisiologia criada por Claude Bernard (1813-1878), na qual se estabelecia a especificidade dos estudos da vida sem, contudo, se recorrer a uma *força vital* (Dutra 2001, pp. 73ss).

Além de desenvolver uma teoria médica, Stahl também propôs uma interpretação para os fenômenos da química inorgânica, que na versão flogística foi hegemônica no século XVIII. A química flogística de Stahl foi, na verdade, a primeira teoria química capaz de articular uma variedade de fenômenos químicos, de modo que constituiu a segunda fase de um, possível, segundo “momento” de ruptura.

Portanto, ao recuarmos o momento fundador da ciência química, nos deparamos com dois outros possíveis momentos de fundação: o surgimento de uma comunidade de leitores; e a assimilação acadêmica da química via escolas de medicina, que implicou no surgimento de uma química independente pela recusa de teorias médicas em reconhecê-la como pertinente à medicina.

Assim, esse alargamento das possíveis *origens* da química moderna confronta com as teses de Herbert Butterfield, que considerou que a química passara por uma revolução tardia, postergada, sendo consequência dos avanços das ciências físicas e dos aprimoramentos técnicos. Esta posição se reflete nas palavras de Rossi:

Quando fazemos referência à revolução científica, não faz muito sentido colocarmos no mesmo nível, em um discurso geral, a astronomia e a química do mesmo período. De fato, no século XVI, a astronomia já possui uma estrutura altamente organizada, fazendo uso de técnicas matemáticas refinadas, ao passo que a química não tem de modo algum uma estrutura de ciência organizada, nem possui uma teoria das mutações e das reações e nem tem um passado com uma tradição claramente definida. Tal como a geologia e como o magnetismo, a química se torna uma ciência entre os séculos XVII e XVIII, sendo ela própria – ao contrário da matemática, da mecânica e da astronomia – um produto da revolução científica (Rossi 2001, p.271).

Contudo, seguindo Debus, considero mais apropriado entender a revolução química como um processo que se estende por dois séculos e meio, do início do século XVI até o final do

século XVIII. Uma longa revolução que se iniciou com o estabelecimento de uma comunidade de leitores, ganhou consistência epistêmica com o ensino da química nas faculdades de medicina, e revelou ser a química uma ciência singular durante o século XVIII, primeiro com Stahl, e depois com todos os químicos da segunda metade do século, dos quais Lavoisier deu as contribuições mais decisivas.

CAPÍTULO 2

A QUÍMICA NEWTONIANA

Isaac Newton (1642-1727) concluiu uma revolução científica, iniciada por Galileu e Copérnico, e fundou um novo paradigma científico que, pelos menos na física, permaneceu hegemônico até o início do século XX. Contudo, aqui, não pretenderei descrever a obra newtoniana, mas apenas destacar como essa obra teve implicações no desenvolvimento da ciência química.

Em 1704, Newton publicou a sua *Óptica* que, ao contrário dos *Principia*, não tratava da matemática dos movimentos planetários, mas do estudo dos fenômenos elétricos, magnéticos, biológicos, geológicos, e das mutações químicas.

A *Óptica*, assim como os *Principia*, estava dividida em três partes. Na primeira parte, Newton apresentou uma série de definições e de axiomas que davam forma aos princípios gerais da óptica. A seguir, enunciou as proposições e os teoremas que se referiam à óptica geométrica, e também: à doutrina da composição e dispersão da luz branca, à aberração das lentes, ao arco-íris e à classificação das cores. Na segunda parte, Newton traçou considerações sobre as cores, sobre os anéis de interferência, e sobre a interferência que a luz sofria ao atravessar as lâminas. Na terceira parte, Newton descreveu uma série de experimentos sobre a difração e sobre as franjas coloridas que se produzem na presença de obstáculos miúdos e de lâminas cortantes (Rossi 2001, p. 399).

No entanto, Newton reservou os temas de caráter mais especulativo para o final da *Óptica*, onde propôs uma série de questões ou problemas (*queries*) que careciam de respostas. Newton não deu respostas conclusivas a essas *questões*, mas sugeriu soluções provisórias que serviram para demarcar um campo de pesquisas.

O número de *questões* aumentava a cada edição da *Óptica*. Na edição de 1704 eram 16, na tradução latina de 1706 passam a 23, e na edição de 1717 foram para 31. Nas últimas *questões*, Newton tratou de uma série muito ampla de assuntos, indo desde a existência do vácuo, da composição atômica da matéria, das forças elétricas que mantinham os átomos

unidos entre si, da insuficiência das causas mecânicas para explicar o universo, das mutações químicas, até considerações de caráter teológico. Contudo, em face de meu objetivo, vou descrever apenas a *questão* que interessava mais diretamente à ciência química, a *questão* 31 da edição de 1717.

Na *questão* 31, Newton se questionava sobre a natureza do princípio que regia as atrações químicas, especulando que essas atrações ocorriam por intermédio de forças de atração semelhantes à de gravidade. Dizia Newton:

Não têm as partículas dos corpos certos poderes, virtudes ou forças por meio dos quais elas agem à distância não apenas sobre os raios de luz, refletindo-os e inflectindo-os, mas também umas sobre as outras, produzindo grande parte dos fenômenos da Natureza? Pois sabe-se que os corpos agem uns sobre os outros pelas ações da gravidade, do magnetismo e da eletricidade; e esses exemplos mostram o teor e o curso da natureza, e não tornam impossível que possa haver mais poderes além desses. Porque a natureza é muito consoante e conforme a si mesma. Não examino aqui o modo como essas atrações podem ser efetuadas. O que chamo de atração pode-se dar por impulso ou por algum outro meio que desconheço. Uso esta palavra aqui apenas para expressar qualquer força na qual os corpos tendem um para o outro, seja qual for a causa (Newton 1996, p. 274).

Essas palavras, além de expressarem a convicção de Newton em expandir sua metodologia, revelam um aspecto da teoria de Newton que foi muito criticado pelos cartesianos e leibnizianos do continente. Os cartesianos, por exemplo, acusavam Newton de não ter determinado a causa mecânica de suas *forças*, e que, portanto, sua teoria não seria verdadeiramente mecanicista. A filosofia mecanicista havia abolido qualquer referência a *princípios* cuja causa não fosse de natureza mecânica, e seus seguidores consideravam as *forças* newtonianas uma re-introdução de “causas animistas”, ou “princípios ocultos”.

Newton admitia que desconhecia a causa da força de gravidade, e de outras semelhantes a ela, e também que não acreditava que essa causa fosse de natureza mecânica. Todavia, embora atribuísse a causa da gravidade à “princípios ativos”, Newton esclarecia

que esses princípios nada tinham a ver com as “causas ocultas” dos aristotélicos. Segundo Newton:

Dizer que cada espécie de coisa é dotada de uma qualidade oculta particular, pela qual age e produz efeitos sensíveis, é nada dizer. Mas deduzir dos fenômenos da natureza dois ou três princípios gerais de movimentos, e em seguida observar como as propriedades de todos os corpos e os fenômenos emanam destes princípios constatados, será dar um grande passo na ciência, ainda que as causas destes princípios permaneçam ocultas (Newton 1996, p. 281).

Contudo, transcende meus objetivos discutir aqui as divergências filosóficas que existiam entre o pensamento newtoniano e o das demais correntes filosóficas de seu tempo. Aqui, interessa-me a epistemologia da química, e por isso será pertinente descrever como a ciência química foi influenciada pelo pensamento newtoniano.

Porém, afirmar que a ciência química recebeu influência da obra newtoniana é dizer pouco, uma vez que essa influência também foi estendida às demais disciplinas científicas. No entanto, ao menos na química, essa influência newtoniana pode ser descrita através de um exemplo concreto: a *teoria das afinidades*. É certo que o conceito de afinidade entre duas espécies químicas já era discutido desde a antiguidade; contudo, no século XVIII, esse conceito foi interpretado segundo critérios newtonianos, como revelam as palavras de Berthollet: “As forças que produzem os fenômenos químicos são todas derivadas da atração mútua das moléculas à qual se deu o nome de afinidade, para distinguir da atração astronômica. É provável que uma e outra não sejam senão uma mesma propriedade” (citado por Stengers 1996, p. 126).

O programa de pesquisa sugerido por Newton demonstra o seu desejo de encontrar leis que quantificassem matematicamente as transformações que ocorriam no microcosmo, leis semelhantes àquelas que ele próprio havia encontrado para o macrocosmo. Para alcançar essas leis, Newton argumentava que seria preciso começar por saber quais as substâncias que se atraíam, e quais se repeliam, bem como o grau de atração e de repulsão. Vejamos um exemplo dessa metodologia newtoniana para o estudo da química. Segundo Newton:

Quando o sal de tártaro [carbonato de potássio, K_2CO_3] corre *per deliquium* [liquefaz-se], derramado na solução de qualquer metal, precipita este último e o faz cair no fundo do líquido na forma de lama, não prova isto que as partículas ácidas são atraídas mais fortemente pelo sal de tártaro do que pelo metal e, pela atração mais forte vão do metal para o sal de tártaro? Assim, quando uma solução de ferro em *aqua fortis* [ácido nítrico, HNO_3] dissolve o *lapis calaminaris* [cádmia] e solta o ferro, ou uma solução de cobre dissolve o ferro nela mergulhado e solta o cobre, ou uma solução de prata dissolve o cobre e solta a prata, ou uma solução de mercúrio em *aqua fortis* derramada sobre o ferro, o cobre, o estanho ou o chumbo dissolve o metal e solta o mercúrio, não prova isto que as partículas ácidas da *aqua fortis* são atraídas mais fortemente pelo *lapis calaminaris* do que pelo ferro, e mais fortemente pelo ferro do que pelo cobre, e mais fortemente pelo cobre do que pela prata, e mais fortemente pelo ferro, cobre, estanho e chumbo do que pelo mercúrio? E não é pela mesma razão que o ferro necessita de mais *aqua fortis* para dissolvê-lo do que o cobre, e o cobre mais do que os outros metais; e que, de todos os metais, o ferro é o mais facilmente dissolvido e o mais propenso a enferrujar, e, depois do ferro, o cobre? (Newton 1996, *Óptica*, p. 277).

Entretanto, antes de apresentar os resultados empíricos a que os químicos chegaram com sua *força* de afinidade, cabe ressaltar que, a partir da segunda metade do século XX, tomou-se conhecimento da relação que Newton tinha com a alquimia, o que revelou um Newton muito mais próximo da química.

A face alquimista de Newton começou a ser desvendada a partir de 1936, com a compra dos manuscritos alquimistas de Newton por Lorde Keynes, o economista, que depois de lê-los declarou: “Newton não foi o primeiro no século da Razão, foi o último dos Babilônios e Sumérios, o último grande espírito que penetra o mundo do visível e do espírito com os mesmos olhos que os que começaram a edificar o nosso patrimônio cultural há pouco mais de dois mil anos” (Bensaude-Vincent 1996a, p. 77). Esta declaração causou constrangimento àqueles que tinham em Newton o modelo de cientista positivo, e atraiu a atenção dos historiadores sobre o tema.

Na medida que esses manuscritos foram sendo divulgados, percebeu-se que a relação de Newton com a alquimia era bem mais profunda do que se imaginava. Historiadores como Westfall e Dobbs sugeriram que Newton almejava uma síntese filosófica mais ampla entre os fenômenos macroscópicos e microscópicos. A alquimia, ao fornecer evidências das “virtudes” e dos “poderes” das partículas materiais, contribuía para essa síntese cosmológica ainda mais ampla que aquela oferecida nos *Principia*. O historiador McGuire também concorda com esta posição, e afirma que:

Na tradição do pensamento renascentista, representado na Inglaterra pelos platonistas de Cambridge, uma das preocupações centrais de Newton foi a existência do espiritual na natureza. Além da existência da gravitação, Newton via na larga gama de fenômenos químicos e bioquímicos evidência do espiritual [...] Esses movimentos “vitais” inclinavam sua mente para a possibilidade de um sistema baseado em leis categoricamente diferentes dos *axiomata* dos *Principia*: uma filosofia natural do domínio do oculto, baseado nas microforças. Embora Newton, por algum tempo, tenha considerado essas forças como sendo elétricas e magnéticas, ou geradas pela ativação de partícula de luz, a atividade química permaneceu a melhor evidência para determinar suas características (citado por Abrantes 1998, p. 78).

Esse Newton alquimista pode parecer anedótico para os historiadores que se interessam por astronomia ou pela ciência do movimento. Porém, para os historiadores que se interessam pela química, o Newton alquimista é fundamental, pois representa uma tentativa de descrever as transformações químicas segundo rígidos padrões metodológicos.

Contudo, não vou me estender sobre uma possível interpretação alquímica da obra de Newton. Meu objetivo é mais modesto, de modo que restringirei minha análise às implicações do resultado empírico e conceitual, obtido pela teoria que estabelecia um elo entre Newton e a ciência química.

Para concluir, cabe um balanço da incursão newtoniana pela ciência química. Essa incursão pode ser interpretada pelo historiador de duas maneiras:

a *questão* 31 pode ser interpretada como uma tentativa de incorporação da química pela física; mas também pode ser lida de uma maneira que faz Newton restituir aos químicos o direito de falar de “poder”, ou de “potência” dos reagentes, dando um sentido à sua prática, às suas operações, sentido este negado pela ciência puramente mecanicista (Bensaude-Vincent 1996a, p.75).

A primeira leitura da *questão* 31 foi própria daqueles que não consideravam a química uma ciência digna de figurar entre as “ciências clássicas”. Sobre esta posição são reveladoras as palavras de Fontenelle (1699):

A química, através de operações visíveis, divide os corpos em certos princípios grosseiros e palpáveis, sais, enxofres, etc., mas a física, por especulações delicadas, age sobre os princípios como a química faz sobre os corpos; ela divide-os noutros princípios ainda mais simples, em pequenos corpos em movimento e representados duma infinidade de maneiras... O espírito da química é mais confuso, mais embarçado; assemelha-se mais às misturas, onde os princípios estão mais embrulhados uns nos outros: o espírito da física é mais simples, mais solto, enfim ele vai até as primeiras origens, o outro vai até os fundamentos (citado por Stengers 1996, p. 124).

Contudo, a segunda leitura revela que o pensamento newtoniano também foi incorporado na tradição dos químicos, fornecendo a esta tradição padrões metodológicos semelhantes aos da astronomia.

As Tabelas de Afinidade

Em 1718, na França, Étienne Geoffroy (1672-1731), professor do *Collège de France*, apresentou sua *Tabela das Diferentes Relações Observadas entre Diferentes Substâncias*, que constituía uma interpretação empírica da *questão* 31.

Nessa tabela, Geoffroy interpretou um conjunto de reações químicas, que hoje denominamos de deslocamento, ou melhor, de reações de simples e de dupla troca ($A + BC \rightarrow AC + B$, e, $AB + CD \rightarrow AD + CD$, respectivamente).

Na tabela de Geoffroy, encontram-se 16 substâncias que encabeçam 16 colunas. Em cada coluna, a afinidade para com a substância na cabeça da coluna decresce de cima para baixo, de modo que “quando duas substâncias com alguma tendência a se combinarem estão reunidas e encontram uma terceira com afinidade maior com alguma das primeiras, ela se combina com alguma destas, deixando livre a outra” (Maar 1999, p. 439).

Mem. de l'Acad. 1718. Pl. II. pag. 212.

TABLE DES DIFFERENTS RAPPORTS
observez entre differentes substances

↯	⊖	⊕	⊗	▽	⊖	⊕	SM	♁	♂	♁	♀	☾	♂	♁	▽
⊖	♁	♂	♁	⊕	⊕	⊕	⊕	⊖	⊕	☾	♀	♁	♁	♂	▽
⊕	♁	♀	⊖	⊕	⊕	⊕	⊕	♂	☾	♀	PC	♀	♁	♁	⊖
▽	♀	♁	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	♀	♁						
SM	☾	♀	▽		⊕		⊕	♁	♀						
	♀	☾	♂		♁			☾	♁						
			♀					♁	♁						
	⊕							♀							

↯ Esprits acides

⊖ Acide du sel marin

⊕ Acide nitreux

⊗ Acide vitriolique

⊕ Sel aleali fixe

⊕ Sel aleali volatil

▽ Terre absorbante

SM Substances metalliques

♁ Mercure

♁ Regule d'Antimoine

⊕ Or

☾ Argent

♁ Cuivre

♂ Fer

♁ Plomb

♁ Etain

♁ Zinc

PC Pierre Calominaire

♁ Soufre mineral

♁ Principe huileux ou soufre Principe

⊕ Esprit de vinaigre

▽ Eau

⊖ Sel

▽ Esprit de vin et Esprits ardents

Mémoires de l'Académie royale des sciences, 1718, p. 212.)

Traduzindo a primeira coluna para uma linguagem moderna, podemos entender melhor o assunto do qual a tabela tratava. A primeira coluna se refere às reações ácido-base, na qual se acompanha a ordem decrescente de reatividade dos ácidos frente aos álcalis, aos óxidos metálicos, e aos metais. Assim, um ácido reagiria preferencialmente com álcalis fortes (bases fortes, NaOH, KOH, ...), seguido dos álcalis fracos (NH₄OH, ...), dos óxidos metálicos e dos metais.

Os ganhos empíricos trazidos pela tabela de Geoffroy foram relevantes. Ela permitiu, por exemplo, agrupar uma série de reações químicas em um quadro econômico, oferecendo aos químicos um importante instrumento pedagógico.

No entanto, essa incorporação empírica das forças newtonianas colocou aos químicos um problema relativo à própria natureza de seu trabalho. Este problema estava ligado a uma questão ontológica, ou seja, sobre o conjunto das coisas que se admitiam serem próprias das ciências químicas.

Numa linguagem epistemológica atual, devida a Quine, poderíamos dizer que a diferença entre os químicos tradicionais e os químicos newtonianos estava no conjunto de entidades aceitas por cada um destes grupos. Em ambos os grupos havia produção de conhecimento, uma vez que o valor de verdade de cada um se remetia às próprias entidades de sua ontologia, contudo, esse conhecimento não se remetia a entidades comuns. O caminho indicado pelos newtonianos remetia os interesses da ciência química ao universo das relações que o corpo químico estabelecia com sua vizinhança. Portanto, não fazia sentido para um químico newtoniano descrever um corpo químico isoladamente, assim como não fazia sentido para um astrônomo descrever um astro isento de suas relações com os demais corpos celestes. Seguindo esse caminho, os químicos seriam levados a abandonar a noção tradicional de corpo químico, pois, na medida em que se assumia que as reações químicas podiam ser compreendidas a partir de *forças* newtonianas, os corpos em si mesmos se tornavam inertes como os planetas (Quine 1989, pp. 223-235)

Essa idéia se opunha a uma tradição química que vinha desde da antiguidade, uma tradição que remetia seus juízos a qualidades que singularizavam as substâncias químicas. A substância química, nessa tradição, era o sujeito cuja reação exprimia apenas a qualificação. Na química newtoniana, ao contrário, o corpo químico não era mais um sujeito senão por aproximação de linguagem. O único verdadeiro sujeito era o conjunto dos corpos em presença e com interações recíprocas. Assim, para os newtonianos, não era possível atribuir a força do ácido nítrico a ele mesmo, depois de o ter ilustrado com algumas reações típicas, e sim defini-la a partir de um conjunto de reações possíveis (Stengers 1996, p. 129).

Ou seja, enquanto na química tradicional se elegia um conjunto de reações para caracterizar um corpo químico, na química newtoniana, todas as reações interessam na

descrição desse corpo. Esta diferença fez com que os químicos newtonianos investigassem reações que não eram “interessantes” para um químico tradicional, ou melhor, reações que muitas vezes não produziam o composto esperado, ou ocorriam de modo oposto ao previsto. As reações “interessantes”, na verdade, consistiam nas reações que hoje denominamos completas, ou seja, aquelas na qual o produto deixa o meio reacional, ou na forma de precipitado, ou por sua volatilidade. Para os newtonianos, contudo, as reações “interessantes” não eram suficientes para descrever as afinidades, que, no vocabulário newtoniano, passaram a ser chamadas de *atrações eletivas*.

Contudo, essa noção de corpo químico foi contestada por aqueles que defendiam uma singularidade para esses corpos. Os principais opositores à definição newtoniana de química foram os stahlianos, que procuravam descrever as reações químicas a partir de propriedades que seriam singulares a cada corpo químico.

No entanto, essa divergência epistêmica não impediu que os químicos stahlianos utilizassem a tabela de Geoffroy, tendo havido inclusive uma harmonização entre essas duas correntes, oferecida pelo stahliano Pierre Joseph Macquer, que, em seu livro *Elementos de Química* (1775), apresentou uma exposição sistemática da doutrina das afinidades. Macquer sublinhou o caráter empírico das tabelas, e que os resultados obtidos deveriam ser aceitos independentemente da teoria que sistematizava as práticas experimentais. Assim, Macquer aceitava a ordenação dos compostos químicos de acordo com sua reatividade, mas não as conseqüências derivadas de uma interpretação estritamente newtoniana. Para ele, as transformações químicas deveriam ser explicadas recorrendo a elementos que remetessem a propriedades qualitativas distintas.

Mas, não obstante os químicos não-newtonianos adotarem tabelas semelhantes à de Geoffroy, a construção dessas tabelas de afinidade ficou a cargo dos químicos newtonianos. E, para os newtonianos, além de ordenar as substâncias de acordo com sua afinidade relativa, interessava descrever as reações químicas com a mesma precisão que se descrevia os movimentos planetários.

Foram várias as tentativas de quantificar adequadamente as afinidades. Em 1776, por exemplo, Guyton de Morveau, seguindo o caminho newtoniano, mediu a força mecânica necessária para separar placas de diferentes metais do banho de mercúrio no qual as mesmas flutuavam. Assim, Guyton tentava quantificar a afinidade, atribuindo à relação

entre dois corpos, uma medida independente das operações de substituição (Bensaude-Vincent 1996a, p. 102).

Essa quantificação era relativa, e como tal, podia ser expressa por uma seqüência de números relativos, de modo que, quanto maior o número, maior seria a atração entre as espécies envolvidas. Para mostrar isso, é muito ilustrativo o exemplo extraído da obra do químico brasileiro Vicente de Seabra Telles (1764-1804). Aliás, cabe dizer que Seabra Telles foi o primeiro químico estrangeiro a utilizar a nova química de Lavoisier, como demonstra seu livro *Elementos de Química*, publicado em Coimbra no ano de 1788, portanto, um ano antes da publicação do *Tratado* de Lavoisier. Pena que a obra desse grande químico tenha permanecido desconhecida do público, tendo sido resgatada recentemente graças ao trabalho do prof. Filgueiras (Filgueiras 1985). Assim, a nova química esteve à disposição dos químicos de língua portuguesa ao mesmo tempo em que esteve aos da língua de Lavoisier. Esta singularidade talvez ofereça um tema interessante para aqueles que procuram analisar a ciência segundo critérios sociológicos, pois permitiria discorrer sobre as possíveis influências que o meio cultural, político, econômico, dos respectivos países, exerceu sobre o desenvolvimento de uma disciplina científica.

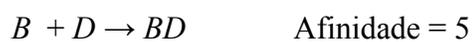
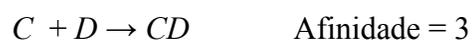
Porém, aqui, só cabe a sugestão de uma possível área de investigação, pois, de Seabra Telles, nos serviremos apenas do método de previsão de ocorrência de reações regidas por afinidades newtonianas. Seabra Telles mencionou tabelas de afinidades entre 8 ácidos e 7 bases, atribuindo valores relativos às afinidades entre estes, permitindo prever a ocorrência, ou não, de reações.

Tabela dos graus de afinidades expressas
por números relativos

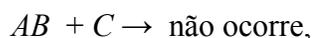
Ácido sulfúrico com		Ácido muriático com	
Barita	14	barita	12
Potassa	13	potassa	11
Soda	12	soda	10
Cal	11	cal	8

Amoníaco	9	amoníaco	7
Magnésia	8½	magnésia	6
Argila	8	argila	5

Filgueiras, ao analisar os exemplos sugeridos por Seabra Telles, comenta um caso genérico, envolvendo as espécies A , B , C e D :



Assim, como a afinidade que une A e B para formar AB é 7, e a afinidade que une A e C para formar AC é 6, temos que:

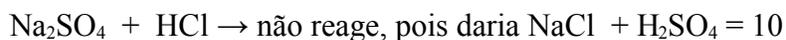


pois o produto AC que seria formado envolveria uma afinidade relativa 6, menor, portanto, do que a afinidade entre A e B , que é 7.

Reproduzindo um exemplo citado nos *Elementos de Química*, convertidos para a linguagem moderna, temos:



A partir desses valores é possível concluir que:



(12)

Outras tentativas, semelhantes às de Seabra Telles, foram apresentadas na segunda metade do séc. XVIII. Contudo, além dos cálculos relativos às atrações, os newtonianos consideravam que o enquadramento das novas descobertas em tabelas de afinidade representava o caminho pelo qual a química deixaria de ser uma prática artesanal, passando a ser uma ciência dedutiva. Tendo este objetivo, o químico sueco Torbern Bergman trabalhou na construção de tabelas seguindo uma metodologia newtoniana.

Uma vez que aos químicos newtonianos todas as reações interessavam, Bergman se propôs a realizar o maior número delas, a fim de esquematizá-las em tabelas semelhantes à de Geoffroy. Contudo, apesar de apresentarem o mesmo aspecto e de utilizarem a mesma simbologia herdada da tradição alquímica, o trabalho de Bergman assumia abertamente um compromisso newtoniano, transcendendo o limite empírico frisado por Geoffroy, e solidificando, com isso, o programa de transformar a química em *ciência* através do paradigma newtoniano.

Mas isso não quer dizer que Bergman desejasse reduzir a química à física, mas que as análises das transformações químicas deveriam ser remetidas às *forças* que atuavam no microcosmo. Nesse aspecto, Bergman seguiu a sugestão do químico stahliano Gabriel François Venel que, na *Encyclopédie*, havia requerido um estudo da relação íntima entre os corpos, garantindo, com isso, uma singularidade para esta ciência. Porém, apesar de concordar com Venel quanto aos tipos de afinidade, Bergman divergia deste quanto ao método mais adequado para caracterizar as afinidades propriamente químicas, ou seja, aquelas que permitiriam explicar como a união de dois corpos heterogêneos produzia um terceiro, este homogêneo. Para Venel, esse tipo de afinidade somente poderia ser explicado na medida em que conhecêssemos as propriedades intrínsecas de cada corpo; já para Bergman, as afinidades químicas poderiam ser explicadas de um modo newtoniano, ou seja, a partir da relação que um corpo químico estabelecia com um outro corpo químico (Bensaude-Vincent 1996a, pp. 101-111).

Bergman considerava dois tipos de afinidade: a de agregação, e a de composição. As atrações ou afinidades de agregação envolviam as substâncias homogêneas, e correspondiam simplesmente a acúmulo de massa, não caracterizando propriamente uma reação química, ou seja, eram afinidades próprias da mecânica. As atrações de composição,

ao contrário, se verificavam em substâncias heterogêneas, podendo ser atrações eletivas simples ou duplas, caracterizando, portanto, afinidades “verdadeiramente químicas” (Maar 1999, p.445).

As tabelas de Bergman, publicadas de 1775 a 1783, além de incluírem as novas substâncias, também tentavam responder a uma crítica feita pelos adversários stahlianos, a saber, a de que a química newtoniana não levava em consideração as peculiaridades do meio reativo, bem como os estágios intermediários, obtidos na reação dos mesmos compostos em condições diferentes. É certo que a resposta de Bergman não satisfiz plenamente aos stahlianos, pois Bergman enumerou apenas duas condições que deveriam ser levadas em conta ao realizar uma reação: a via úmida (solução), e a via seca (altas temperaturas). Não considerou, por exemplo, uma possível reação com a água, ou ainda, a influência da temperatura na reação.

Mesmo assim, Bergman realizou um enorme trabalho, no qual ordenava as milhares de reações possíveis entre 27 ácidos, 8 bases, e 14 metais, agrupando-as em 49 colunas, com um duplo registro: em solução e a seco. Bergman considerava a *afinidade eletiva* entre dois corpos como fixa e totalmente independente de variáveis como, por exemplo, excesso de reagentes, ou mudanças de temperatura.

As evidências experimentais dessas afinidades “verdadeiramente químicas” eram as reações típicas da tradição, já agrupadas na tabela de Geoffroy. Todavia, essas reações tinham a característica de serem completas, ou seja, de serem reações nas quais os reagentes se transformavam totalmente em produto, o que se dava quando um dos produtos escapava do meio reativo.

Contudo, o programa de Bergman se propunha a realizar todas as reações possíveis, e não apenas as tradicionalmente trabalhadas. Isso levou Bergman a se deparar com um número crescente de reações que não ocorriam de maneira completa, ou ainda, não ocorriam no sentido esperado. Bergman respondia a essas *anomalias* recorrendo a obstáculos físicos (concentração, temperatura, etc.), que, segundo ele, impediam que as afinidades “verdadeiramente químicas” se manifestassem; porém as *anomalias* se multiplicavam.

Se há um bom exemplo de *mudança paradigmática*, segundo a expressão de Kuhn, é sem dúvida o modo como Berthollet vai transformar em *regra* as *anomalias* de Bergman.

Esta peculiaridade nos permitirá demonstrar o uso da história da ciência na exemplificação de modelos epistemológicos atuais. Porém, antes de apresentarmos uma ambientação histórica de uma *mudança paradigmática*, cabe um comentário mais detalhado sobre a epistemologia kuhniana.

As revoluções científicas

Durante a primeira metade do séc. XX, foram levadas a termo diversas investigações acerca das características filosóficas que o conhecimento científico apresenta. Não obstante as divergências filosóficas que tais investigações suscitaram, pode-se dizer que compartilhavam a idéia, amplamente aceita, de que o desenvolvimento das ciências empíricas ocorria por meio de um *acumulo linear* do saber.

Contudo, em 1962, o físico-historiador Thomas S. Kuhn publicou o seu *A Estrutura das Revoluções Científicas*, um livro que apresentava um enfoque alternativo na interpretação do desenvolvimento do conhecimento científico.

Segundo Kuhn, era inaceitável a idéia de que o avanço do conhecimento científico ocorria através de um processo de acúmulo gradual e linear de novas descobertas. Segundo ele, era fruto de uma profunda incompreensão histórica o fato de considerarmos, por exemplo, que a física de Newton era melhor que a de Aristóteles, pois resolvia problemas pendentes na física dos aristotélicos, ampliando, com isso, nosso conhecimento. Kuhn, ao contrário, defendia que a característica essencial do conhecimento científico, e aquilo que o diferenciava de outras formas de conhecimento, era apresentar um desenvolvimento repleto de descontinuidades e de saltos revolucionários.

Em sua argumentação, Kuhn distinguiu duas formas de fazer ciência: a *ciência normal* e a *ciência extraordinária*. Segundo ele, a maior parte da investigação científica praticada pelos pesquisadores resultava de trabalhos realizados durante períodos de ciência normal. Então, era a ciência normal que produzia os blocos que a investigação científica continuamente adiciona ao crescente edifício do conhecimento científico, num processo cumulativo semelhante ao da visão tradicional.

Todavia, a existência de períodos de *ciência normal* somente se tornava possível na medida em que um grupo de cientistas pesquisasse sob a orientação de um *paradigma*.

O surgimento de um paradigma hegemônico ocorria, segundo Kuhn, após um período no qual diversos candidatos buscavam maneiras alternativas de selecionar e solucionar problemas. Nestes períodos, chamados por Kuhn de *pré-paradigmáticos*, conviviam diversas escolas competidoras, sem que nenhuma delas tivesse a hegemonia do campo de pesquisas considerado. Porém, quando uma dessas escolas triunfava sobre as outras, e conseguia a adesão geral dos pesquisadores daquela área de estudos, sua maneira de delimitar e resolver um problema era assumida como exemplar, ou como modelo de investigação naquele campo, ou seja, como paradigma para quem quisesse fazer ciência.

Assim, na visão de Kuhn, o surgimento de uma disciplina científica era caracterizado como o momento de fundação desta disciplina, momento provocado devido à emergência de um primeiro paradigma. Esta fundação disciplinar tanto podia ocorrer a partir de um arcabouço herdado da tradição, como através de um início absoluto. Assim, por exemplo, a astronomia copernicana e a física newtoniana, que suplantaram, respectivamente, a astronomia ptolomáica e a física aristotélica, constituíam exemplos de surgimento de um novo paradigma através de uma “re-fundação” disciplinar. Já o surgimento da lógica aristotélica parece ter sido um caso de surgimento *ex nihilo*. Porém, em ambas situações, seus protagonistas principais foram considerados fundadores de disciplinas científicas.

Contudo, seja por um início sem precedentes, seja por um novo começo, o estabelecimento de um novo período de ciência normal envolve bem mais do que a resolução de um problema particular. Segundo Kuhn, o novo paradigma deve resolver não apenas o problema que o possibilitou existir, mas, sobretudo, deve apresentar uma série de outros problemas ainda não resolvidos, de modo a garantir um campo de investigação promissor para futuros pesquisadores. Por exemplo, as pesquisas que procuram a determinação daqueles fatos que são particularmente reveladores da natureza das coisas que o paradigma julga existir, ou aquelas que buscam estabelecer novos fatos a partir das predições feitas pela teoria, ou ainda, aquelas voltadas para a própria articulação da teoria, visando determinar constantes físicas, ou leis quantitativas, constituem realizações das promessas de sucesso que um paradigma contém (Kuhn 1975, pp. 125-144).

Todavia, a pesquisa normal, que é rígida e não admite novidades, produz novidades que podem pôr em risco a existência do próprio paradigma. Segundo Kuhn, a principal

tarefa do pesquisador normal consiste na resolução de *quebra-cabeças*, problemas sugeridos pelo paradigma, ou seja, seu trabalho procura transformar em realidade as promessas desse paradigma. Porém, muitas vezes, o pesquisador vê suas expectativas frustradas, dando-se conta de que algo saiu errado. Essa frustração da expectativa induzida pela pesquisa orientada por um paradigma Kuhn denominou *anomalia*. Assim, uma anomalia seria o resultado da própria pesquisa normal e das investigações orientadas pelo paradigma. Porém, com o tempo, essas anomalias podem ser reforçadas e, dependendo da importância dada pelos pesquisadores ao problema em questão, podem levar a ciência normal a um período de *crise*. Essa crise que, segundo Stegmuller, designa apenas um estado psíquico associado ao grupo de pesquisadores, pode ter desfechos diferentes. Pode ocorrer que, depois de algumas tentativas, o problema seja resolvido no interior do próprio paradigma, ou, se não envolver uma questão central, pode ser deixado de lado para uma futura resolução. No entanto, também pode ocorrer que, devido à importância das questões envolvidas na anomalia, uma solução alternativa, que não segue a orientação da ciência normal, seja apresentada provocando uma revolução científica. Um novo paradigma surge, portanto, não de modo gradual, como fruto do trabalho de uma equipe de peritos, mas, ao contrário, explosivamente, na mente de uma pessoa que mergulhou fundo na crise (Stegmuller 1977, p. 366).

Segundo Kuhn, o antigo e o novo paradigma se mostram *incomensuráveis*, ou seja, não é possível traduzir completamente uns nos outros. Contudo, este fato fica mais ou menos encoberto, pois o novo paradigma se vale muitas vezes das mesmas expressões usadas pelo paradigma antigo. Porém, diz Kuhn, a mecânica newtoniana, por exemplo, não pode ser vista como caso-limite da mecânica relativista, pois os conceitos de espaço, tempo, massa, energia significam, nesta última, algo muito diverso do que significavam na primeira. Por isso, a passagem de um paradigma antigo para um novo não se efetua gradualmente, guiado pela lógica e pela metodologia, mas de forma repentina, semelhante àquelas que os psicólogos chamam de mudança de *Gestalt* (Kuhn 1975, p. 244).

Entretanto, devido à variedade de sentidos em que o termo paradigma foi empregado, Kuhn fez algumas reconsiderações. Nestas reconsiderações, Kuhn reduziu todos os possíveis sentidos de paradigma a apenas dois: um global, abarcando os elementos partilhados por um grupo de cientistas; outro, mais estrito, isolando um gênero

particularmente importante desse elemento, do qual faz parte. Ao sentido mais geral de paradigma Kuhn denominou de *matriz disciplinar* – matriz, diz Kuhn, porque se compunha de elementos ordenados de vários gêneros, cada um exigindo especificações ulteriores; e disciplinar porque era possessão comum dos praticantes de uma disciplina profissional. Ao sentido mais estrito Kuhn denominou de *exemplar*, que fazia parte da matriz disciplinar, juntamente com as *generalizações simbólicas* e *os modelos* (Kuhn 1989c, p. 358).

Contudo, apesar das dificuldades que o emprego do termo paradigma trouxe à epistemologia kuhniana, sua escolha serviu para que Kuhn relacionasse suas idéias com o conceito de jogo, devido a Wittgenstein. Assim, segundo ele, como não existem características necessárias e suficientes para denominar jogo uma atividade humana, também não há condições que permitam diferenciar, de modo rígido, um físico aristotélico, um físico newtoniano ou um físico quântico. Em ambos os casos só existem certos “traços de família” (Kuhn 1975, p. 69).

Além disso, o emprego do termo paradigma evitava o emprego da palavra “teoria”, utilizada mais como referência a teorias formalizadas à moda dos lógicos. Entretanto, segundo Kuhn, as perspectivas dos lógicos eram antes um empecilho do que uma ajuda quando se tratava de investigar as teorias sobre o prisma da história, muito embora a análise lógica fosse parte integrante de um paradigma. Aliás, na visão de Kuhn, quando se fazia filosofia da ciência apenas considerando análises lógicas e metodológicas, as referências feitas à história da ciência remetiam mais àquelas narrativas históricas escritas por cientistas-historiadores do século XIX que, não obstante a importância, estão mais para uma caricatura do que para uma descrição detalhada da história de uma determinada disciplina.

Um paradigma, segundo Kuhn, era muito mais abrangente do que aquelas noções que admitiam formulação em enunciados: a um paradigma correspondia, no reino dos fenômenos, toda *uma coleção de idéias intuitivas básicas* – delimitando, em linhas amplas, quais eram, para os pesquisadores, as perguntas que traduziam problemas relevantes e importantes e os métodos de solução que podiam ser vistos como adequados. Mais do que isso: o paradigma geral extravasava os limites do puramente teórico e se confundia com o que entendemos verdadeiro ou como o que entendemos haver observado. Assim, não teria sentido falar *da* ciência, mas de *formas* da ciência, uma vez que tivemos ao longo da história diversas maneiras de atuação científica, tais como a *Física* de Aristóteles, a

Astronomia de Ptolomeu, a *Química do flogisto*, etc. Desse modo, cada uma dessas ciências surgiu a partir de uma revolução, foi construída durante um período de ciência normal, e, finalmente, substituídas por outras formas de se fazer ciência (Stegmuller 1977, p. 363).

Com essa maneira alternativa de compreensão do desenvolvimento do conhecimento, as revoluções paradigmáticas de Kuhn, além de fomentarem intensos debates filosóficos, também renovaram o interesse pela história epistemológica da ciência. Porém, aqui, o modelo kuhniano interessa menos como um modelo rígido de análise, e mais como inspiração para a realização de um trabalho histórico centrado em questões epistêmicas.

As Anomalias de Bergman

No programa de Bergman, era necessário estudar todas as reações químicas possíveis, pois só conheceríamos uma substância na medida que investigássemos suas relações com outras substâncias vizinhas. Todavia, durante seu trabalho, Bergman verificou que a maioria das reações não produzia um produto puro, ou até ocorriam de modo inverso ao esperado.

As reações incompletas representaram para o programa de Bergman aquilo que Kuhn chamou de *anomalia*, pois consistiram no reconhecimento de que, de alguma maneira, a natureza violava as expectativas paradigmáticas que governavam a ciência normal (Kuhn 1975, p. 78). As reações incompletas eram *anomalias* que perturbavam o esquema geral, não sendo assimiladas por esse esquema. Bergman tentava assimilá-las, ampliando a explicação acerca dos possíveis obstáculos externos, que impediam que a reação formasse um único produto; porém, as *anomalias* estavam se tornando a *regra*.

Na França, Berthollet, também newtoniano, ao trabalhar num projeto que objetivava aumentar a produção de pólvora para canhão, se deparou com um fenômeno que considerou muito interessante. Berthollet, empenhado em defender a revolução, transformou o procedimento artesanal de extração do salitre, que tinha por hábito lavar as rochas nitrosas no próprio local de extração, num processo industrial controlado. Com isso, Berthollet percebeu que, quanto maior fosse a quantidade de salitre dissolvida, menos eficaz era a lavagem. Preferiu lavar várias vezes, empregando em cada lavagem uma água nova, notando ainda que, a cada lavagem, a extração era menor. Então, Berthollet concluiu

que a tendência de um corpo a combinar-se com um outro decrescia proporcionalmente ao grau de combinação já alcançado. Isto significa que a afinidade, em vez de caracterizar um corpo na sua relação com um outro, tornou-se uma função do estado físico-químico do meio, e, em particular, da concentração dos reagentes em presença na reação. A afinidade se tornava, assim, totalmente newtoniana, não havendo mais a distinção entre afinidade física e afinidade química.

Em 1800, acompanhando a expedição de Napoleão ao Egito, Berthollet se deparou com um fenômeno que confirmava suas convicções sobre a afinidade: um “lago de sal”. Neste lago, a soda (Carbonato de Sódio, Na_2CO_3) se depositava nas margens do lago, resultado, segundo Berthollet, da reação entre o sal contido na água e o calcário (Carbonato de Cálcio, CaCO_3) do fundo do lago. Berthollet explicou o fenômeno, apelando para uma dupla circunstância: a quantidade de sal e de calcário, e o fato de os dois produtos da reação serem continuamente eliminados do meio reacional, sendo o cloreto de cálcio drenado através do solo, e o carbonato de sódio precipitado nas margens do lago.

Todavia, essa reação ocorre no sentido oposto ao verificado no laboratório:



Isso levou Berthollet a uma inversão sistemática dos juízos que norteavam o trabalho experimental do químico newtoniano. Se, para Bergman, o meio reacional (temperatura, concentração) era uma fonte de interferência que permitia explicar as *anomalias*, para Berthollet, todas as reações são incompletas, e, agora, era necessário explicar as reações completas, através de fatores específicos, como a eliminação do produto, por sua baixa solubilidade, ou por sua alta volatilidade (Stengers 1996, p. 140).

Para Berthollet, a direção de uma reação não era um absoluto, sendo determinada pelas atrações existentes no meio reativo. Em sua *Estática Química* (1803), Berthollet recusou a distinção entre *afinidades de agregação* e *afinidades de combinação*, afirmando que: “Toda reação química entre duas substâncias [...] forma, ou tende a formar, entre elas, uma união [...]. Chama-se combinação tanto o resultado desta união, como o processo

mesmo da dita união (citado por Lespieau. *La Molécula Química*, p. 25). Para ele, a *força* newtoniana de atração não permitia distinguir entre as *forças* físicas (agregação) e as *forças* químicas (composição).

Essa recusa em distinguir as *afinidades químicas das afinidades mecânicas* decorre de sua rejeição da idéia das *atrações eletivas*, por serem fixas e por indicarem apenas um sentido para a reação. Para Berthollet, uma reação não tinha uma “direção natural”; a direção era determinada pelas condições do meio, ou seja, as atrações não eram *eletivas*, mas *relacionais*.

Assim, a maneira como as reações incompletas se transformaram de uma *anomalia*, para Bergman, numa *regra*, para Berthollet, constitui um bom exemplo daquilo que Kuhn denominou de *mudança paradigmática*.

Finalizo esta seção dizendo que, de qualquer modo, a química newtoniana representou uma das principais linhas de pesquisa na ciência química do séc. XVIII, fazendo avançar a compreensão da estrutura química do mundo, fundamentada por um quadro teórico singular.

Lavoisier newtoniano

No início deste capítulo, afirmei que o pensamento newtoniano chegou à problemática da química tradicional através de *questão 31 da Óptica*. Afirmei também que a incursão newtoniana pela ciência química poderia ser lida de duas maneiras: uma reduzindo a química a um ramo da física, outra oferecendo à tradição uma metodologia capaz de tornar o trabalho sobre as transformações materiais em uma ciência dedutiva, como a astronomia.

Contudo, cabe discutir um pouco mais a origem dessas interpretações. Na verdade, elas provêm do próprio Newton. Isto porque ele mesmo associou duas tradições de pesquisa que abrangiam universos de interesses diferentes.

Nos *Principia*, Newton tratou da ciência do movimento, das leis matemáticas que regiam o movimento dos astros, leis fundamentadas em princípios que, segundo ele, eram inerentes aos próprios corpos, como a extensão, a impenetrabilidade, a inércia, o peso, etc., e na constante ação divina sobre a Natureza, ação sentida através da gravidade.

Os *Principia* deram origem a um campo de pesquisa que durante o séc. XVIII foi chamado de *física geral* (*physique générale*). Eram estudos altamente matematizados, nos quais Lagrange, Euler, d'Alembert, Laplace e outros procuravam provar a universalidade da gravidade, a estabilidade do universo, e afastar a necessidade de admitir a ação do divino no universo. A primeira leitura da incursão de Newton pela química foi própria dessa tradição de pesquisa (Abrantes 1998, pp. 143-173).

Porém, Newton também se ocupou do estudo dos fenômenos que envolviam as transformações materiais, fenômenos próprios de uma *física especial* (*physique particulière*). Na *Óptica*, Newton estava interessado em estudar as propriedades da óptica, da eletricidade, do magnetismo, das transformações químicas, etc. Nesse estudo, Newton atribuiu as transformações que ocorriam no microcosmo a causas semelhantes àquelas envolvidas nas transformações macroscópicas.

Isso fez com que muitos químicos procurassem fundamentar suas práticas experimentais numa metodologia newtoniana, descrevendo reações que, tradicionalmente, singularizavam uma substância, como simples relações entre corpos químicos, relações que poderiam ser matematizadas, tornado-se passíveis de ser deduzidas *a priori*.

Assim, com os *Principia* e a *Óptica*, Newton tanto implantou sua metodologia às “ciências clássicas”, quanto àquelas ciências de tradição baconiana, como a química. Os *Principia* serviram de referência para os trabalhos voltados para o estudo da mecânica celeste, da hidráulica, da teoria das vibrações, da forma dos astros, do fenômeno das marés, etc. A *Óptica*, por sua vez, foi base para o desenvolvimento de uma tradição experimental pouco matematizada, abrangendo os fenômenos ópticos, elétricos, magnéticos, e químicos.

À química, como visto acima, interessava a *questão* 31, que foi aceita enquanto uma interpretação empírica de algumas reações particulares. Porém, houve resistência da parte dos químicos tradicionais quanto à adoção das conseqüências epistemológicas da metodologia newtoniana. Para os newtonianos, os corpos, em si mesmos, eram inertes, desprovidos de qualquer qualidade singular, idéia totalmente rejeitada pelos químicos comprometidos em defender uma singularidade para a sua ciência.

Uma tentativa de solucionar esse conflito foi defendida por Macquer, que aceitava a ordenação de acordo com a reatividade, mas rejeitava a idéia de que os corpos fossem inertes, atribuindo-lhes princípios singulares. Contudo, a melhor síntese entre os dois

programas foi oferecida por Lavoisier, que se propunha a adequar o empirismo baconiano a uma metodologia inspirada em Newton. Notamos esta tentativa de harmonização no *Discurso Preliminar do Tratado*, no qual Lavoisier considerou que o empirismo baconiano deveria ser guiado por uma metodologia newtoniana, metodologia que aprendera em Condillac. No entanto, apesar de reconhecer a metodologia newtoniana, Lavoisier admitia a existência de princípios portadores de qualidade; princípios como o do *oxigênio*, do *calórico*, do *hidrogênio*, serviam para garantir um território próprio ao trabalho dos químicos.

No *Tratado*, Lavoisier fez convergir interesses antagônicos, oferecendo uma teoria química com padrões metodológicos semelhantes ao das ciências clássicas, e preservando uma identidade para a ciência química. Esse foi, sem dúvida, um dos motivos da ampla aceitação de suas idéias. Não bastasse isso, Lavoisier se associou a Laplace, um acadêmico que voltava seus estudos principalmente para os fenômenos da *Física Geral*, que estava, porém, muito interessado em expandir a matemática da física celeste aos fenômenos da *física especial*.

O interesse em quantificar o *princípio do calórico* uniu Lavoisier a Laplace numa empreitada na qual compartilhavam o objetivo principal – medir o calor –; porém, divergiam quanto à natureza desse fluido, tanto é que não discutiram a natureza do calor, atendo-se à descrição do aparelho de medir o calor – o calorímetro – e à matematização dos dados experimentais.

Na dissertação apresentada à Academia em 1783 (*Dissertação sobre o Calor*), Lavoisier estava interessado em tornar mensurável o *calórico*, um dos *princípios* de sua *química*, adotando uma concepção de calor derivada da tradição dos químicos, notadamente de Black. Laplace, por sua vez, estava interessado em medir as forças envolvidas nas transformações microscópicas, considerando que o *calórico* era o responsável pelas forças repulsivas que atuavam nesse universo. Sua concepção de calor seguia a da *física geral*, para a qual o calor era o resultado do movimento das partículas.

Esta parceria entre Lavoisier e Laplace rendeu ao primeiro uma clara demonstração de que o *princípio do calórico*, embora de causa desconhecida, suplantava em clareza a interpretação flogística do fogo. Para o segundo, representou o ponto de partida de seu estudo sobre as forças intermoleculares e sobre as afinidades químicas, concebidas por ele,

como forças de atração. Aliás, Laplace compreendia as afinidades da mesma forma que Berthollet, e se considerarmos que Berthollet foi um dos principais colaboradores de Lavoisier, os ideais newtonianos de Lavoisier se tornam evidentes.

Apesar disso, Lavoisier não se referiu às afinidades no seu *Tratado*, por considerar que os conhecimentos sobre esse tema requeriam novas experiências, apesar de considerar ser esta a parte da química mais suscetível de torna-se uma ciência exata. Essa recusa de Lavoisier em incluir um estudo sobre as afinidades químicas em seu *Tratado* indica seu forte compromisso com a tradição baconiana, de não conjecturar sobre aquilo a cujo respeito os fatos se calam. Ou seja, embora partilhasse dos ideais metodológicos proclamados pelos newtonianos, Lavoisier não criou um programa newtoniano de pesquisa, ao contrário de seus colaboradores mais próximos, os newtonianos Guyton de Morveau e Berthollet.

Portanto, na *química* de Lavoisier, encontramos elementos epistemológicos de pelo menos dois programas de pesquisa distintos: o da química tradicional e o newtoniano. Esses programas revelam, mais uma vez, as profundas relações que Lavoisier mantinha com a ciência do seu tempo. Contudo, essas relações, bem como suas implicações epistemológicas, somente ganharam relevo na medida em que não restringimos os interesses da química aos da *química* de Lavoisier, foi o que tentamos demonstrar aqui, e tentaremos ampliar no próximo capítulo.

Para concluir, vale dizer que a parceria entre Lavoisier e Laplace também influenciou o incipiente estudo dos processos fisiológicos. Segundo eles, o calor animal era da mesma natureza do calor encontrado nos corpos inanimados, de modo que os fenômenos fisiológicos deveriam ser explicados de acordo com os processos físico-químicos conhecidos. Mais tarde, Claude Bernard, o fundador da fisiologia moderna, embora rejeitando as conclusões a que chegaram Lavoisier e Laplace, irá reconhecer o valor dos dois cientistas no nascimento da fisiologia experimental, principalmente por terem concebido não haver diferença de natureza entre os fenômenos fisiológicos e os fenômenos físico-químicos e pela convicção que os norteava de que, assim, a experimentação era possível em fisiologia animal (Dutra 2001, p. 19).

CAPÍTULO 3

LAVOISIER: UMA REVOLUÇÃO CIENTÍFICA

Desde de suas primeiras investigações, Lavoisier considerava que seu trabalho iria provocar uma revolução na química. Esta convicção foi registrada por ele no seu caderno de laboratório em fevereiro de 1773:

Antes de começar a longa série de experiências que me proponho a 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 diferença de estar mais carregado de matéria nociva ou benéfica, segundo a natureza dos corpos dos quais provém. Alguns dos físicos que sucederam Hales notaram diferenças tão grandes entre o ar desprendido dos corpos e o que respiramos que pensaram que era uma substância diferente e o chamaram de ar fixo (...).

Por mais numerosas que sejam as experiências de Hales, Black, Magbride, Priestley, sobre o 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 o ar da atmosfera, nas mesmas condições 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 esse trabalho que me parece 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 a 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 continuidade. Um ponto importante, descuidado 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 natural 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 volátil 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 uma necessidade de repetir primeiramente e de multiplicar as experiências que absorvem ar, para que, conhecendo a origem dessa substância, 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 (Lavoisier, citado por Berthelot 1945, p. 54).

É tentador considerar essas palavras de Lavoisier como o registro do nascimento da química moderna, e essa tentação aumentará se lermos a carta que Lavoisier enviou ao secretário da Academia em novembro de 1772; nela, Lavoisier descrevia uma observação experimental que julgava muito pertinente. Dizia ele:

Há aproximadamente oito dias descobri que o enxofre, ao queimar, não perdia 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, H_2SO_4] 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 litargírio [PbO] em vasos fechados, com o aparelho de Hales, 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 litargírio 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, para ficar secreto até o momento em que publicar as minhas experiências (Lavoisier, citado por Tosi 1989, p. 37).

Cair nessa tentação permite ao historiador construir uma narrativa contrastante, na qual a história da química é dividida em um antes e um depois de Lavoisier. A primeira citação representaria a dimensão que Lavoisier pretendeu dar a seu trabalho, a de ter fundado a ciência química moderna, e de ter conseguido isso por meio de uma revolução, provocando uma ruptura com o passado. A segunda atestaria o momento em que Lavoisier solucionou o problema do aumento no peso que se observava nos materiais calcinados. Esta leitura concentra toda a revolução química do séc. XVIII na figura de Lavoisier, embora seja reconhecida a importância dos predecessores e contemporâneos, a genialidade é atribuída a um único homem, Antoine Laurent de Lavoisier (1743-1794). Foi assim que a maioria dos historiadores da química procedeu.

Foi à revolução lavoisieriana dessa historiografia que Thomas Kuhn se referiu como exemplo típico de revolução paradigmática. Deste modo, Kuhn viu na teoria do oxigênio uma resposta às anomalias experimentais, o que lhe permitiu exemplificar um ponto muito importante de sua epistemologia, a de que uma revolução científica começava com o surgimento de uma *anomalia*, ou seja, de uma contradição entre os dados obtidos e os dados pretendidos pelo paradigma dominante (Kuhn 1975, p.82). Além disso, o próprio Lavoisier, no registro de 1773, previu que seu trabalho levaria a química a passar por uma revolução, esta intuição seria uma prova irrefutável de que ele realmente revolucionou a ciência química.

Com a descrição das questões subentendidas nos textos de Lavoisier, não pretendo discutir a epistemologia kuhniana propriamente dita, mas acompanhar um processo revolucionário segundo seus próprios atores. Embora discorde de Kuhn quanto ao momento em que ocorreu a ruptura com a tradição, quanto às razões que provocaram essa ruptura, e ainda quanto à amplitude da chamada revolução lavoisieriana, considero, todavia, valiosa a idéia de mudança paradigmática, e acho que, de fato, a obra de Lavoisier provocou esse tipo de mudança.

Para evidenciar os motivos de minha discordância com Kuhn, descreverei a *química* que interessava a Lavoisier, as explicações que a teoria tradicional dava a essa *química*, e apresentarei os elementos que considero mais apropriados para “demarcar” o momento da ruptura lavoisieriana. Quanto a esse “momento de ruptura”, acho que, na verdade, há dois “momentos”; um caracterizado pela *conversão* de químicos importantes; outro pela reformulação da linguagem. Se as razões que levaram ao primeiro limitaram temporalmente a teoria de Lavoisier, as que levaram ao segundo garantiram o aspecto de modernidade que essa teoria apresenta.

Além disso, arriscarei apresentar uma *epistemologia lavoisieriana*, que tenta reconstruir os ideais epistêmicos de Lavoisier, mostrando sua relação com o filósofo Condillac.

A química de Lavoisier

Foi tratando da química dos gases que Lavoisier expressou sua convicção de que a Ciência Química deveria ser revolucionada, e ser reconstruída sobre fundamentos que traduzissem fielmente os dados experimentais.

Essa química foi muito discutida na segunda metade do séc. XVIII. Até então, os gases não eram considerados corpos “materiais”, nem eram dotados de singularidade. Embora Robert Boyle (1627-1691) e Jan Baptist Van Helmont (1577-1644), no século XVII, tivessem observado o desprendimento de “fluidos aeriformes” durante uma reação química, o que lhes interessava era avaliar as propriedades mecânicas desses fluidos, e não sua natureza particular. O papel atribuído aos “ares” começou a mudar quando se tornou possível armazená-los em recipientes, e a manipulá-los como os demais reagentes químicos. Foi a “Cuba Pneumática”, construída por Stephen Hales (1677-1761), que possibilitou aos químicos recolher “ares” sobre a água e submetê-los a testes para verificar seu comportamento frente à combustão, à respiração, à solubilidade, oferecendo, assim, um conjunto de características que permitiam uma comparação entre os diversos “ares”.

É interessante notar que a superação das dificuldades de armazenamento e manipulação dos gases foi fomentada por aqueles que almejavam aplicar as leis newtonianas do movimento também ao microcosmo, e viam nos “ares” um modo de caracterizar as forças repulsivas, que se mantinham incógnitas nas leis do movimento (Bensaude-Vincent 1996, p. 110). Esse interesse físico pelos “ares” revela que a química era vista como uma ciência que deveria estar subordinada às leis físicas, não dispendo, assim, de uma singularidade teórica. Para Hales, seguidor da escola newtoniana, o “ar” era formado por partículas com elasticidades diferentes, cujo comportamento poderia ser descrito por leis mecânicas. É verdade que, fomentados por este paradigma, vários químicos se empenharam em construir uma *química newtoniana*, o que, sem dúvida, contribuiu muito para a ampliação dos interesses da química.

Essas “contribuições newtonianas” já foram analisadas no capítulo anterior, de modo que, agora estarei interessado em descrever a apreensão que os químicos tiveram dos “ares”, bem como o papel que desempenhavam nas reações químicas.

Para os químicos, o confinamento de “ares” permitiu analisar algumas propriedades características, como, por exemplo, se alimentava uma chama, se era respirável, o que

tornava possível traçar comparações entre “ares” produzidos pelos mais variados processos. Isso os levou a apontar a insuficiência das leis da mecânica na explicação da natureza dos corpos e das transformações materiais.

Todavia, para a química adquirir uma singularidade, era necessária uma alternativa teórica consistente, e foi no espectro teórico tradicional que se encontrou essa alternativa. Em pleno século XVIII resgataram-se os “elementos aristotélicos”, agora respaldados pela experiência.

Pierre Joseph Macquer em seu *Dicionário de Química*, publicado em 1766, reconhecia o uso dos elementos tradicionais:

Reconhecemos sem dúvida com espanto que admitimos atualmente como princípios de todos os compostos os quatro elementos, o fogo, o ar, a água e a terra, que Aristóteles indicara como tais, muito tempo antes de termos os conhecimentos de química necessários para constatar semelhante verdade. Com efeito, seja qual for a maneira de decompor os corpos, nunca poderemos retirar senão estas substâncias: são os últimos termos da análise química (Macquer, citado por Bensaude-Vincent 1996b, p. 204).

Note-se que Macquer, um dos mais influentes químicos da época, não se referia aos elementos de Aristóteles como princípios vagos, mas como corpos simples, acessíveis à experiência.

A teoria do flogisto

O responsável pelo resgate dos “elementos” aristotélicos foi o médico-químico alemão Ernst Stahl (1660-1734), que, se não considerava todos os quatro elementos, preservava a idéia de elemento-princípio, portador de qualidade. Stahl foi o principal personagem da química do início do séc. XVIII; sua teoria representa uma resposta “química” à transformação material, oposta ao reducionismo mecanicista e longe das metáforas alquímicas.

Stahl também delimitou o território no qual a química deveria atuar. Segundo ele, a química deveria descrever as propriedades das misturas, que eram o resultado de relações

qualitativas mediadas por *princípios* compartilhados. Assim, por exemplo, se os ácidos atacavam os metais era porque eles apresentavam uma analogia com estes, porque partilham um *princípio*.

Para Stahl, havia dois princípios, água e terra, sendo que o princípio terra estava dividido em três: a vitrificável (que conferia a solidez dos metais), a flogística (que conferia a inflamabilidade), e a metálica (que conferia a maleabilidade e brilho). Aos outros, Stahl atribuía um papel de *instrumentos de reações*, cabendo, portanto, ao fogo pôr a terra flogística em movimento, e ao ar arrastar as partes mais voláteis.

A química stahliana foi a primeira sistematização que associava uma variedade de fenômenos, tais como a calcinação, a combustão, e as reações que hoje chamamos de oxidação e redução, oferecendo aos químicos um esquema teórico coerente. Para a oxidação e a redução de um metal, por exemplo, o esquema stahliano seria:



Entretanto, a forma com que a obra de Stahl foi absorvida teve algumas alterações importantes em relação à tese original. A variante mais importante da obra de Stahl foi defendida pelo francês Guillaume François Rouelle (1703-1770), professor de futuros agentes ativos do cenário político e científico na França do final do século XVIII. Lavoisier, Diderot, Rousseau e Condillac são apenas alguns exemplos dessas personalidades.

Rouelle interpretou a obra de Stahl a partir de referências de outros autores; parece não ter tido contato com o texto original de Stahl, *Fundamenta Chymiae Dogmaticae et Experimentalis*, publicado em Nurembergue em 1723 (Bensaude-Vincent 1996a, p. 91). Ao contrário de Stahl, Rouelle considerava existirem quatro elementos (Terra, Água, Ar e Fogo) que, além de atuarem como *princípios*, agiam também como *instrumentos de reação*. Esta foi uma modificação relevante em relação à obra original, pois, enquanto Stahl considerava como elementos a terra e a água, sendo o ar e o fogo *instrumentos de reação*, Rouelle considerava o ar e o fogo também como elementos fundamentais, e todos como *instrumentos de reação*. Essa associação *princípio/instrumento* não era de todo evidente, o

que obrigava muitas vezes Rouelle a utilizar exemplos pouco convincentes. Todavia, uma dessas associações tinha uma perfeita simetria entre princípio e instrumento: era aquela que associava o instrumento fogo e o princípio flogisto, ou seja, o fogo-flogístico. O fogo (ou o calor) era considerado o instrumento da reação, reconhecido amplamente pelos químicos como *Ignis mutat res*, enquanto o flogisto era o elemento que entrava na constituição das misturas, e que permitia explicar a combustão, bem como as transformações da cal em metal e do metal em cal, aquilo que hoje denominamos oxirredução. A definição que o químico sueco Torbern Bergman (1735-1784) deu, em 1780, para o flogisto é muito ilustrativa no sentido de demonstrar que o flogisto não era um “artifício” mais obscuro que, por exemplo, a gravidade, a eletricidade, ou, ainda, o magnetismo. Dizia Bergman:

O flogisto é encontrado disseminado como um elemento em todos os corpos naturais, pelo menos na Terra, com a diferença de que como regra ele preferentemente existe em notável abundância naqueles corpos que são chamados usualmente de orgânicos. Nos fósseis (minerais), a maioria dos quais é conhecida como sendo mais parcimoniosa em flogisto, mas nunca tendo tão pouco que algum possa ser considerado desprovido dele, o flogisto está secretamente ocultado, de acordo com todos os critérios, e o flogisto é facilmente percebido nas cores com que se revestem, e que sem dúvida indicam a fonte flogística. Este elemento extremamente sutil, que exhibe tal transparência que só ele escapa de todos os nossos sentidos, não pode ser confinado por nenhum aparelho ou instrumento, e, portanto, furta-se a qualquer investigação química, a não ser que esteja ligado por forte atração a algum outro material, mas de modo desigual e seletivamente, para que possa ser transmitido de um componente para outro (Bergman, citado por Maar 1999, p. 479).

Não passou despercebido por Rouelle o caso do aumento de peso que alguns materiais têm quando são queimados. Como aponta Bensaude-Vincent, Rouelle explicava a variação do peso do metal em relação ao metal calcinado fazendo uma diferenciação entre peso absoluto, que permaneceria igual, pois o flogisto não tinha peso, e peso específico, que era característico de cada mistura (Bensaude-Vincent 1996a, p. 93). Portanto, o que variava, segundo Rouelle, era apenas o peso específico, e essa variação não era mais surpreendente

para um químico, que a variação do volume, da cor, ou de outras características observáveis que ocorriam durante uma reação química.

Com a teoria flogística de Rouelle, se tornou possível integrar à química os “ares” que estavam sendo descobertos, oferecendo uma argumentação teórica que era compartilhada pelos mais eminentes representantes da comunidade dos químicos dos anos de 1770.

A química de Rouelle constituiu um momento importante daquilo que podemos chamar de revolução stahliana, e não era em absoluto uma química alegórica recheada de princípios obscuros, como nos fez crer a historiografia tradicional. Mas, ao contrário, foi um legítimo produto da época das luzes, de tal importância que elevou a obra stahliana ao nível da dos autores *modernos*. Foi esta, pelo menos, a avaliação de Kant, que no prefácio da *Crítica da Razão Pura*, igualou Stahl a Galileu e a Torricelli. Segundo Kant:

Quando Galileu fez rolar no plano inclinado as esferas, com uma aceleração que ele próprio escolhera, quando Torricelli fez suportar pelo ar um peso, que antecipadamente se sabia idêntico ao peso conhecido de uma outra coluna de água, ou quando, mais recentemente, Stahl transformou metais em cal e este, por sua vez, em metal, tirando-lhes ou restituindo-lhes algo foi uma iluminação para todos os físicos (Kant 1997, “Prefácio da 2ª edição.” p. 18).

Foram respaldados por esta teoria, exemplar para Kant, que os químicos integraram os ares à sua prateleira de reagentes, e descreveram ciclos de reações onde esses ares eram consumidos em uma determinada etapa da reação, e obtidos novamente em uma outra etapa.

A química pneumática

Em 1727, o reverendo Hales publicou seu *Vegetable Staticks*, no qual descrevia métodos de obtenção de diversos “ares” a partir da destilação de materiais de origem

vegetal e animal, da putrefação e da fermentação. Sua preocupação primordial, no entanto, era medir a quantidade desses “ares”. Hales também discorreu sobre a elasticidade dos “ares”, afirmando ser esta inerente a eles, porém, não imutável, pois os “ares” podiam ser fixados por diversas soluções, das quais podiam novamente ser liberados (Maar 1999, p. 591). Assim, os “ares” passaram a interessar aos químicos, e seu estudo tornou-se um tema pertinente.

O primeiro a decretar ter isolado e caracterizado um “ar” diferente do ar comum foi o médico-químico inglês Joseph Black (1728-1799). Black foi aluno de William Cullen (1710-1790) e sob sua orientação apresentou, em 1755, uma dissertação sobre a *Magnesia alba*, o nosso carbonato de magnésio ($MgCO_3$). Cullen estava interessado em mostrar que a química não podia ser reduzida às leis newtonianas, e propôs a Black estudar a razão por que o produto da calcinação de terras calcárias (os nossos carbonatos de sódio, potássio, de cálcio (Na_2CO_3 , K_2CO_3 , $CaCO_3$ respectivamente), produzia cal viva cáustica (Na_2O , K_2O , CaO , que em água produzem solução cáustica (básica), $NaOH$, KOH , $Ca(OH)_2$, respectivamente), e o da calcinação de *Magnesia alba*, a *Magnesia calcinada* (MgO), era pouco solúvel não formando água cáustica ($Mg(OH)_2$). Por que todos não tinham o mesmo comportamento mecânico?

Black chegou à conclusão de que a causticidade não era o resultado da combinação entre o material calcinado e o fogo calcinante, mas uma característica própria do material calcinado, e que a *Magnesia alba*, por alguma razão, não possuía. Black explicou o caso recorrendo à idéia de uma maior atração entre a cal e os materiais que esta dissolve ou corrói. No entanto, o que nos interessa é o fato de que pela primeira vez foi reconhecido o papel de um ar como um reagente químico. Black chamou este ar de “ar fixo”, o nosso dióxido de carbono (CO_2), pois estava fixado no calcário, sendo liberado na calcinação, e podendo ser novamente fixado, regenerando o material de origem. Esta participação do ar fixo na conversão da *Magnesia alba*, bem como de outras terras calcárias, em *Magnesia calcinada* (cal viva no caso das outras terras calcárias), e da conversão da cal no produto de origem, foi demonstrado por Black na forma de um ciclo de reações onde o produto final, além de ser igual ao inicial, tinha o mesmo peso.

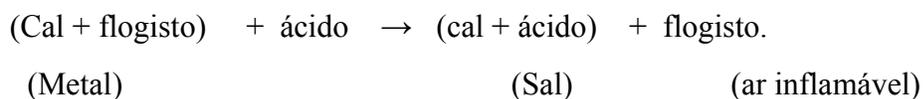
Além disso, Black determinou as propriedades desse “ar fixo”, demonstrando que este era diferente do ar comum, que ao contrário deste, era letal à vida e não sustentava a chama. Assim, os químicos se depararam com um novo reagente químico.

Isso gerou um grande interesse pelo estudo dos fluidos gasosos liberados por diversas substâncias. Seriam todos iguais? Um enfático “não” veio dos experimentos de Joseph Priestley (1733-1804), Henri Cavendish (1731-1810) e Carl Scheele (1742-1786).

Em 1766, Cavendish assegurou ter obtido um ar diferente do ar comum, e também diferente do ar fixo. Chamou este novo ar de “inflamável”, o nosso hidrogênio (H₂), pois queimava com grande facilidade. Cavendish obtinha este ar tratando metais como ferro, zinco, ou estanho com soluções diluídas de ácido vitriólico (H₂SO₄) ou de ácido clorídrico (HCl), observando ainda que o ar era o mesmo qualquer que fosse o metal ou o ácido utilizado (Maar 1999, p. 608):



Esse “ar inflamável” de Cavendish foi associado ao próprio flogisto, e ofereceu um lastro experimental para o fluido, até então, imponderável. De acordo com o esquema stahliano, teríamos:



O ar inflamável era muito diferente do ar fixo. Ao contrário deste, estava contido de forma inelástica nos metais, ou seja, quando desprendidos, não alteravam o peso do material, e não se dissolvia em água. Cavendish ainda determinou as densidades relativas dos ares (comum, fixo e inflamável), observando ser o inflamável mais leve que o ar (menos denso), o que levou vários químicos a considerar sua utilização em balões, que até então subiam utilizando ar quente.

Além de Cavendish, o sueco Carl Scheele empreendeu um sólido trabalho experimental com os ares, isolando e caracterizando uma dezena deles, entre os quais, o “ar de fogo”. Estava convencido da importância que o ar da atmosfera tinha na combustão e na

calcinação, e mais, de que o ar não era homogêneo, pois, tanto na combustão quanto na calcinação, uma parte da atmosfera absorvia melhor o flogisto. Chamou esta parte de “ar de fogo” ou *Feuerluft*, e mostrou que o mesmo ar podia ser obtido a partir do aquecimento do *mercurius precipitatus per se* (HgO). Scheele queimou materiais ricos em flogisto (como carvão, óleos, enxofre) em uma campânula, constatando que havia uma diminuição de 20% no volume de ar inicial. Esta observação levou Scheele a supor que o ar atmosférico era formado por dois ares; o “ar de fogo”, ou a parte que sustentava a chama e era respirável, e o “ar gasto” ou *Verdobeneluft*, a parte viciada, que não servia à respiração.

Paralelamente a Cavendish e a Scheele, o químico inglês Joseph Priestley também estava interessado no estudo dos ares. Priestley descobriu uma série de novos ares, caracterizando-os segundo rigorosos métodos de análise. Ficou famosa a experiência em que Priestley fazia se encontrar ao longo de um tubo de vidro dois gases, o cloreto de hidrogênio (HCl) e a amônia (NH₃), resultando na formação de um sólido branco, o cloreto de amônio (NH₄Cl), o que demonstrava a materialidade dos “ares”. Assim como Scheele, Priestley isolou a parte do ar atmosférico que absorvia o flogisto durante uma combustão, chamando-a de “ar desflogisticado”, e percebeu as diferenças entre esta parte e a que restava após a combustão, que por estar saturada de flogisto foi chamada de “ar flogisticado”.

Em linguagem moderna o “ar de fogo” de Scheele e o “ar desflogisticado” de Priestley correspondem ao gás oxigênio (O₂), enquanto o “ar gasto” e o “ar flogisticado” ao gás nitrogênio (N₂).

É certo, portanto, que no início dos anos de 1770, o ar atmosférico não era mais concebido como um material homogêneo, mas formado por, pelo menos, duas porções diferentes. Além disso, eram conhecidos diversos “fluidos aeriformes”, isolados e caracterizados dentro de um paradigma que concebia a existência de princípios portadores de qualidade.

Porém, a multiplicação dos ares tornou cada vez menos evidente o papel assumido pelo princípio flogisto. Para alguns químicos, ele tinha peso, para outros, não, e para outros ainda, tinha peso negativo. Vários químicos reclamavam dos múltiplos atributos desse princípio, entre eles Lavoisier, que registrou seu descontentamento:

Converteram o flogisto num princípio vago que conseqüentemente se adapta a todas as explicações para as quais é requerido. Às vezes este princípio tem peso, outras vezes não tem; às vezes é livre e às vezes é o fogo combinado com um elemento terroso; às vezes ele passa pelos poros de um recipiente e às vezes os recipientes são impermeáveis a ele. É um verdadeiro Proteu variando a cada princípio (Lavoisier, citado por Maar 1999, p. 476).

Esse descontentamento de Lavoisier era compartilhado amplamente, e não devemos imaginar que químicos do porte de Cavendish, Priestley, Morveau, Bergman desejassem manter um sistema químico confuso somente em respeito a uma pretensa tradição. Mas, ao contrário desses químicos, o descontentamento levou Lavoisier a propor um princípio alternativo ao flogisto. A alternativa apresentada por Lavoisier considerava que o aumento de peso verificado após uma calcinação era causado pela absorção de uma parte da atmosfera, a parte mais pura, como dizia Lavoisier, e que era esta mesma porção da atmosfera que conferia a acidez a compostos ácidos. Foi por este motivo que Lavoisier chamou essa parte da atmosfera de *princípio oxigênio*, ou seja, o princípio portador de acidez.

Não satisfeito com o princípio flogisto, Lavoisier o substituía por outro que tinha outras propriedades e era de outra natureza, mas que mantinha a idéia de princípio portador de qualidade. Assim, Lavoisier não rompia de imediato com a química dos princípios, mas, ao contrário, propunha novos princípios que julgava serem mais apropriados. Digo “novos” porque o princípio oxigênio não era o único princípio concebido por Lavoisier, os outros eram: o *princípio do calórico*, ou da matéria de fogo, o *princípio metálico*, as *terras*, e os *álcalis*. Estes princípios foram descritos e analisados por Guyton de Morveau em um dos capítulos do *Méthode de Nomenclature Chimique*, publicado em 1787, livro que continha ainda textos de Lavoisier, de Berthollet, e de Fourcroy sobre o modo mais adequado para nomear as substâncias.

Com isso, vamos notando que, na medida em que nos aproximamos mais dos fatos, temos a necessidade de procurar compreendê-los dentro de uma dinâmica própria, analisando o debate segundo os termos que lhes eram próprios.

Interessa, portanto, à epistemologia da química analisar melhor a *química* de Lavoisier, enfocando o trabalho coletivo que existia em torno dela, e o lugar ocupado por Lavoisier nas mudanças epistemológicas ocorridas na química nas últimas décadas do séc. XVIII.

Assim, será dentro do espírito da química dos princípios que descreverei a “descoberta” do oxigênio, não estando preocupado com a prioridade da descoberta, pois, esse tipo de investigação tem sido amplamente tratado pela historiografia tradicional da química, e, apesar de reconhecer sua importância, não me parece ser de grande valia epistemológica debater prioridades em um trabalho coletivo. É mais interessante compreender os diálogos travados entre os membros desse coletivo, seus compromissos teóricos, experimentais, filosóficos, sociais, econômicos e políticos.

Contudo, é preciso atentar para o fato de que a noção de princípio de Lavoisier tinha um sentido diferente daqueles apresentados pelos sistemas metafísicos tradicionais. Os verdadeiros princípios, segundo Lavoisier, derivavam somente da observação experimental, devendo ser claros e evidentes aos sentidos, como o era, por exemplo, o princípio da gravidade de Newton.

Todavia, esta restrição experimental não era nenhuma novidade na época de Lavoisier, outros químicos já haviam estabelecido este limite do discurso. A novidade, segundo me parece, era a roupagem epistemológica que Lavoisier dava a sua noção de princípio. Lavoisier não apenas restringia o emprego da noção de princípio ao limite de um processo de análise química, levado a termo pela aparelhagem mais sofisticada da época, como também se dispunha a construir uma linguagem química que se remetesse unicamente a essa fronteira da técnica experimental.

O princípio oxigênio

Em seu *A Estrutura das Revoluções Científicas*, Kuhn usa a teoria da combustão como exemplo da existência de um período de crise que se generaliza dentro de uma disciplina científica antes de ocorrer uma revolução. Assim, o colapso da teoria do flogisto estaria ligado ao surgimento da química dos gases no início dos anos de 1770, e ao peso extra que os materiais adquirem após serem queimados.

A teoria do oxigênio de Lavoisier ocupa um papel importante na argumentação de Kuhn, pois representa o momento em que Kuhn considera ter ocorrido a ruptura com a química tradicional, e o surgimento da química moderna. Para Kuhn, essa teoria foi a pedra angular de uma reformulação tão ampla da química que veio a ser chamada de Revolução Química (Kuhn 1975, p. 82).

Além disso, a teoria do oxigênio ofereceu à epistemologia kuhniana um exemplo da diferença entre uma descoberta empírica e uma invenção teórica. Ao abordar a questão “Quem descobriu o oxigênio?”, Kuhn salienta que uma descoberta é própria dos momentos de ciência normal, quando os dados experimentais reforçam a teoria aceita e ampliam o conhecimento científico, enquanto uma invenção teórica consiste em uma alternativa para explicar descobertas que não são assimiladas pelo paradigma dominante. Deste modo, Kuhn reconheceu Priestley como o descobridor do oxigênio, mas, como esse acreditava na teoria do flogisto, Kuhn o qualificou como um pesquisador normal. Já Lavoisier, na visão de Kuhn, inventou a teoria do oxigênio, que serviu de base para sua nova teoria química, pois resolveu uma série de problemas pendentes, e com os quais ele já se preocupava desde o início de seu interesse pela química. Ou seja, a descoberta de Priestley (ou Scheele) corroborou uma teoria prévia de Lavoisier. Desse modo, Lavoisier teria revolucionado a química, assim como Copérnico, Galileu e Newton tinham revolucionado a astronomia e a física.

Não há dúvida de que esta forma de apresentar as mudanças ocorridas na química no final do séc. XVIII é própria de uma historiografia personalista, que separa a química em um antes e um depois de Lavoisier. É curioso que, embora Kuhn exalte o trabalho historiográfico que busca compreender o contexto das descobertas científicas, ele próprio toma como suas próprias fontes a interpretação de historiadores como, por exemplo, Partington e Henri Guerlac, autores que preservam a dicotomia do antes e do depois.

Essa leitura que Kuhn nos oferece deriva de sua tentativa de descrever o desenvolvimento da química, e da ciência em geral, da mesma forma que descreveu o desenvolvimento da astronomia. Em seu *A Revolução Copernicana*, Kuhn narra a trajetória das teorias astronômicas, desde as mais primitivas, até o refinado sistema newtoniano. Nessa narrativa, somos levados a compartilhar os diálogos mais intrincados entre partidários de paradigmas adversários, e a compreender que as conclusões tiradas de um

paradigma somente adquirem sentido se entendidas dentro do arcabouço teórico do qual derivam.

Contudo, o padrão de desenvolvimento da química não foi analisado por Kuhn com o mesmo pormenor que aquele encontrado em sua análise astronômica. E nem era necessário, pois a historiografia tradicional já oferecia uma descrição que se encaixava em sua epistemologia. Assim, Kuhn cai em uma pequena e interessante contradição. Ele, que demonstra as limitações e os erros da história tradicional da ciência, adota, por sua vez, uma história da química que, pelo menos na tradição francesa, remonta ao séc. XIX. Esqueceu de analisar os debates que foram travados na ciência química segundo os próprios atores do processo.

Não quero com isso supor o desconhecimento de Kuhn em relação a esses debates, o que quero dizer é que esses debates não lhe interessaram muito, pois a confirmação de sua tese já se dava na história oficial.

Contudo, interessa a uma história epistemologia da química compreender a teoria do oxigênio em seu contexto, prestando atenção aos termos utilizados por Lavoisier na apresentação dessa teoria, e ao seu papel explicativo acerca dos fenômenos da combustão e da calcinação.

O fato determinante para a descoberta daquilo que hoje chamamos gás oxigênio foi a possibilidade de se reduzir o *mercurius precipitatus per se* (HgO) sem a necessidade de utilizar materiais ricos em flogisto, como o carvão, usando em seu lugar uma lente:



Este fato gerou grande interesse entre os químicos do início dos anos de 1770. Em fevereiro de 1774, na França, Pierre Bayen (1725-1798) relatou que havia observado o desprendimento de um ar ao aquecer o *mercurius precipitatus*, e que o metal produzido pesava menos que a cal inicial. Bayen associou esse ar liberado pelo *mercurius precipitatus* ao ar fixo, considerando também que o mesmo ar era desprendido quando o *mercurius precipitatus* era reduzido com o fornecimento de flogisto. A própria redução do *mercurius precipitatus* sem adição de flogisto gerou controvérsia entre os químicos. Para Baumé (1728-1804), destacado químico francês, não era possível ocorrer uma redução sem adição de flogisto,

enquanto para Cadet, também da elite acadêmica francesa, essa redução era possível. Cadet enviou suas conclusões à Academia em setembro de 1774, e esta se viu obrigada a nomear uma comissão para resolver a controvérsia. A comissão acadêmica, da qual Lavoisier tomava parte, concluiu que Cadet tinha razão, ou seja, que era possível reduzir o *mercurius precipitatus* a metal, sem uma fonte que fornecesse o flogisto ao metal. Concluiu também que o mesmo ocorreria com as outras *calces* (óxidos), desde que se dispusesse dos meios técnicos para fazê-lo.

Nesse mesmo ano, Priestley visitou Paris e se encontrou com os químicos parisienses. A eles relatou que havia observado o desprendimento de um ar ao aquecer o *mercurius calcinatus per se* (HgO, tido como um composto diferente do *mercurius precipitatus per se* devido aos métodos diferentes de produção), e que este ar tinha a propriedade de ser insolúvel em água, e de estimular a chama de uma vela. Priestley tomava esse ar pelo ar nitroso (NO), porém não estava totalmente certo disso e achava que as investigações deveriam continuar. Ainda nesse ano, Lavoisier recebeu uma carta de Scheele onde este relatava suas experiências com o *mercurius precipitatus per se* nas quais observava o desprendimento de um ar, o *ar de fogo*, que também estaria presente na atmosfera, e pedia a Lavoisier que investigasse o assunto.

A partir de novembro de 1774, Lavoisier iniciou suas experiências com o *mercurius precipitatus per se*, disposto a investigar a origem daquilo que provocaria a calcinação e a combustão. Para isso, organizou uma seqüência experimental que começava pela redução do *mercurius precipitatus* com adição de carvão, para se certificar de que o *mercurius* era uma cal como as outras. O ar liberado era solúvel em água, precipitava a água de cal, combinava com os álcalis, não alimentava a chama, sendo, portanto, o mesmo ar liberado em outras reduções, o bem conhecido ar fixo (CO₂).

Feito isso, Lavoisier reduziu o *mercurius precipitatus* usando a lente mais poderosa de que a Academia dispunha, constatando que também havia a liberação de um ar. Todavia, esse ar era pouco solúvel em água, não precipitava a água de cal, não se combinava com os álcalis, podia servir a uma nova calcinação do mercúrio, melhorava a respiração, e estimulava uma chama. A conclusão de Lavoisier foi a de que o princípio que se combinava com os metais durante a sua calcinação, e que aumentava seu peso, não era outra coisa que o próprio ar, aquele que respiramos.

Esta conclusão foi publicada em 1775 no periódico *Observations sur la Physique*, e nota-se que nessa data Lavoisier concebia o ar atmosférico como sendo de natureza elementar. Há uma diferença entre essa conclusão e a que apareceu publicada em 1778 nos resumos da Academia (Tosi 1989, p.40). Nesta publicação, Lavoisier substitui a expressão “ar comum”, aquele que respiramos, pela parte mais pura da atmosfera, a mais respirável, ou melhor, a “parte eminentemente respirável”. Essa modificação foi necessária, porque Priestley, após refazer suas experiências com o *mercurius precipitatus per se* fornecido por Cadet e de cuja pureza não duvidava, concluiu que o ar liberado nessa redução não era o ar nitroso, mas uma parte particular da atmosfera, uma parte que era capaz de absorver mais flogisto que o ar comum, sendo, por isso mesmo, chamado por Priestley de “ar desflogisticado”, que compunha o ar atmosférico juntamente com o ar carregado de flogisto, ou seja, o “ar flogisticado”. Foi, portanto, Priestley que questionou a natureza elementar do ar, mostrando que o ar não era indestrutível ou inalterável, mas uma composição.

Lavoisier se referia ao seu “ar eminentemente respirável” como o mesmo “ar desflogisticado” de Priestley, e também podemos dizer que era da mesma natureza que o “ar de fogo” de Scheele. Apesar dessa identidade, Lavoisier atribuía propriedades ao “ar eminentemente respirável”, que transcendiam aquelas que eram normalmente atribuídas aos ares. Para Lavoisier, esse ar não só provocava o aumento no peso dos metais calcinados, como também conferia propriedades ácidas aos corpos que o absorviam. Por isso, Lavoisier decidiu chamar o “ar mais puro” de *princípio acidificante*, ou *princípio oxigênio*, o princípio portador de acidez (do grego: οξυς-ácido & γείνομαι-gerador. Guyton de Morveau 1994, p. 78).

O princípio oxigênio tinha o papel inverso do princípio flogisto. Ou seja, enquanto a teoria do flogisto considerava a redução como uma absorção do princípio flogisto e a oxidação como uma liberação desse princípio, a teoria do oxigênio considerava, ao contrário, que na redução ocorria uma liberação do princípio oxigênio, e que na oxidação ocorria uma absorção desse princípio.

Oxidação: Metal \rightarrow Cal + princípio flogisto

Redução: Cal + princípio flogisto \rightarrow Metal

Lavoisier

Oxidação: Metal + princípio oxigênio \rightarrow Cal (óxido)

Redução: Cal (óxido) \rightarrow Metal + princípio oxigênio

O princípio acidificante não era o único “portador de qualidades” na *Química* de Lavoisier. Um outro era o calórico, ou o princípio do fogo, que, combinado com o princípio oxigênio, formava o “ar eminentemente respirável”.

Princípio oxigênio + Calórico \rightarrow Ar mais puro

Na combustão, o calórico era liberado porque sua base (o princípio oxigênio), era atraída com maior intensidade pelos corpos combustíveis, se manifestando na forma de luz e calor. O calor, para Lavoisier, tinha um caráter repulsivo, ou seja, ao contrário de Stahl, que considerava que o calor (flogisto), ao fixar-se, provocava uma combinação; Lavoisier, seguindo Black, considerava que o calor (calórico) provocava uma expansão, e até uma desagregação (Bensaude-Vincent 1996b, p. 207).

Segundo Lavoisier, todos os corpos da natureza seriam ou sólidos, ou líquidos, ou gasosos, dependendo apenas da relação entre as forças atrativas (própria das moléculas) e as forças repulsivas do calor. Para justificar sua posição, Lavoisier recorreu a um fluido muito sutil, que transportava o calor, como o responsável por esses efeitos. Esse fluido seria uma substância real e material que se insinuava entre as moléculas de todos os corpos, e provocava a repulsão entre elas. Esta substância era a causa do calor, ou em outros termos, a sensação que chamamos de calor era o efeito da acumulação dessa substância. Todavia, dizia Lavoisier, em linguagem rigorosa, não se pode exprimir a causa e o efeito pela mesma denominação. Por isso, Lavoisier chamou a causa do calor, o fluido eminentemente elástico

que o produz, pelo termo *calórico* (Lavoisier 1937, p. III). O calórico tinha as seguintes propriedades: era um fluido elástico que tudo penetrava e cujas partículas se repeliam fortemente; suas partículas eram atraídas por partículas de matéria; conservava-se; e, embora não tivesse massa, podia ser medido.

A teoria do calórico propunha explicar um conjunto de fenômenos ligados à transferência de calor, como, por exemplo, a contração e a expansão observadas com o resfriamento e o aquecimento. Também permitia conceber o “ar” como um estado físico, como o sólido ou o líquido, e não mais como um *elemento* no sentido clássico. Em parceria com Pierre de Laplace (1749-1827), Lavoisier construiu um aparelho para medir o calor, o *calorímetro*. Este aparelho era formado de três partes, uma dentro da outra. O recipiente interno continha as substâncias que deveriam reagir, o recipiente médio continha gelo, e no recipiente externo recolhia-se a água correspondente ao gelo derretido. O calórico liberado pela reação realizada no compartimento interno provocava o derretimento de uma certa quantidade de gelo, o que fornecia dados que permitiam calcular o calor liberado. Os detalhes da construção desse aparelho encontram-se na terceira parte do *Traité*, com ilustrações de Marie-Anne Paulze (1758-1836), esposa de Lavoisier que, aliás, foi também responsável pela tradução de diversos trabalhos de químicos estrangeiros para o francês (Kawashima 2000).

Portanto, como aponta Bensaude-Vincent, a teoria lavoisieriana da combustão situa-se na linha da química dos princípios. Ela introduz mais uma inversão das idéias dominantes que uma verdadeira revolução (Bensaude-Vincent. “Lavoisier: uma revolução científica.” p. 207). Para atestar que, de fato, foi assim que os contemporâneos receberam a teoria de Lavoisier, Bensaude-Vincent cita Guyton de Morveau, que foi um ativo colaborador de Lavoisier, em uma referência que este faz a Macquer. Guyton de Morveau relata as impressões que Macquer, um dos químicos mais importantes do cenário europeu, teve após ouvir a comunicação feita por Lavoisier à Academia sobre a combustão em geral (*Sur la Combustion en Général*, 1777). Segundo Guyton de Morveau, Macquer manifestou o seu alívio da seguinte maneira:

O Sr. Lavoisier assustava-me desde há muito tempo com uma grande descoberta que ele reservava para si, e que iria nada menos que derrubar completamente toda a teoria

do flogisto ou fogo combinado: o seu ar confiante fazia-me morrer de medo. Onde estaríamos com a nossa velha Química, se tivesse sido necessário reconstruir um edifício completamente diferente? Por mim, asseguro-vos que teria abandonado a jogada. Felizmente o Sr. Lavoisier acaba de revelar sua descoberta, numa dissertação lida na última assembléia pública; e asseguro-vos que desde essa altura tenho um peso a menos no estômago. Segundo o Sr. Lavoisier, não há de todo qualquer matéria de fogo nos corpos combustíveis; ela não é mais que uma das partes constituintes do ar; é o ar e não o que considerávamos como corpo combustível que se decompõe em qualquer combustão; o seu princípio ígneo liberta-se e produz os fenômenos da combustão, restando apenas o que ele chama a base do ar, substância que ele afirma que lhe é inteiramente desconhecida. Julgai se eu tinha motivo para ter tanto medo (Guyton de Morveau 1786, Bensaude-Vincent 1996a, p. 126).

A demonstração de que o momento da ruptura não se deu com a teoria do oxigênio, frustrando a expectativa kuhniana, levanta uma questão interessante, a da relação entre a epistemologia e a história da ciência.

Com frequência, os epistemólogos utilizam exemplos retirados da história da ciência para justificar suas posições teóricas. A física tem sido a disciplina mais solicitada neste sentido, e o seu padrão de desenvolvimento foi considerado modelo de cientificidade. Isso fez com que se buscasse nas demais disciplinas científicas um modelo semelhante ao da física.

Todavia, na medida em que se focaliza o desenvolvimento histórico de uma disciplina como a química, ou a biologia, os modelos que tão bem explicam o desenvolvimento da física e da astronomia tornam-se pouco evidentes. Isso ocorre porque cada disciplina tem seus próprios processos de desenvolvimento, e seria um erro descrevê-los com modelos epistemológicos que não lhes são próprios.

Então, ao estudarmos a história de uma ciência, é mais proveitoso procurar compreender o cenário epistemológico no qual os atores do processo estão envolvidos. Será com este compromisso que irei descrever uma possível *epistemologia lavoisieriana*, baseada nas idéias filosóficas de Étienne Bonnot, Abade de Condillac (1714-1780).

A epistemologia de Lavoisier

A construção de uma história epistemológica da ciência revela a artificialidade de modelos epistemológicos, que procuram adequar os fatos a um esquema previamente estabelecido. Mesmo a epistemologia kuhniana, que valorizou sobremaneira a história da ciência, peca em descrever um evento histórico com vistas a respaldar um esquema epistemológico prévio.

Como apontamos acima, Kuhn localizou a ruptura da química lavoisieriana com a tradição na teoria do oxigênio. Todavia, uma análise um pouco mais apurada demonstrou que essa teoria fazia parte do arcabouço teórico tradicional, não significando exatamente aquilo que hoje compreendemos por oxigênio.

Apesar disso, poder-se-ia dizer que mesmo a teoria do oxigênio utilizando termos que eram próprios do paradigma antigo, Lavoisier previu que seu trabalho levaria a uma revolução na química. O registro de 1773 seria muito claro quanto a isso, pois nele Lavoisier dizia que a importância gerada pela química dos gases iria *provocar uma revolução na física e na química*.

O fato de Lavoisier ter previsto a revolução que ele faria foi considerado singular pelos partidários das mudanças paradigmáticas. Isso porque a consciência prévia de uma revolução não é própria dos cientistas, sendo esta uma diferença importante entre uma revolução política e uma revolução científica. Se em ambas revoluções ocorre um processo de rejeição ou ruptura de um sistema, ou paradigma, existente e sua substituição por outro, existe uma diferença importante entre uma revolução política e uma revolução científica. Os revolucionários políticos acreditam desde o início no rompimento com a ordem existente, e encaminham suas ações nesse sentido. Ao contrário, os cientistas que revolucionam uma determinada área da ciência, normalmente não possuem a consciência de que estão realizando uma revolução. É famosa, por exemplo, a resistência de Planck em considera-se um revolucionário por ter criado a mecânica quântica (Filgueiras 1995, p. 219).

As palavras de Lavoisier levaram Bernard Cohen, em seu *Revolution in Science*, a considerar que a revolução química foi a primeira na história do pensamento científico a ter sido percebida e proclamada por seu protagonista principal, e por seus contemporâneos

(Cohen 2001, p. 229), sendo, portanto, uma revolução prevista, tal como ocorre com as revoluções políticas.

Contudo, como aponta Bensaude-Vincent, a palavra revolução não tinha em Lavoisier o sentido que se pretendeu atribuir a ela. Ao longo do séc. XVIII, o termo revolução teve uma variedade de sentidos. O mais comum era aquele que Copérnico deu à astronomia, ou seja, o de que uma revolução se dava quando um corpo celeste descrevia uma órbita e retornava a sua posição inicial. Um outro sentido era o de que um determinado saber só se tornava respeitado, sendo incorporado ao conjunto de disciplinas ensinadas nas Academias, na medida que passasse por uma revolução, que estabelecesse critérios de exatidão semelhantes aos da física de Newton. Este tipo revolução foi reclamado pelo químico Gabriel-François Venel (1723-1775) em seu verbete na Enciclopédia de Denis Diderot (1713-1784) e Jean de Roud d'Alembert (1717-1783), ao relatar a introdução das idéias de Stahl na França. Dizia Venel: em 1723 o novo curso de química, segundo os princípios de Newton e Stahl, nos trouxe o sthalianismo, e fez a mesma revolução em nossa química, que [...] operou em nossa física, [...] o newtonianismo (Venel, citado por Alfonso-Goldfarb 1997, p. 21) – o livro em questão era o *Nouveau cours de chimie suivant les principes de Newton et de Stahl*, publicado por Jean-Baptiste Senac em 1723. O termo revolução tinha também um significado político, com um sentido negativo, representando o estabelecimento da desordem e do caos. No entanto, após 1789, o termo ganhou a conotação que hoje temos dele, o de uma ruptura radical com as velhas estruturas. Era esta apreensão de revolução que tinham em mente Cohen e Kuhn ao relacionarem uma revolução científica a uma revolução política.

Todavia, inscrevendo Lavoisier no universo acadêmico da França do séc. XVIII, é mais provável que sua intenção seja a mesma que a dos enciclopedistas, ou seja, a de fazer avançar a ciência em um sentido baconiano. Isso parece ficar claro se analisarmos as palavras que seguem a referida citação.

Depois de anunciar uma revolução na física e na química, Lavoisier dizia que pretendia refazer todas as experiências já conhecidas com novas preocupações, e que os trabalhos realizados sobre o assunto tinham lhe servido como descrições de fatos isolados, e o que faltava era ligar os elos através de uma teoria. Assim, Lavoisier pretendia refazer os experimentos conhecidos, estabelecer uma cadeia de fatos unidos por uma teoria. A

expressão “revolução” não significava, naquele momento, uma ruptura e nem tinha uma conotação política, aliás, os textos econômicos de Lavoisier não refletem de forma alguma idéias de um revolucionário político, tanto é que foi guilhotinado pela revolução.

Então, mais uma vez, interessa à epistemologia da química buscar compreender a obra de Lavoisier sem recorrer a esquemas epistemológicos prontos, revelando a estrutura epistemológica que o próprio autor utilizou. Todavia, esta afirmação pode parecer muito genérica, pois quase sempre são os epistemólogos que estabelecem as ligações entre uma determinada obra científica e as possíveis influências filosóficas que teve seu autor. Ocorre que, nesse caso, Lavoisier difere sobremaneira da maioria dos cientistas. Ele próprio revelou que todo o seu trabalho vinha ao encontro dos princípios filosóficos estabelecidos pelo Abade de Condillac, seu contemporâneo.

Não se trata de dizer que Lavoisier *realiza* a filosofia de Condillac, pois parece que Lavoisier só leu Condillac entre 1780 e 1781, mas de tentar construir um cenário epistemológico que certamente exerceu forte influência sobre Lavoisier.

Essa influência de Condillac foi reconhecida por Lavoisier no seu *Método de Nomenclatura* (1787), sendo mais explícita no *Tratado* (1789). Lavoisier começou o *Tratado*, no “Discurso Preliminar”, dizendo que seu trabalho evidenciava os princípios estabelecidos por Condillac em sua *Lógica*. Concordava com Condillac quando este dizia que “só pensamos com o auxílio das palavras; que as línguas são métodos analíticos; sendo a álgebra a mais simples, a mais exata e a melhor adaptada ao seu objeto e às maneiras de o enunciar; enfim, que a arte de raciocinar se reduz a uma língua bem feita”. Lavoisier ainda acrescentava que: “enquanto eu pensava em me ocupar somente da nomenclatura, enquanto que não tinha outro objetivo que o de aperfeiçoar a linguagem da Química, minha obra transformou-se entre as minhas mãos, sem que fosse possível evitá-lo, em um *Tratado Elementar de Química*” (Lavoisier 1937, p. I). Ou seja, a influência de Condillac não se deu somente na construção de uma nova nomenclatura, como foi amplamente reconhecido, mas em seu próprio pensamento, ou ao menos, na forma de apresentá-lo. A reforma da nomenclatura, dizia Lavoisier, implicava numa reforma da ciência, pois, era impossível separar a Nomenclatura da Ciência, e a Ciência da Nomenclatura. Procuremos, então, esboçar algumas possíveis ligações da *Química* lavoisieriana com um contexto filosófico mais amplo.

Condillac fazia parte de um movimento filosófico que se estendeu pelos séculos XVII e XVIII, e que substituiu o sistema filosófico que fora hegemônico até o séc. XVI. Esse movimento foi muito amplo, tendo recebido contribuições de diversos pensadores. Condillac foi influenciado principalmente por Bacon, por Locke, e pela física newtoniana. A Bacon, Condillac deveu seu apego ao empirismo, a experiência como única fonte de conhecimento; a Locke, a tese de que as nossas idéias se originavam nos sentidos, muito embora Locke distinguisse duas fontes de nossas idéias, os sentidos e a reflexão, e Condillac considerasse que a reflexão também se originava nas sensações (Condillac 1973c, 1ª parte); e a Newton a idéia de princípios bem constatados pelos sentidos, como o princípio da gravidade.

Segundo Condillac, as sensações eram as únicas fontes de conhecimento, e o método adequado para adquirir conhecimentos novos seria aquele que partisse somente das sensações, pois assim poderíamos acompanhar uma idéia a partir do seu nascedouro. Para construirmos nosso conhecimento dessa maneira, deveríamos dispor de uma língua formada por signos que refletissem fielmente o fato, daí a necessidade de se reformular a nomenclatura, de modo a construir uma inteiramente nova, que nada devesse às velhas representações.

Até o séc. XVI, a linguagem descrevia a natureza estabelecendo semelhanças genéricas, na qual metáforas aproximavam o céu e a terra, o mito e a realidade. Todavia, no decorrer dos séculos XVII e XVIII, a linguagem deixa de procurar similitudes, e passa a descrever as coisas do mundo segundo suas diferenças e identidades (Foucault 2002, cap. III). Nessa esteira, Condillac defendia que a causa de nossos erros estava no hábito de julgar segundo palavras de que não determinamos o sentido. Assim, a reformulação de todo o conhecimento passava pela reformulação da língua, e esta seria reformulada na medida que se reformulasse o método de elaboração do nosso conhecimento.

O caminho para adquirirmos conhecimentos seguros era o de atribuímos signos que se remetessem diretamente ao objeto representado. Esse caminho, segundo Condillac, somente poderia ser trilhado se aplicássemos o *método de análise* em nosso espírito, de modo que os dados estariam ligados uns aos outros, sendo que o primeiro seria a causa dos que seguem, e o último, a razão dos que o precedem. Assim, o único meio de atingirmos

esse objetivo era através do *método de análise*, chamado por Condillac de “alavanca do espírito”.

Esse método consiste em decompor aquilo que se deseja conhecer em todas as suas partes, e em seguida, recompô-los em uma ordem simultânea, de modo a termos uma apreensão do todo. A análise, portanto, consiste num processo de decomposição e recomposição. Analisar não é outra coisa senão observar numa ordem sucessiva as qualidades de um objeto, a fim de lhes oferecer no espírito, a mesma ordem simultânea na qual elas existem (Condillac 1973b, cap. II).

Ao aplicarmos um método analítico, a investigação sempre parte do conhecido para o desconhecido. Esse procedimento analítico, defendido por Condillac, foi seguido à risca por Lavoisier, que se impôs de sempre proceder dessa maneira: “impus-me a lei de não proceder jamais senão do conhecido ao desconhecido, de não deduzir nenhuma consequência que não derive imediatamente dos experimentos e das observações, e de encadear os fatos e as verdades químicas na ordem mais apropriada para facilitar o entendimento aos principiantes” (Lavoisier 1937, p. XXVIII).

Desse modo, a análise química não era mais apenas um método praticado no laboratório, era a única maneira de adquirir conhecimento verdadeiro. Nesse particular, a ciência química estava em vantagem em relação às demais disciplinas, pois a análise propriamente química já era prática comum entre os químicos, independentemente de seus pressupostos epistêmicos.

Para Condillac, a própria natureza nos ensinava a proceder do conhecido para o desconhecido, por meio de uma análise, e para aprendermos como proceder dessa maneira bastava observar o modo como as crianças adquirem conhecimento.

Na infância, as faculdades do espírito são guiadas para julgar nossas necessidades mais prementes. Por exemplo, desde cedo uma criança sente a necessidade de reconhecer sua mãe e saber diferenciá-la de outras mulheres. Para ela, conhecer é apenas isto. Essa criança, todavia, pode reconhecer sua mãe em outra mulher que se pareça com ela, porém, este erro é logo percebido e, advertida pela experiência, a criança continua a procurar, agora mais precavida. Ao proceder dessa maneira, a criança está fazendo uma análise, está decompondo um universo de pessoas, para recompor no espírito a única pessoa que irá satisfazer suas necessidades. Pode haver erro nessa procura, mas este é logo detectado pela

experiência, e a busca continua. Desse modo, quando a criança reconheceu em outra mulher sua mãe, fez um juízo falso, num primeiro momento teve prazer, no entanto, logo foi advertida que havia julgado mal. Assim, um juízo falso nos dará prazer e, em seguida, dor; ao contrário, um juízo verdadeiro sempre nos dará prazer e, em seguida, alegria. O prazer e a dor, eis nossos primeiros mestres (Condillac 1973b, cap.I).

Lavoisier não apenas concordava com Condillac, como usou no *Discurso* o mesmo exemplo, salientando, todavia, que a ciência estava em desvantagem em relação à criança, pois na infância a experiência julgava adequadamente os juízos, não ocorrendo o mesmo com a ciência. Na ciência, os juízos não interessam às nossas necessidades mais prementes e, portanto, não dispomos de meios que nos obriguem a retificar nossos juízos. Desse modo, os juízos falsos se confundem com os verdadeiros, e tomamos palavras sem nenhuma relação com os fatos como significando alguma coisa, de modo que a ciência erra, e esses erros se multiplicam e perduram por longo tempo.

Segundo Lavoisier, o único modo de prevenir esses erros consistia em suprimir, ou ao menos simplificar, esta possibilidade de raciocínio, que tinha levado a nos perder. Portanto, deveríamos: colocar continuamente nossos juízos à prova da experiência; conservar os dados que nos são fornecidos pela própria natureza, pois estes não podem nos enganar; buscar a verdade no encadeamento natural das experiências e das observações, da mesma maneira que os matemáticos solucionam um problema pelo simples arranjo dos dados; e reduzir o raciocínio a operações simples, a julgamentos curtos que jamais perdessem a via da evidência.

Lavoisier concluiu seu *Discurso* denunciando o erro metodológico que seus colegas químicos estavam cometendo, novamente citando Condillac dizia ele:

Em vez de observar as coisas que queríamos conhecer, quisemos imaginá-las. De falsa suposição em falsa suposição, perdemos-nos numa multiplicidade de erros; e tendo estes erros se tornado preconceitos, tomamos-los, por isso, como princípios; portanto, fomos-nos enganando cada vez mais. Passamos, então, a raciocinar somente através dos maus hábitos que havíamos contraído. A arte de abusar das palavras foi para nós a arte de raciocinar [...] Quando as coisas atingem esse ponto, quando os erros se acumulam dessa maneira, só há um meio para pôr ordem na faculdade de

pensar; consiste em esquecer o que aprendemos, retomar nossas idéias na origem, seguir-lhes a geração e refazer, como diz Bacon, o entendimento humano (Lavoisier 1937, p. XXXVIII).

Na química, esse abuso das palavras causava sérios prejuízos. O diálogo entre químicos de diferentes regiões era dificultado não apenas por diferenças químico-filosóficas, mas também pelas diferentes maneiras de escrever e nomear a matéria-prima de seu trabalho. Foram várias as tentativas de criar uma nomenclatura mais adequada; porém, o consenso estava longe.

O empirismo epistemológico de Lavoisier o levou a perceber que todas aquelas tentativas de reformulação da linguagem eram vãs, pois todas apenas se ocupavam de palavras que não tinham nenhuma relação com a substância em si mesma. As substâncias eram identificadas por nomes genéricos, que às vezes davam alguma informação sobre uma ou outra qualidade da substância (*aqua ardens*, *aqua fortis*, *manteiga de antimônio*, *óleo de vitriolo*), mas geralmente eram tradicionais apenas (*lana filosofica*), ou derivados de termos astrológicos (*cáustico lunar*), de pessoas (*sal de Glauber*) ou de lugares (*sal de Epsom*), ou mesmo associavam vários desses “critérios” (*spiritus fumans Libavii*).

O objetivo de Lavoisier não era o de aperfeiçoar a nomenclatura, pois para ele uma nomenclatura química deveria desconsiderar qualquer apelo à tradição, à história da substância, e remeter a termos que designassem a substância tal como ela era, ou melhor, tal como eram percebidas pela melhor instrumentação disponível. Lavoisier conclamava os químicos a esquecerem a tradição, que se fizessem ignorantes para se tornarem verdadeiros sábios. Nas primeiras linhas da dissertação intitulada *Reflexões sobre o Flogisto*, Lavoisier dizia:

Peço aos meus leitores, ao começar esta dissertação, que se desembaracem tanto quanto possível de qualquer preconceito: de verem nos fatos apenas aquilo que apresentam, de banir deles tudo o que o raciocínio neles pressupôs, de se transporem para os tempos anteriores a Stahl, e de esquecer, de momento, se for possível, que a sua teoria alguma vez existiu (Lavoisier, citado por Bensaude-Vincent 1996b, p. 208).

Na nova linguagem, as palavras deveriam refletir as propriedades de cada substância. Por exemplo, o termo *oxigênio* foi escolhido porque significava literalmente um princípio que quando estava presente num corpo gerava um ácido, ou o termo *hidrogênio* que significava um princípio formador de água. Todavia, essa linguagem somente tornaria possível se a química limitasse seus julgamentos teóricos aos últimos termos de uma análise. Deste modo, poderíamos acompanhar uma idéia a partir de sua origem, e a geração de outras nos pareceria evidente. O conjunto dessas idéias constituiria o vocabulário de uma verdadeira nomenclatura química.

Essa nova maneira de conceber a nomenclatura foi defendida por Lavoisier no início do seu *Método de Nomenclatura*. Dizia Lavoisier:

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 das idéias, provocará uma revolução necessária e mesmo rápida na maneira de ensinar; ela não permitirá àqueles que professarem a Química separarem-se da marcha da natureza; será preciso rejeitar a nomenclatura ou seguir irresistivelmente a rota que ela terá marcado (...) 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 deveria operar-se (Lavoisier, citado por Filgueiras 2002, p. 105).

A reforma proposta por Lavoisier desprezava toda a tradição química, concebendo a história da química como um tecido de erros e preconceitos. Além desse desprezo pelo passado, Lavoisier não tratava de toda a química de sua época. Por exemplo, não tratou nem das afinidades químicas, nem da teoria atômica, pois, como justificava no *Discurso*, eram temas que careciam de um estudo mais aprofundado, e qualquer julgamento sobre esses assuntos seria de caráter metafísico. Dizia ele:

A lei rigorosa que me impus, 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 suscetível, talvez, de tornar-se um dia uma ciência exata: é a que trata das afinidades químicas ou atrações eletivas (Lavoisier 1937, p. XXIX).

Quanto aos *elementos* últimos da matéria, se contentava com uma definição operatória. Dizia ele:

Tudo o que se pode dizer sobre o número e sobre a natureza dos elementos limita-se, na minha opinião, a discussões puramente metafísicas. São problemas indeterminados, suscetíveis de uma infinidade de soluções, mas é provável que nenhuma delas em particular esteja de acordo com a natureza. Eu contentar-me-ia, portanto, em dizer que, se pelo nome de elementos entendemos designar as moléculas simples e indivisíveis que compõem os corpos, é provável que não os venhamos a conhecer. Se, pelo contrário, atribuímos ao nome de elementos, ou de princípios dos corpos, à idéia do último termo a que chega a análise, todas as substâncias que ainda não pudemos decompor por nenhum meio são para nós elementos; não que possamos assegurar que estes corpos que olhamos como simples não sejam eles mesmos compostos de dois ou mesmo de um maior número de princípios, mas visto que não temos nenhum meio de os separar, eles agem perante nós à maneira dos corpos simples, e só os devemos supor compostos na altura em que a experiência e a observação nos fornecerem provas disso (Lavoisier 1937, p. XXXI).

Essa definição de elemento não era nova, Boyle já havia dado uma definição semelhante no seu *Sceptical Chemyst*, publicado em 1661, ao recusar a possibilidade de se encontrar os *elementos primitivos*, e restringir o uso do termo aos corpos simples a que se chegava através da experiência. Essa definição também era compartilhada por químicos contemporâneos de Lavoisier. Joseph Macquer, um dos químicos mais respeitados da época de Lavoisier, tendo sido seu professor, chamava de princípios as substâncias que eram retiradas dos corpos compostos quando se fazia uma análise ou uma decomposição química (Bensaude-Vincent 1996b, p. 247).

No entanto, a novidade trazida por Lavoisier não estava nos termos da definição, mas no lugar que esta definição ocupava. Lavoisier conferia-lhe um lugar central, pois o corpo simples era o último termo da operação da análise conduzida no laboratório, sendo o ponto de articulação entre a teoria e a experiência, e a origem da nomenclatura.

Assim, Lavoisier delimitou a ciência química. Ao químico, não cabia mais explicar as transformações que ocorriam na *Natureza*, mas elaborar um sistema onde fosse possível conhecer as idéias desde a sua origem, ligando-as por meio de princípios que as tornariam inteligíveis. A *Natureza*, para os químicos, limitava-se ao seu laboratório, onde era possível controlar todas as variáveis envolvidas. A partir dos dados fornecidos pelos instrumentos, a ciência química deveria procurar extrair os princípios que permitiam uni-los em uma única teoria.

Esse sentido dado por Lavoisier ao termo princípio difere da concepção de princípio que se tinha na química stahliana. Na química de Stahl, o princípio do flogisto, por exemplo, explicava uma série de fenômenos, mas era uma construção racional que não possuía uma materialidade, não era “sentido” pelos instrumentos. Por isso, os químicos stahlianos utilizaram o termo flogisto para explicar uma variedade muito grande de transformações, o que fez com que a clareza original desaparecesse.

Portanto, a *Química* de Lavoisier consistia em um sistema cujas fronteiras eram dadas pelo método de análise, no qual os dados fornecidos eram unidos por princípios que se remetiam a propriedades que lhes eram próprias, e serviam de base para uma nomenclatura. Essa *Química* realiza e justifica a concepção de sistema que tinha Condillac. Segundo Condillac:

Um sistema não era outra coisa que a disposição das diferentes partes de uma arte ou ciência numa ordem onde elas se sustentavam todas mutuamente, e onde as últimas se explicavam pelas primeiras. Aquelas que dão razão às outras se chamavam princípios e o sistema é tão mais perfeito quanto menor fosse o número de princípios (Condillac 1973, p. 9).

Essa possível epistemologia lavoisieriana, ao situar a obra de Lavoisier em um contexto filosófico, revela o quanto Lavoisier estava comprometido com as estruturas do

seu tempo, e o quanto artificial seria suprimir essas ligações em prol de um modelo epistemológico prévio.

Todavia, Lavoisier figura ao lado dos grandes revolucionários da ciência, sendo considerado pelos químicos atuais como o fundador de sua disciplina. Como isso se tornou possível?

As rupturas com a tradição

Se não foi a teoria do oxigênio que marcou a ruptura entre a química lavoisieriana e a química tradicional, qual seria esse momento? Considero que podemos eleger dois momentos que marcaram uma tomada de posição dos contemporâneos frente à nova teoria química de Lavoisier: a síntese da água e a nova nomenclatura química.

Na segunda metade da década de 1770, já se sabia que era possível produzir água a partir da combinação de ar inflamável (H_2) e ar desflogisticado (O_2). Cavendish, um dos primeiros a demonstrar ter obtido água por meio dessa reação, interpretou o fato da seguinte maneira:

O ar inflamável 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 o flogisto puro, como supõem o Dr. Priestley e Sr. Kirwan, ou água unida ao flogisto posto que, de acordo com esta suposição, estas substâncias unidas formam a água (Cavendish, citado por Tosi 1989, p. 43).

Lavoisier se interessou pela combustão do ar inflamável a partir de 1774, pois percebeu aí um ponto em que seus *princípios* podiam ser confrontados com os *princípios* de Stahl. Lavoisier considerava seus *princípios* superiores aos de Stahl, na medida em que obedeciam a uma regra de cientificidade que era amplamente aceita nos meios científicos, qual seja, a de explicar os fenômenos naturais recorrendo somente a *princípios* que pudessem ser evidenciados pela experiência.

Lembremos que, na química de Stahl, que tinha por base a teoria dos quatro elementos, o princípio flogisto era apenas um tipo de terra – a terra flogística. Para Stahl, o

flogisto era o princípio que garantia o transporte da qualidade daquilo que permitia relacionar uma combustão a uma calcinação, e ainda, organizar uma série de outras transformações químicas numa ordem que permitia uma compreensão racional desses processos.

Contudo, a teoria do flogisto se viu atacada por Lavoisier na sua base de sustentação. A síntese da água deu a Lavoisier o argumento de que a água não era uma substância elementar, mas composta por dois outros princípios: o *princípio oxigênio* e o *princípio hidrogênio*. Isso permitiu a Lavoisier argumentar que não havia a necessidade de admitir como pressuposto básico de toda explicação a teoria dos elementos, pois esses mesmos elementos podiam ser decompostos em *princípios* ainda mais sutis. Assim, se aquilo que era considerado elementar podia ser decomposto, as hipóteses que tinham como base essa teoria não poderiam ser verdadeiras, uma vez que tinham como base *princípios* que não existiam, não passando, portanto, de palavras desprovidas de qualquer significado.

Porém, era necessário que esse argumento viesse acompanhado de uma explicação convincente da participação e da evidência dos *princípios* de Lavoisier. Para demonstrá-lo, em 27 de fevereiro de 1785, Lavoisier reuniu no Arsenal muitos cientistas para acompanharem o experimento que ele e Jean Baptiste Meusnier (1754-1793) haviam planejado. Montaram um experimento onde uma certa quantidade conhecida de água era gotejada dentro de um cano de funil aquecido ao rubro. A água se decompunha, e o oxigênio se ligava ao ferro de que era feito o funil. Restava o hidrogênio, que saía saturado de vapor de água. Ao passar por uma serpentina com gelo, o vapor se condensava e o hidrogênio prosseguia pela tubulação, até ser coletado numa campânula cheia de água embocada numa cuba também cheia de água. No caminho inverso, o hidrogênio obtido era usado para fazer a síntese da água como o oxigênio preparado pela decomposição térmica da cal de mercúrio (HgO) (Filgueiras 2002, p. 87).

Na explicação flogística, o ar inflamável era associado ao próprio flogisto, e concebia-se o ar desflogisticado como água desprovida de flogisto. Todavia, Lavoisier demonstrava que o ar inflamável não era o flogisto, mas o responsável pela formação da água, ou melhor, o *princípio* gerador da água. Por esse motivo, Lavoisier denominou o ar inflamável de *princípio hidrogênio*, ou *princípio* formador de água.

Isso foi determinante para que uma série de químicos importantes se convertessem à química de Lavoisier. O primeiro foi Berthollet, depois vieram Fourcroy, Guyton de Morveau e Chaptal. Outro a aderir à teoria lavoisieriana foi Joseph Black, que escreveu a Lavoisier reconhecendo sua teoria:

Tendo-me habituado por trinta anos a acreditar e a ensinar a teoria do flogisto, tive por muito tempo um grande distanciamento do novo sistema, que apresentava como erro aquilo que eu julgava como uma doutrina sã; contudo, esse distanciamento, que provinha apenas do poder do hábito, diminuiu gradualmente, vencido pela clareza de suas demonstrações e pela solidez de seu plano” (Black 1997. *Ouvres de Lavoisier*, vol. VI, *Correspondance*).

A síntese da água marca o momento em que eminentes químicos passam a considerar a teoria de Lavoisier mais adequada na explicação de diversos fenômenos envolvendo a combustão, a calcinação, a teoria dos ácidos, pois apresentava seus pressupostos teóricos de forma clara e evidente à luz da experiência.

Todavia, essa ruptura limita-se no tempo. Poucos anos após a aceitação da teoria dos *princípios* de Lavoisier, vários químicos, inclusive alguns de seus colaboradores, colocaram em dúvida a natureza do princípio acidificante, argumentando que havia ácidos que não o possuíam e, mesmo assim, tinham propriedades ácidas. O golpe final contra esse princípio foi dado no início do século XIX por Humphry Davy (1778-1829), que demonstrou que o ácido muriático (ácido clorídrico, HCl) não apresentava em sua composição o princípio oxigênio, pondo por terra a teoria da acidez de Lavoisier. Além disso, a conversão à teoria de Lavoisier não foi total. Joseph Priestley se manteve fiel à teoria flogística até o final de sua vida, e rebateu aquilo que chamava de a “escola francesa” com argumentos muitos convincentes. Assim, podemos dizer que a síntese da água representou uma conversão momentânea à nova química, limitada temporalmente.

Se a ruptura provocada com a síntese da água serviu para que vários químicos se “convertessem” à química de Lavoisier, a ruptura provocada pela nova nomenclatura garantiu a essa química seu aspecto de modernidade. Segundo Bensaude-Vincent, a reforma foi uma verdadeira revolução porque introduziu um novo espírito, onde o princípio base era

uma lógica da composição: construir um alfabeto de palavras simples para designar as substâncias simples; depois designar as substâncias compostas por palavras compostas, formadas por justaposição de palavras simples. A nomenclatura foi o elemento essencial que metamorfoseou a revolução em fundação (Bensaude-Vincent 1996b, p. 209).

A nova nomenclatura de Lavoisier resultou de um trabalho coletivo efetuado por Guyton de Morveau, Berthollet, Fourcroy e pelo próprio Lavoisier. Foram considerados 33 elementos distintos, dividido em quatro classes. A primeira classe era formada pelas cinco substâncias encontradas nos três reinos: luz, calórico, oxigênio, azoto, e hidrogênio. A segunda classe compreendia as seis substâncias simples não-metálicas oxidáveis e acidificáveis: enxofre, fósforo, carbono, radical muriático, radical fluorídrico, e radical borácico. A terceira classe continha dezessete substâncias simples metálicas oxidáveis e acidificáveis: antimônio, prata, arsênico, bismuto, cobalto, cobre, estanho, ferro, manganês, mercúrio, molibdênio, níquel, ouro, platina, chumbo, tungstênio, e zinco. Na quarta classe, foram abrigadas cinco substâncias simples solidificáveis terrosas: cal, manganês, barita, alumina e sílica.

Para nomear as substâncias compostas, fez-se uso de uma lógica binária semelhante a que foi aplicada por Lineu (1707-1778) na sistematização da nomenclatura botânica. Assim, essas substâncias deveriam ser designadas justapondo os nomes de dois dos seus constituintes e classificadas por gêneros e espécies. O nome do gênero – por exemplo, ácido – designando as propriedades comuns a toda uma classe é especificada por um adjetivo: por exemplo, ácido carbônico. Quando duas substâncias se unem formando diversos compostos diferentes, são distinguidas mudando os sufixos: “ico” e “oso”, para os ácidos; “etos” e “atos” para os sais (Bensaude-Vincent 1996a, p.130).

Passados dois séculos, os princípios dessa nomenclatura subsistem ainda. Qualquer que seja o seu grau de composição, os compostos são sempre considerados como binários.

Portanto, o momento em que ocorreu a ruptura entre a nossa química lavoisieriana e a química tradicional foi aquele em que houve uma ruptura nas estruturas lingüísticas da ciência química. Esse tipo de ruptura consiste na mais essencial entre duas tradições científicas, e foi essa a “revolução paradigmática” realizada por Lavoisier.

Assim, não obstante discordar da interpretação kuhniana da obra de Lavoisier, me parece que a ruptura lingüística provocada pela nova nomenclatura química exemplifica

uma característica essencial das revoluções científicas, tal como concebidas por Kuhn. Num artigo escrito 20 anos após o seu *Estrutura*, Kuhn considerou que um das características distintivas das mudanças revolucionárias estava na ruptura lingüística, pois nesta ruptura se alteravam não apenas os critérios que relacionam os termos com a natureza, mas também o conjunto de objetos, ou situações, que relacionam esses termos ente si. Assim, segundo Kuhn, as mudanças nas categorias taxonômicas, constituem o requisito prévio para as descrições e generalizações científicas, de modo que uma alteração nesse nível leva a profundas mudanças na interpretação dada aos termos que se referem ao mundo (Kuhn 2000, p. 29).

Para concluir, chamo mais uma vez a atenção para o fato de que Lavoisier incorporou à sua teoria os principais ideais epistemológicos de sua época, “revolucionando” sua ciência da forma como o termo revolução era concebido nas ciências experimentais durante o século XVIII. A impressão que temos que Lavoisier revolucionou toda a química derivou de sua reforma da linguagem, reforma que também refletia o anseio das demais disciplinas.

CONCLUSÃO

Neste trabalho, procuramos articular duas investigações, uma histórica e outra epistemológica, ambas derivadas da distinção proposta por Kuhn entre filosofia da ciência e história da ciência. Embora destaquemos a negligência da filosofia da ciência pelas ciências químicas, não fizemos um trabalho tratando de temas relacionados à moderna filosofia da química, como, por exemplo, o reducionismo quântico, ou o formalismo lógico suscitado pela química contemporânea, nem oferecemos uma resposta à questão da singularidade disciplinar. Limitamos nosso interesse à historiografia da química e à utilização de episódios da história da química na análise epistemológica defendida por Thomas Kuhn. Contudo, procedendo desta maneira, esperamos estar contribuindo para aqueles estudos voltados mais ao formalismo do conhecimento químico, ou a outros problemas enfrentados pela moderna filosofia da química.

Desde o *A Estrutura das Revoluções Científicas*, tem aumentado o interesse tanto filosófico quanto historiográfico pelas ciências químicas. Na historiografia da química, as reflexões de Kuhn reforçaram os objetivos da nova historiografia da ciência, que proclamava a necessidade de descrever os episódios do passado da forma como os próprios protagonistas o concebiam. Isto fez com que se multiplicassem os trabalhos dedicados ao estudo de *casos* históricos, que tinham por objetivo evidenciar o contexto intelectual e social subjacentes ao conhecimento de uma determinada época. Além disso, o livro de Kuhn integrou a ciência química às análises epistemológicas da ciência que, até então, exceto nas academias do leste europeu, era exclusividade das ciências físicas. Assim, originaram-se dois campos de investigação que, apesar de apresentarem uma estreita relação, deveriam manter-se a uma distância suficiente para que fosse garantida uma singularidade disciplinar.

Aqui, defendemos essa particularidade de cada enfoque descrevendo a relação entre a história da química e a epistemologia kuhniana, que não obstante valorizar o trabalho histórico, cometeu certos exageros e anacronismos. Apontamos que esta particularidade é mais frutífera para ambas as disciplinas, pois, com isto, fica garantida uma certa base institucional, evitando aquilo que Kuhn denominou de *subversão* disciplinar. Assim, ao historiador da ciência, é essencial articular o conhecimento científico com o pensamento filosófico do período analisado, pois, desta articulação, é possível revelar a estrutura epistêmica que sustentava esse conhecimento. Já aos filósofos da ciência, em particular àqueles preocupados com questões relativas ao científico em geral, interessa utilizar a

história da ciência para ambientar suas discussões epistemológicas, sem, contudo, ter uma preocupação estrita com os termos utilizados pelos protagonistas do processo, somente com o objetivo de evitar contradições que possam ofuscar seu poder explicativo. Assim, cabe ao historiador se aproximar ao máximo do glossário filosófico do período analisado, bem como ao filósofo se aproximar das questões históricas que limitam suas generalizações. Todavia, a relação entre estes diferentes campos de pesquisa não é simétrica, pois, apesar de a história da ciência servir à moderna epistemologia científica evitando que esta apresente generalizações apressadas e cometa anacronismos, não se serve desta na realização de seu trabalho, pois, para isto, se utiliza, principalmente, da ciência e da filosofia do próprio período.

Permeamos essa discussão sobre a integridade disciplinar da história e da filosofia da ciência com uma descrição da construção da imagem de Lavoisier como fundador da química moderna. Salientamos que esta imagem foi construída pelos químicos-historiadores franceses do século XIX e que, embora abandonada pela moderna historiografia, se manteve presente nos manuais de divulgação, bem como na argumentação epistemologia de Kuhn. Todavia, demonstramos a parcialidade na escolha de um possível *momento fundador* personificado, de modo que propusemos a transferência do momento fundador da química moderna desde o final do século XVIII, até meados do século XVI. Esta transferência retira a prioridade da química do final do século XVIII na transformação da ciência química numa *ciência moderna*. Assim, seguindo Debus, consideramos que para entender a revolução química em sua totalidade, deve-se pensar numa cronologia mais ampla, que englobe períodos anteriores ao de Lavoisier.

Isso nos levou a sugerir dois outros *momentos fundadores*, quais sejam, o surgimento de uma comunidade de praticantes das artes químicas e a assimilação da química pelas academias de ciência. Estes novos *momentos* se pretendem amplos o suficiente para assimilar as discussões sobre as transformações materiais sem que a narrativa deva ser direcionada para algum episódio localizado no futuro. Assim, torna-se possível integrar à história da química episódios que foram muitas vezes negligenciados pela historiografia química, mas que apresentam questões nas quais estão envolvidos problemas que interessam não apenas ao historiador da química, mas também ao epistemólogo da ciência. Um exemplo é o programa newtoniano criado para a química que, embora tenha sido

freqüentemente negligenciado pela historiografia que tem em Lavoisier o “pai da química moderna”, quando descrito em sua integridade, revela um complexo debate epistemológico entre os que desejavam reduzir a química à física, e aqueles que, ao contrário, defendiam uma singularidade para a sua ciência. Além deste debate, que permanece na moderna filosofia da química, a descrição do programa newtoniano possibilitou transpormos uma argumentação epistemológica da atualidade para um *caso* histórico determinado, de modo que nos possibilitou exemplificar a utilização de um episódio histórico na apresentação de questões relacionada à moderna epistemológica.

Aprofundamos a noção de identidade disciplinar ao analisarmos a apropriação epistemológica da revolução química do século XVIII. Nesta descrição, apresentamos a contradição kuhniana ao expandir o modelo verificado na revolução copernicana à revolução química. Assim, após analisarmos a relação entre história e filosofia da ciência, e ampliarmos o campo de interesse daqueles historiadores preocupados em construir narrativas históricas centradas em reflexões epistemológicas, passamos a descrever a interpretação oferecida por Kuhn para a revolução química. Para Kuhn, a revolução química ofereceu um dos principais exemplos históricos da aplicação de sua terminologia na explicação do desenvolvimento do conhecimento científico. Na leitura kuhniana, a falência do paradigma flogístico, a proclamação da necessidade de uma revolução, a nova teoria da combustão, etc., representavam perfeitamente as características de um processo revolucionário, de modo que a revolução na química se assemelhava à revolução copernicana. De fato, numa primeira aproximação, a revolução lavoisieriana exemplifica a epistemologia kuhniana. Contudo, numa análise mais apurada dos textos originais, percebemos que a leitura kuhniana não corresponde exatamente à realidade histórica, forçando um raciocínio que mais ofusca do que esclarece a compreensão histórica.

Assim, propusemos o abandono da fraseologia kuhniana na interpretação das transformações ocorridas na ciência química nas três últimas décadas do século XVIII. Isto porque os acontecimentos daquele período foram por demais complexos para se adequarem a modelos epistemológicos concebidos *a priori*, carecendo de uma investigação mais detalhada. Realizando esta investigação, encontramos um Lavoisier contextualizado, que partilhava das idéias de um coletivo, e que revolucionou a química não segundo a fraseologia kuhniana, mas de acordo com aquilo que se concebia na época pela palavra

revolução. Deste Lavoisier contextualizado, surgiu uma profunda relação entre a sua *química* e as idéias filosóficas de Condillac, de modo que foi possível traçar uma possível epistemologia lavoisieriana.

Contudo, deixando de lado essa leitura de primeira aproximação, argumentamos que o elemento central para a modernidade dos textos de Lavoisier, e aquilo que manteve sua imagem de fundador disciplinar, está na criação da nova linguagem para a ciência química. Esta conclusão historiográfica, contudo, parece exemplificar uma versão mais sofisticada do pensamento kuhniano, que apontou a ruptura lingüística como um dos elementos essenciais das mudanças revolucionárias. Ou seja, após seguirmos Kuhn em sua diferenciação do trabalho realizado pelo historiador da ciência e pelo filósofo da ciência, e de termos determinado uma contradição nas reflexões do próprio Kuhn, originadas da aplicação do modelo de desenvolvimento das ciências físicas às outras ciências, concluímos que a revolução química ainda pode exemplificar a epistemologia kuhniana. Porém, apesar de apresentar algumas das características apontadas por Kuhn como essenciais a uma mudança revolucionária, a revolução lavoisieriana não teve a mesma amplitude que a revolução galilaico-newtoniana, sendo mais bem assimilada na história do desenvolvimento químico como uma dentre outras revoluções paradigmáticas. Por tudo isso, propusemos que a transformação do conhecimento químico em uma ciência ensinada foi um processo de longa duração, no qual ocorreram diversas revoluções paradigmáticas que, vistas em conjunto, constituem uma longa revolução química.

Referências Bibliográficas

- ABRANTES, P. **Imagens de Natureza, Imagens de Ciência**. São Paulo, Papirus, 1988.
- AFONSO-GOLDFARB, M. Ana. **Da Alquimia à Química**. São Paulo, Nova Stella/EDUSP, 1987.
- AFONSO-GOLDFARB, M. Ana ; FERRAZ, H. M. Márcia. A química flogística no século XVII francês. **Revista de Ciências Sociais y Humanidades**. Universidade Autónoma de Puebla, México, n. 2, p. 19-25, 1995.
- BENSAUDE-VINCENT, B. ; STENGERS, I. **História da Química**. Lisboa, Instituto Piaget, 1996 a [1992].
- BENSAUDE-VINCENT, B. Lavoisier: uma revolução científica. In: Serres, M. (org). **Elementos para uma História da Ciência**. Vol. II, Lisboa, Terramar, 1996b [1989].
- **Lavoisier**. Paris, Flammarion, 1993.
 - Une Mythologie Révolutionnaire dans la Chimie Française. Paris, **Annals of Science**, vol. 40, p. 189-96, 1982.
 - A view of the chemical revolution through contemporary textbooks: Lavoisier, Fourcroy and Chaptal. **Anglo-American Conference**, Manchester, 1988.
- BERTHELOT, M. **Una Revolución en la Química, Lavoisier**. Buenos Aires, Editorial Losada, 1945 [1890].
- BURTT, E. **As Bases Metafísicas da Ciência Moderna**. Brasília, Editora UnB, 1991 [1984].
- CHAGAS, A. A ‘Mémoire sur la Chaleur’ de Lavoisier e Laplace e os inícios da Termodinâmica Química. **Química Nova**, vol. 3, 1992.
- COHEN, I. Bernard. **Revolution in Science**. Cambridge, Harvard University Press, 2001 [1985].
- CONDILLAC, B.E. 1973. **Tratado dos Sistemas (a); Lógica (b) e Resumo selecionado do Tratado das Sensações (c)**. Coleção Os Pensadores, Rio de Janeiro, Abril Cultural, 1973.
- **Traité des Sensations**. Paris, Fayard, 1984 [1754].
- CROSLAND, M. Lavoisier, le mal-aimé. **La Recherche**, vol. 14, p. 785-91, 1981.
- DEBUS, A. **El Hombre y la Naturaleza en el Renacimiento**. Cidade do México, Fondo de Cultura Económica, 1982 [1978].

- Alchemy and Iatrochemistry: Persistent traditions in the 17th and 18th centuries. **Química Nova**, vol. 3, 1992.
- A Longa Revolução Química. **Ciência Hoje**. Vol. 13, n. 77, 1991.
- DUMAS, J-B. **Leçons de Philosophie Chimique**. Paris, Gauthier-Villars Éditeur, 1937 [1836].
- DUTRA, H.L. **Introdução à Teoria da Ciência**. Florianópolis, Editora da UFSC, 1998.
- **A Epistemologia de Claude Bernard**. Campinas, Coleção CLE – UNICAMP, 2001.
- FATALIEV, Kh. **O Materialismo Dialético e as Ciências da Natureza**. Rio de Janeiro, Zahar Editores, 1966.
- FERRONE, Vincenzo. O Homem de Ciência. In: Vovelle, M. (org). **O Homem do Iluminismo**. Lisboa, Editora Presença 1997 [1992].
- FILGUEIRAS, C. A Revolução Química de Lavoisier: uma verdadeira revolução? **Química Nova**, vol. 2, 1995.
- **Lavoisier – o estabelecimento da química moderna**. São Paulo, Editora Odysseus, 2002.
- Vicente-Telles, o primeiro químico brasileiro. **Química Nova**, vol. 5, 1985.
- Origens da Ciência no Brasil. **Química Nova**, vol. 3, 1990.
- Voltaire e a Natureza do Fogo: Uma controvérsia do século dezoito. **Química Nova**, vol. 5, 1995.
- FOCAULT, M. **As Palavras e as Coisas**. São Paulo, Martins Fontes, 2002 [1966].
- **Arqueologia das Ciências e História dos Sistemas de Pensamento**. Rio de Janeiro, Forense Universitária, 2000 [1964].
- GAVROGLU, K. 1997. Philosophical Issues In The History Of Chemistry. Amsterdã, **Synthese**, Kluwer Academic Publishers, p. 283-304, 1997.
- JAFFE, Bernard. **Crucibles: The Story of Chemistry**. New York, Dover Publications, 1976 [1930].
- KANT, I. **Crítica da Razão Pura**. Lisboa, Fundação Calouste Gulbenkian, 1997 [1787].
- KAWASHIMA, K.. Madame Lavoisier et la traduction française de l'Essay on phlogiston de Kirwan. **Rev. Hist. Sci.** p. 53/2: 235-263, 2000.
- KOYRÉ, A. **Paracelse**. Paris, Éditions Allia, 1997.
- KUHN, S. T. **A Estrutura das Revoluções Científicas**. São Paulo, Editora Perspectiva,

- 1975 [1962].
- A História da Ciência. In: **A Tensão Essencial**. Lisboa, Edições 70, 1989a [1968].
 - As Relações entre a História e a Filosofia da Ciência. In: **A Tensão Essencial**. Lisboa, Edições 70, 1989b [1976].
 - Reconsiderações acerca dos Paradigmas. In: **A Tensão Essencial**. Lisboa, Edições 70, 1989c [1977].
 - Tradição Matemática versus Tradição Experimental no Desenvolvimento da Ciência Física. In: **A Tensão Essencial**. Lisboa, Edições 70, 1989d [1976].
 - What are Scientific Revolutions? In: **The Road Since Structure**. Chicago, University of Chicago Press, p. 13-32, 2000 [1987].
 - **A Revolução Copernicana**. Lisboa, Edições 70, 1990 [1957].
- LAKATOS, I. (org). **A Crítica e o Desenvolvimento do Conhecimento**. São Paulo Cultrix, 1979 [1970].
- LAVOISIER, A. **Traité Élémentaire de Chimie**. Paris, Gauthier-Villiar Éditeur, 1937 [1789].
- **Ouvres de Lavoisier, Correspondance**. Paris, Académie des Sciences, 1997.
- LESPIEAU, R. **La molécula química**. Buenos Aires, Editora Espasa-Calpe, 1947 [1926].
- MAAR, H. J. **Pequena História da Química, parte I**. Florianópolis, Editora Papa- Livro, 1999.
- MORVEAU, G.; LAVOISIER, A.; BERTHOLLET, C.; FOURCROY, A. **Méthode de Nomenclature Chimique**. Paris. Éditions du Seuil, 1994 [1787].
- NEWTON, I. **Óptica**. São Paulo, Editora da Usp, 1996 [1730].
- PARTINGTON, J.R. **A Short History of Chemistry**. New York, Dover Publications, 1989 [1957].
- QUINE, W. De um Ponto de Vista Lógico. In: **Os Pensadores**. São Paulo, Nova Cultural, 1989 [1953].
- ROSSI, P. **O nascimento da ciência moderna na Europa**. São Paulo, EDUSC, 2001 [1997].
- **A ciência e a filosofia dos modernos**. São Paulo, Editora da UNESP, 1992 [1989].
 - **Os Filósofos e as Máquinas**. São Paulo, Companhia das Letras, 1989 [1971].

- STENGERS, I. Afinidade Ambígua. In: Serres, M. (org). **Elementos para uma História Da Ciência**, vol. II, Lisboa, Terramar, 1996 [1989].
- STENGMULLER, W. **A Filosofia Contemporânea**. São Paulo, Editora da USP, 1977 [1976].
- SCHUMMER, J. The Chemical Core of Chemistry. **Hyle – International journal for Philosophy of Chemistry**, vol. 4, nº 2, 1998.
- TOSI, L. Lavoisier: Uma Revolução na Química. **Química Nova**. vol. 12, p. 33-56, 1989.
- Jean-Paul Marat (1743-1793), cientista e tradutor de Newton. **Química Nova**, vol.6, 907-12, 1999.
- VAN BRAKEL, J. On The Neglect Of The Philosophy Of Chemistry. In: **Foundations of Chemistry**, vol. 1, p. 111-74, Amsterdã, Kluwer Academic Publishers, 1999.