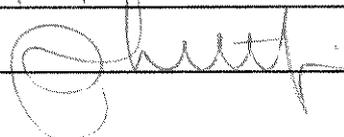


PEDRO DA CUNHA PINTO NETO 658

**A CONQUISTA DE EROS E ANTEROS -  
UMA TRILOGIA DA QUÍMICA NO OITOCENTOS**

Este exemplar corresponde à redação final  
da Dissertação defendida por Pedro da Cunha  
Pinto Neto e aprovada pela Comissão  
Julgadora em 15/12/93

Data: 15/12/93

Assinatura: 

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS - UNICAMP

FACULDADE DE EDUCAÇÃO

1993



UNIDADE	BC		
N.º CHAMADA:	P658e		
V.	Ex.		
T.º MOO BC/	21.008		
PROC.	286/94		
C	<input type="checkbox"/>	D	<input checked="" type="checkbox"/>
PREÇO	CR\$ 800,00		
DATA	19/02/94		
N.º CPD			

CM-00054674-5

Dissertação apresentada como exigência  
parcial para obtenção do Título de MESTRE  
EM EDUCAÇÃO na Área de Concentração:  
Metodologia de Ensino à Comissão Julgadora  
da Faculdade de Educação da Universidade  
Estadual de Campinas, sob a orientação do  
Prof. Dr. Mansur [Lutfi *5/10.0000001803(4)*]

## **AGRADECIMENTOS**

A todas as pessoas que direta e indiretamente colaboraram comigo, principalmente àquelas que me socorreram nos momentos difíceis, permitindo assim que eu me dedicasse integralmente à minha tarefa.

Ao professor Milton José de Almeida que me orientou na fase inicial das pesquisas, até a realização da minha qualificação.

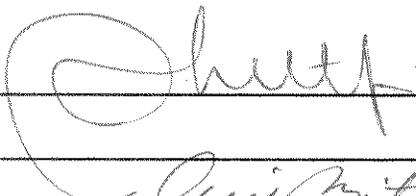
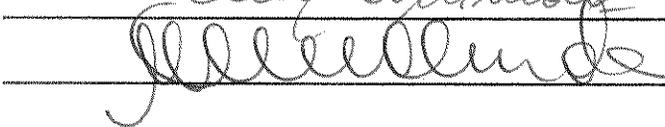
Ao professor Mansur Lutfi, que sempre me incentivou e me orientou na elaboração da dissertação.

Ao professor Augusto Novaski que muito atenciosamente fez a revisão final do texto.

Ao apoio recebido da CAPES/MEC e Unicamp durante o período em que realizei os créditos e parte da pesquisa e da Unimep, na fase de elaboração da dissertação.

Para Heloisa e Laís, que se  
privaram de tantas coisas,  
para me acompanharem nesta  
trajetória.

Comissão Julgadora:

  
\_\_\_\_\_  
  
\_\_\_\_\_  
  
\_\_\_\_\_

Campinas - SP - \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_

## RESUMO

Esta dissertação trata de três aspectos da história da química, no período que vai da segunda metade do século XVIII até o início do século XX.

Inicialmente, aborda-se o momento de constituição da chamada "química moderna", procurando mostrar o processo de construção social da objetividade da química.

A seguir, tomando como referência a teoria atômica, faz-se uma leitura do confronto das idéias na construção dos modelos explicativos.

Finalmente, estudam-se as relações ciência-indústria, no processo de incorporação da ciência pelo capital. É abordado o caso da indústria química leve, que se desenvolve na Alemanha, a partir da segunda metade do século XIX.

## SUMÁRIO

### INTRODUÇÃO

1.	Definindo e situando o problema .....	01
2.	Os caminhos para tratar o problema .....	02
3.	A busca do objeto: o método, a história e os construtores .....	04
3.1.	Considerações sobre o método .....	04
3.2.	O método e o nosso objeto .....	06
3.3.	Sobre o caminho pela história .....	07
3.4.	A história das ciências existe? .....	08
4.	O período abordado .....	11
4.1.	O objeto e suas transformações .....	12
4.2.	Os significados das transformações .....	14
4.3.	Resumo .....	17

### CAPÍTULO I

#### O MURO

1.	O cenário e os protagonistas dos acontecimentos .....	19
1.1.	O parisiense Lavoisier .....	21
1.2.	A ciência burguesa .....	24
2.	A ruptura na química .....	27
2.1.	Lavoisier e o novo olhar sobre a natureza .....	29
2.2.	Le mur murant Paris rend Paris murmurant .....	38
2.3.	Eros e Anteros entre os muros de Paris .....	40

## CAPÍTULO II O ÁBACO

1.	A construção das idéias .....	42
1.1.	Fragmentos de um átomo de 24 séculos .....	44
1.2.	Fragmentos dos atomistas .....	47
1.2.1.	Fragmentos da obra de Epicuro .....	47
1.2.2.	Fragmentos dos escritos de Tito Lucrécio Caro .....	48
2.	O átomo mecânico .....	52
3.	O átomo do oitocentos .....	58
4.	A montagem do grande quebra-cabeças - o poema de Mendeleev .....	66
5.	O átomo expulso da química - o universo das partículas subatômicas .....	73
5.1.	O universo subatômico .....	75
5.2.	Um átomo para a química .....	81

## CAPÍTULO III O OURO

1.	A química resolvendo alguns problemas e entrando na fábrica .....	86
1.1.	A química para branquear e limpar .....	88
1.2.	A química é dos químicos? .....	90
1.3.	A ciência convertida .....	92
2.	A química no mundo do trabalho .....	95
2.1.	As novas insalubridades .....	95
2.2.	Especialistas assalariados .....	98
3.	A Alemanha mostra ao mundo como tirar ouro de uma caixa de areia .....	100
3.1.	A influência francesa .....	100
3.2.	Os alemães e os corantes .....	103

4.	Dos corantes aos medicamentos, uma história que vai além do simples acaso .....	107
4.1.	Os novos rumos da pesquisa científica .....	107
4.2.	As máquinas químicas .....	110
4.3.	As "balas mágicas" .....	115
5.	Outras histórias .....	120
6.	A formação dos monopólios .....	125

### CONSIDERAÇÕES FINAIS

1.	Eros e Anteros no mundo dos homens .....	133
2.	Sobre a trilogia .....	134
3.	Ciência e capital - outras leituras .....	139
4.	O que é química? .....	141
	<b>Bibliografia</b> .....	144

## INTRODUÇÃO

### 1. Definindo e situando o problema

Este trabalho nasceu a partir de uma indagação - *o que é química?* - e dos possíveis caminhos que, normalmente, usamos para responder a esta questão. Posso dizer que ela surgiu não pelo desconhecimento, mas justamente pelo contato com esta "área do conhecimento", no momento em que entrei num curso superior cujo objetivo era a formação de químicos.

Inicialmente, ela me apareceu na forma de uma angústia, quando me defrontei com os processos aos quais teria que me submeter para ser químico. Tornar-se químico exigia, antes de mais nada, estar aberto para absorver um conjunto de dados e de procedimentos que, em grande parte dos casos, vinha através dos manuais, sendo a maioria das aulas apenas a reprodução, da forma mais fiel possível, do que estava presente nos mesmos.

Para um jovem que buscava uma formação, a qual, segundo os padrões da nossa sociedade, iria definir o que ele seria, era muito importante saber, antes de tudo, o que significava ser químico, entender o papel deste conhecimento na construção do nosso mundo, pois o ser socialmente definido,

significa um fazer, a forma como o indivíduo participa da construção social.

Diversos caminhos trilhei até compreender que, antes de chegar a uma resposta às minhas indagações, teria que entender e situar a origem da própria indagação, superando o limite individual da mesma, e procurando entender a partir de que momento esta indagação é possível.

A partir daí, a indagação que tinha, até então, um sentido individual, transformou-se numa questão, com um sentido muito mais amplo, inserida nas reflexões que se faz sobre a formação dos químicos, especialmente dos licenciandos, e das reflexões sobre os significados da produção científica em nossa sociedade.

## 2. Os caminhos para tratar o problema

Pode-se afirmar que a questão e a resposta podem ter conotações diversas, dependendo de quem formula a questão e de quem a responde. Em nossa sociedade já se define previamente a quem cabe a questão e a quem cabe a resposta. Nesta realidade, onde o conhecimento está compartimentalizado, esperamos que as respostas venham de indivíduos cuja especialidade os qualifica para tratar de determinadas questões. Na verdade, o que temos definido são as possibilidades de respostas a questões. Quando uma questão é elaborada, ela será enquadrada segundo as regras

que definem a fragmentação do conhecimento, e com isto a sua resposta estará dada.

Assim, ao lançarmos a questão - *o que é química?* - já definimos a resposta. Se, ao usarmos a palavra química, estamos nos referindo a uma determinada área do conhecimento, conseqüentemente estabelecemos que será um químico a pessoa mais indicada a trabalhar com esta questão.

Mas, sendo o químico aquele que vive a sua especialidade, o seu discurso sobre a sua área de atuação, parte, antes de mais nada, do seu concreto, isto é, da sua experiência, do seu presente. Portanto, dentro da sua resposta, provavelmente ele se remeterá à objetividade da química em nossa sociedade, trata-la-á como um elemento da construção do real.

Então, neste ponto, aparece a seguinte questão: será possível pensarmos a química não a partir da sua objetividade, mas da construção desta objetividade? É a partir desta questão que o presente trabalho será construído, buscando-se, através dele entender não para quê a química serve (*o que é química?*), mas sim, quais os caminhos que um determinado conjunto de conhecimentos estabelece enquanto uma especialidade, e passa a integrar uma determinada forma de construção da realidade.

O caminho escolhido será uma leitura da história, em particular da história da ciência, da técnica e do trabalho, buscando, a partir destas leituras, as relações que nos permitam

uma melhor compreensão do processo de construção desta especialidade, das condições para sua reprodução e dos mecanismos de apropriação.

Enquanto um trabalho histórico, optou-se por trabalhar com o período que, segundo alguns historiadores, foi o mais representativo para a química, que vai do final do século XVIII ao início do século XX. Dadas as limitações impostas pelo próprio trabalho, a nossa leitura restringir-se-á a alguns casos, buscando, nestas partes, uma compreensão do todo. Assim, não se propõe uma exposição minuciosa de dados e de fatos, mas sim, uma compreensão dos processos a partir de alguns casos significativos.

Espera-se, com isto, buscar tratamento para a questão levantada, que não seja apenas aquele possível para o químico, mas que supere esta possibilidade, incorporando aí as contribuições da história, da filosofia e da sociologia, sem, no entanto, se afastar da química.

### 3. A busca do objeto: o método, a história e os construtores

#### 3.1. Considerações sobre o método

Antes de tudo, há uma inquietação, um pensar sobre, que define o nosso objeto. Este pensar sobre é uma busca

da compreensão do objeto na sua totalidade. Trata-se, então, da questão do método, enquanto uma forma de se pensar o objeto e o processo da sua construção, que permita se chegar à totalidade.

No momento em que o nosso objetivo é uma busca da totalidade, o objeto será visto no lugar da sua concepção, a sociedade. Portanto, trabalhar-se-á com o objeto das ciências humanas: "onde sujeito e objeto não são radicalmente separáveis" (Goldmann, 1979, p. 81), pois o objeto de estudo "acha-se no interior do sujeito, seja ele quem for - mesmo se nos apegamos à idéia do sujeito particular, do sujeito individual" (Goldmann, 1979, p. 81).

Sendo o objeto de estudo produzido socialmente, e procurando fazer este estudo numa transdisciplinaridade, isto só será possível a partir de uma perspectiva dialética. "A totalidade dialética, por sua vez, rejeita o conceito restritivo de lei e estipula a dependência dos fenômenos particulares em relação à totalidade social" (Habermas, 1980, p. 282). Apesar do caráter particular do nosso objeto, e das teorias que carrega, o que se quer é evitar a redução do real ao objeto. "As teorias revelam-se aplicáveis a objetos de uma área específica na medida em que a multiplicidade e diversificação do real a elas estejam submetidas" (Habermas, 1980, p. 278).

Este trabalho deverá ser uma busca de superação dos dados e fatos empíricos, das percepções primeiras e das formas de pensar o objeto que nascem em seu interior. Superação

esta que, segundo Goldmann, é o princípio fundamental do pensamento dialético:

*(...) princípio de que o conhecimento dos fatos empíricos permanece abstrato e superficial enquanto ele não foi concretizado por sua integração ao único conjunto que permite ultrapassar o fenômeno parcial e abstrato para chegar à sua essência concreta e, implicitamente à sua significação (Goldmann, 1979, p. 7-8).*

### 3.2. O método e o nosso objeto

Sendo o nosso objeto o conhecimento químico e a sua objetividade, faz-se necessário um entendimento do seu particular, do que é específico da química, da sua materialidade, das possibilidades que ela cria de transformar o mundo material, de criar e destruir uma forma de organizar materialmente a vida. Por outro lado, esta produção e o seu movimento devem ser entendidos nas suas múltiplas relações, isto é, a partir da forma pela qual a sociedade é organizada e, também, do processo de construção do conhecimento, da sua objetividade.

A reflexão sobre a objetividade do conhecimento químico trata da objetividade do conhecimento e dos interesses que o colocam em movimento: esta análise só é possível pelo método dialético.

*Qualquer reflexão sobre estes interesses leva a uma análise dialética, entendendo-se como dialética a concepção de análise como parte integrante do processo social analisado,*

*como sua consciência crítica possível (Habermas, 1980, p. 299).*

### 3.3. Sobre o caminho pela história

Se a preocupação apontada anteriormente requer uma compreensão da totalidade, e aponta para os processos de construção social, deve-se, antes de tudo, debater com as questões que aparecem no interior do nosso objeto. Ao tratar da objetividade do conhecimento químico, devemos evitar transpor os modelos que as ciências físicas oferecem para as ciências humanas, nos quais as ciências podem ser analisadas fora do contexto da sua produção, e da relação com a vida dos homens.

*Tendo que se impor, nos séculos XVI e XVII, graças a uma luta acirrada contra as intromissões teológicas e sociais de toda natureza, a física moderna acentuou com veemência a exigência duma pesquisa desinteressada. Contribuiu pois para criar uma ideologia cientificista que atribuía a toda pesquisa e a todo conhecimento dos fatos um valor, e considerava com certo desprezo as tentativas de ligar o pensamento científico à utilidade prática e às necessidades dos homens (Goldmann, 1986, p. 18).*

Voltando às intenções inicialmente apresentadas neste trabalho, de trazer as contribuições da história, da filosofia e da sociologia, cabe questionar: como fazer isto, sem se afastar da química e, ao mesmo tempo, sem se submeter a ela? Para evitar esta submissão, a química será tomada enquanto um "fato social", no sentido dado por Goldmann, que afirma: "todo fato social é um fato histórico e inversamente" (Goldmann, 1986,

p. 17). Isto requer, antes de tudo, uma atitude dialética diante do nosso problema.

Assim, a nossa abordagem assumirá o caráter de uma "história sociológica" ou uma "sociologia histórica". Buscar-se-á, desse modo, a compreensão das relações que se estabelecem entre os homens, a partir das transformações da relação do homem com o mundo material.

*O que os homens procuram na história são as transformações do sujeito da ação no relacionamento dialético homem-mundo, são as transformações da sociedade humana.*

*Segue-se daí que o objeto das ciências históricas é constituído pelas ações humanas de todos os lugares e de todos os tempos, na medida em que tiveram ou ainda têm importância ou influência na existência e na estrutura de um grupo humano e, implicitamente por meio deles, uma importância ou uma influência na existência e na estrutura da comunidade humana presente ou futura (Goldmann, 1986, p. 23).*

#### 3.4. A história das ciências existe?

Aqui, sinto-me obrigado a entrar no processo de construção do presente trabalho. Se a abordagem histórica se mostrou, desde o início, como um caminho possível, o desenrolar da pesquisa, neste sentido, levantou outros problemas. O primeiro passo dado foi uma revisão bibliográfica da produção que dizia respeito diretamente à história da química. As referências levaram a um conjunto de obras esparsas, onde a história da química aparece como uma integrante da história das ciências. Este tratamento compartimentalizado das ciências e da

história das ciências é um obstáculo, que fica claro a partir da seguinte passagem de Michel Serres:

*Todo mundo fala na história das ciências, como se existisse tal história. Não conheço história desse tipo. Conheço monografias ou associações de monografias sem ligação. Há histórias das ciências, de maneira distributiva. História da geometria, da álgebra, um pouco das matemáticas, da ótica, da termodinâmica, da história natural, e assim por diante. Que hoje em dia a monografia de uma disciplina ou de uma região ocupe o lugar da monografia de um autor, genial ou secundário, como se dizia, isso não muda muito o assunto. Em vez de separar-se um grupo de indivíduos, corta-se um mapa em regiões. A geometria ou a ótica passam a criar-se por si próprias, a si próprias, como se existissem independentemente e se desenvolvessem em sistema fechado. Tudo se passa como se fosse proibido interrogar-se quanto à classificação das ciências em setores. Ora, essa divisão, na medida em que decide alguma coisa quanto aos objetos do saber, quanto a seus métodos e quanto a seus resultados, antes mesmo do processo histórico em que esse conjunto vai desenvolver-se, é ideológica por essência. Assim, toda monografia ou toda associação de monografias, que seja posterior a ou que seja vítima de uma classificação, transporta, sem variações, as suas fraquezas, as suas lacunas, as suas decisões. Seria talvez necessário começar por fazer a história crítica das classificações. A própria história, no entanto, pertence a uma classe (Serres, 1988, p. 161).*

Diante dessas questões, a opção feita foi por trabalhar com diversos autores: da história das ciências, da história<sup>1</sup>, da sociologia e da filosofia. Coube, então, enfrentar os obstáculos estabelecidos pela própria classificação, à qual as obras estão submetidas. No caso particular da química, a própria tradição presente nos manuais

---

<sup>1</sup>Esta divisão pode ser feita a partir da forma como os autores definem os seus trabalhos. Assim, os textos dos historiadores, geralmente, aparecem como trabalhos de história, já os de outros profissionais, quando tratam da história da sua área do conhecimento, aparecem como de história das ciências.

científicos, que são a matéria-prima para a formação dos profissionais desta área, leva-os a "ver o passado de sua disciplina como um desenvolvimento linear em direção ao ponto de vista privilegiado do presente" (Kuhn, 1978, p. 176).

Muitos dos textos de história das ciências, com os quais tive contato, fazem apenas uma descrição dos fatos. Assim, ao escolherem os fatos a serem descritos, e ao construírem uma narrativa, que busca na linearidade temporal a linearidade da história, fazem do que é um modelo de descrição, uma construção histórica, criam uma lógica que não é inerente aos fatos, ou ao pensamento<sup>2</sup>, mas sim à própria narrativa. Dentro deste modelo, aparecem concepções tais como a da neutralidade e da evolução cumulativa.

Mas este trabalho não é uma negação da história das ciências produzida, mas sim uma proposta de uma leitura desta produção, a partir de outras concepções e de outros parâmetros de análise.

Este movimento deve romper com a linearidade de uma história que é recontada a partir de um referencial presente. Dentro da perspectiva do presente<sup>3</sup>, a história das

---

<sup>2</sup>O pensamento é uma operação viva, cujo progresso é real sem ser, entretanto, linear e, sobretudo, sem nunca estar acabado" (Goldmann, 1979, p. 7).

<sup>3</sup>Por razões ao mesmo tempo óbvias e muito funcionais, os manuais científicos (e muitas das antigas histórias da ciência) referem-se somente àquelas partes do trabalho de antigos cientistas que podem facilmente ser consideradas como contribuições ao enunciado e à solução dos problemas apresentados pelo paradigma dos manuais. Em parte por seleção e em parte por distorção, os cientistas de épocas anteriores são implicitamente

ciências é a história daquilo que se estabeleceu, podendo ser considerada a história dos vencedores, ou melhor, daquilo que, em um determinado momento, foi socialmente aceito. Resta, para nós, perguntar o porquê de tal modelo ser o socialmente aceito em um determinado momento. Toma-se a ciência enquanto um produto social, portanto, em nenhum momento, neutra, e sua produção enquanto algo historicamente construído, como uma forma de dar respostas, ou de criar problemas para uma determinada construção social.

#### 4. O período abordado

A proposta do trabalho traz em si uma ruptura com os modelos até então estabelecidos para o estudo da história das ciências, sendo que o que irá diferenciá-lo é a perspectiva a partir da qual é construído. Não trabalhamos na ótica do químico ou do historiador, partimos da perspectiva de quem tem preocupações nos dois sentidos, isto é, de entender o processo de construção e, ao mesmo tempo, porque, em determinado momento, ocorreu tal construção. Por isso, não nos preocuparemos tanto com uma química pronta, mas sim com os lugares onde a sua

---

representados como se tivessem trabalhado sobre o mesmo conjunto de problemas fixos e utilizado o mesmo conjunto de cânones estáveis que a revolução mais recente em teoria e metodologia científica fez parecer científicos. Não é de admirar que os manuais e as tradições históricas neles implícitas tenham que ser reescritas após cada revolução científica. Do mesmo modo, não é de admirar que, ao ser reescrita, a ciência apareça, mais uma vez, como sendo basicamente cumulativa" (Kuhn, 1978, p. 175-176).

produção se estabelece, seja o lugar onde é concebida, ou simplesmente, absorvida.

Definida a forma como vou abordar o meu objeto, parto para a definição do período com o qual trabalharei. Aqui novamente foi a literatura que me deu algumas pistas, as quais foram buscadas a partir da seguinte questão: *Em que período da história se constituiu o que hoje chamamos de "química moderna"?* As respostas que encontrei reportam ao final do século XVIII, e transcorrer do século XIX. Hobsbawn diz ser este o período do despertar das ciências adormecidas (como a química); para Bernal, o século XIX é o período em que a química tradicional desaparece, passando para uma química que usa métodos racionais, baseados nos conceitos de elemento químico e da conservação das massas; Kuhn vê na química um momento de rompimento com velhos paradigmas; e Bachelard como um momento onde temos rupturas epistemológicas<sup>4</sup>.

#### 4.1. O objeto e suas transformações

Considerando inicialmente a química como um conhecimento sobre a matéria, e sendo este conhecimento uma produção humana, a relação sujeito-objeto (homem-química) está em constante processo de transformação, assim como a

---

<sup>4</sup>Cf. os seguintes autores: Bachelard (1977a, 1977b, 1984 e 1988), Bernal (1973b), Hobsbawn (1977) e Kuhn (1978).

objetividade da apreensão do objeto pelo sujeito. Haverá, portanto, uma transformação no trabalho daqueles que se ocupam desta ciência, pois um tratamento químico é um emprego de técnicas e de doutrinas. Segundo Bachelard, "o químico procura primeiro a substância homogênea" (Bachelard, 1977a, p. 89) e, para a sua ação, uma técnica preliminar é indispensável. "Mas essa técnica elementar tem também uma história. Cada época reconsidera pois a doutrina das substâncias homogêneas" (Bachelard, 1977a, p. 89).

Para os dois últimos séculos, Bachelard faz uma síntese das principais transformações pelas quais a química passou:

*se quiséssemos assinalar com traços toscos as revoluções de idéias pelas quais se renova a ciência, poderíamos falar primeiro da era analítica de Lavoisier; em seguida, da era sincrética de Mendeléieff (Bachelard, 1977a, p. 77).*

A inauguração da química sincrética, por Mendeleev<sup>5</sup>, e a nova fase são acompanhadas por "uma evolução da filosofia química, filosofia que chega lentamente ao *realismo rigoroso* graças à organização racional de uma experiência comparativa essencialmente complexa" (Bachelard, 1977a, p. 79). Há uma transformação que, a partir do século XX, tem um novo desdobramento, no qual o conhecimento da matéria busca outras fundamentações:

---

<sup>5</sup>Ao longo da pesquisa encontrei o nome deste notável químico russo escrito das mais diversas formas: Mendeleev, Mendeleév, Mendeléyev, Mendeléeff, Mendelejeff, Mendéléeff, Mendeleef, Mendeléieff, Mendeleiev, etc. Há praticamente tantas formas quantos são os autores que se referem a ele. Utilizarei a forma Mendeleev.

*desde o início do século XX, a fenomenologia das substâncias elementares se desdobrou e uma sistemática especificamente eletrônica foi instituída como base da sistemática química de Mendeléieff. Devido a isso, as doutrinas da matéria acolheram tipos de explicação inteiramente novos, fundados num verdadeiro domínio de racionalidade provido de princípios autônomos: a mecânica quântica (Bachelard, 1977a, p. 80).*

A partir da compreensão da transformação interna à química, podemos ver o seu alcance e suas possibilidades e, assim, melhor entender o seu papel dentro do contexto social.

#### 4.2. Os significados das transformações

A transformação dentro da química dar-se-á no processo de um conhecimento cada vez maior da realidade material, que tem outras implicações. Uma característica da ciência natural é o fato de ela produzir um conhecimento que leva a uma transformação na relação do homem com a natureza. No caso de uma sociedade industrial, o conhecimento da ciência natural possibilita uma transformação na técnica e, portanto, na base material da sociedade.

Será então, para nós, uma nova questão a objetividade das ciências naturais? Mas é uma questão que, em momento algum, se separa do contexto histórico no qual está inserida, pois

*as ciências e as técnicas reflectem o cunho da fase histórica em que são constituídas e que, portanto, não*

*podem ser compreendidas e avaliadas profundamente se se prescindir, deste, isto é, não podem ser compreendidas fora do contexto histórico (Geymonant, s.d., p. 124).*

Assim, não existe, em nossa abordagem, um ponto onde possamos dizer que há uma separação entre questões próprias da química e questões relativas ao seu papel social, já que a produção do conhecimento dito específico se dá socialmente, em uma totalidade onde existem as condições para que tal conhecimento seja produzido. Na sociedade industrial, a produção de conhecimento científico é institucionalizada<sup>6</sup>.

A incorporação da ciência ao processo produtivo, seja como elemento gerador de novas tecnologias, seja fornecendo princípios (métodos) para a organização social e do trabalho, leva a uma nova relação entre homem e natureza, sendo um novo elemento nas formas de dominação.

*O método científico que levou à dominação cada vez mais eficaz da natureza, passou assim a fornecer tanto os conceitos puros, como os instrumentos para a dominação cada vez mais eficaz do homem pelo homem através da dominação da natureza (Habermas, 1980, p. 315).*

Sendo um elemento de dominação, fazendo parte do projeto social de uma determinada classe, a ciência será ideologizada, pois, como critério de verdade e como força produtiva, ela deverá ter uma aparência que dilua o seu real significado. Desta forma, o primeiro passo é a redução do

---

<sup>6</sup>"Só a partir do momento em que o modo de produção capitalista dotou o sistema econômico de um mecanismo de regras para o crescimento da produtividade do trabalho, crescimento que, embora sujeito a crises, revela-se contínuo a longo prazo, é que a introdução de novas tecnologias e de novas estratégias, a inovação como tal, foi institucionalizada" (Habermas, 1980, p. 324).

critério de verdade a apenas o que é quantificável, acompanhado de uma fetichização da ciência.

O critério de verdade, dado pela ciência, vai ser assumido num processo de valorização e ideologização:

*No mundo burguês, cada vez mais orientado para a posse, a hierarquia de valores se deslocou em favor do útil e do eficaz. O pensamento cotidiano encaminhava-se progressivamente para identificar o útil com o bem, enquanto a categoria de orientação de valor não obrigatória absorvia em si a obrigatória. Desse modo, a filosofia ingênua - como sempre - dava expressão a um processo social existente, à transformação dos valores. Não renunciava ao bem como Sumo Bem, mas se esforçava por deduzir o bem do útil (Heller, 1983, p. 65)*

Este processo é fruto de uma ideologia que, para estabelecer novos critérios de verdade, transforma a própria ciência em fetiche:

*a vítrea ideologia de fundo hoje dominante, que transforma a ciência em fetiche, é mais irresistível e mais abrangente do que as ideologias do tipo antigo, pois com o velamento das questões práticas, ela não somente justifica um interesse de dominação parcial de uma classe determinada e oprime a necessidade parcial de emancipação por parte de outra classe, como também atinge o interesse emancipatório da espécie humana, como tal (Habermas, 1980, p. 335).*

Esta abordagem torna-se necessária no momento em que assumimos que, para pensar a química em sua totalidade, não podemos trabalhar a partir de restrições. Nesse sentido, a leitura do real insere-se num processo contínuo de análise, reflexão e crítica.

O desmembrar, o desvendar são condições a priori quando colocamos em questão a objetividade da ciência, pois esta

objetividade, enquanto interesse de uma classe social, está encoberta nas múltiplas aparências.

*Este interesse de caráter prático do conhecimento no domínio dos processos objetivos pode sofrer um processo de formalização de tal forma que no impulso que leva ao conhecimento nas ciências empíricas ele desaparece enquanto tal (Habermas, 1980, p. 295).*

#### 4.3. Resumo

A partir daqui, procurarei mostrar, através de uma trilogia, a produção social de uma objetividade e a conseqüente construção da química, em um processo onde a relação do homem com o conhecimento vai se moldando dentro de um determinado projeto social.

A trilogia trata, na primeira parte (Capítulo I), dos processos desencadeados no final do século XVIII e início do século XIX, momento em que, especialmente a química, se caracteriza enquanto uma "ciência moderna", afastando de si os últimos elementos mágicos. Neste período, são institucionalizados os mecanismos para produção e reprodução das ciências

Na segunda parte (Capítulo II), trato da trajetória de uma idéia, de uma busca, do processo pelo qual a construção de um modelo explicativo acaba por transcender às concepções vigentes, mostrando como a teoria atômica vai de uma

especulação filosófica a um modelo explicativo, e transcende a todos os paradigmas vigentes.

E finalmente, a terceira parte (Capítulo III), refere-se ao desenrolar dos acontecimentos a partir da segunda metade do século XIX, que mostram como a relação da produção científica com a indústria capitalista se estabelece, e a química, que se concebe enquanto uma forma de dominar os mecanismos de transformação da matéria, passa a ser um elemento das relações de dominação entre os homens.

Para fazer esta leitura analiso as possibilidades da aplicabilidade desta ciência, em particular as suas relações com o desenvolvimento da indústria moderna, e os processos de produção e reprodução de conhecimento, bem como os mecanismos de apropriação deste conhecimento por quem detém os meios de produção.

Nessas três partes, procurei sempre fazer uma exposição reflexiva, colocando algumas questões sobre a produção histórica existente, e fazendo algumas análises. Finalmente, nas considerações finais, busco uma síntese das idéias expostas na trilogia.

## CAPÍTULO I

### O MURO

#### 1. O cenário e os protagonistas dos acontecimentos

A partir da constatação de que o período a ser trabalhado começa ao final do século XVIII, cabe aqui buscarmos as condições, os lugares e os protagonistas do "despertar" da química moderna.

Cidades sujas, fétidas, ruas alagadas por uma mistura de excrementos e lixo, cemitérios que exalam o fedor dos corpos em decomposição, pestes, doenças, uma vida curta e dura para a maioria das pessoas.

Luxo, castelos finamente decorados, roupas com muitas rendas, perucas, sapatos, botas, luvas, chapéus, objetos de arte, objetos de uso pessoal, louças, talheres, perfumes, pessoas preocupadas com os mais "nobres sentimentos", com suas paixões, com sua vida social.

Austeridade, limpeza, vida reservada, sem muitos luxos, mas com muito conforto, dinheiro, fortuna e trabalho, propriedades, títulos, relações comerciais, interesses. Visões

de um mundo novo, gosto pela ordem, pelo progresso, pela produção e acúmulo das riquezas.

Ao olharmos para o final do século XVIII, os protagonistas desta história estão nos salões da nobreza, nas ruas, trabalhando nas fábricas, dirigindo os seus negócios, ou dentro de um banco. Serão filhos de nobres decadentes, funcionários públicos, operários, pastores, artesãos, enfim, serão filhos do seu tempo. Participarão das revoluções, contribuirão para a queda de governos, criarão novos impérios, ganharão muito dinheiro e condenarão muitos homens a uma existência infeliz. Criando coisas novas, até então desconhecidas, combaterão os maus odores, as doenças, a fome, mas também mostrarão o seu poder nefasto, seu imenso poder de destruição. Serão capazes de enfrentar uma série de problemas ligados à materialidade, de criar e destruir coisas, enfim, de dar possibilidades para se refazer aquele mundo, aquela forma de viver.

Estas possibilidades, então, afinam-se a diversos projetos, mas principalmente ao das classes emergentes, que vêm, a partir das novas formas de organização da produção (modo capitalista de produção), um novo projeto para organizar a sociedade, tomando como princípio a sociedade de classes. Buscam reordenar materialmente a forma de viver, criando uma nova ordem social e concretizando-a na organização das cidades, das

fábricas, das escolas, dos hospitais, das prisões, enfim, de todos os espaços, sejam eles privados ou públicos.

Neste novo mundo, o conhecimento sobre a matéria, definido como conhecimento químico, começa a mostrar-se enquanto um instrumento de intervenção na produção e na solução de alguns problemas. Isto criará um espaço cada vez maior para os detentores deste conhecimento - os nossos protagonistas. Eles serão chamados para resolver diversos problemas que surgem na produção industrial, na desodorização das cidades, na iluminação das ruas, na produção de fertilizantes, etc.

### 1.1. O parisiense Lavoisier

Antoine Laurent Lavoisier, nascido no dia 26 de agosto de 1743, em Paris, era filho de Jean Antoine e Emilie Punctis. Os pais pertenciam a famílias de posses (*grands bourgeois*), sendo que seu pai era advogado, e ocupava o cargo de procurador no Parlamento de Paris. A vida de Lavoisier e a sua produção serão marcadas por rupturas. Considerado revolucionário para a ciência, morrerá guilhotinado no desenrolar da Revolução Francesa, não por suas idéias científicas, mas pela sua participação na odiosa Ferme Générale<sup>7</sup>.

---

<sup>7</sup>Lavoisier foi guilhotinado em 8 de maio de 1793. O principal motivo que levou à sua condenação foi o fato de ter sido *fermier général*.

A *Ferme Générale* era uma companhia privada, que tinha concessão do Estado para arrecadar impostos indiretos em troca de uma quantia fixa que o concessionário devia pagar para o governo. Os *fermiers* eram considerados

A Paris, onde Lavoisier vive, é um dos nossos cenários. Limpar e ordenar Paris, uma preocupação que revela um projeto de um novo ideal de sociedade. Muitos dos químicos irão compartilhar desses ideais, dos novos projetos sociais. Lavoisier em muitos momentos expressa preocupação com a limpeza das cidades:

*Berna, observa com admiração Lavoisier em 1780, é a cidade que melhor se mantém limpa. Os forçados "arrastam todas as manhãs, pelas ruas (...), grandes carroças de quatro rodas por um timão ao qual se acham acorrentados; correntes mais longas e mais leves mantêm ligadas às mesmas carroças mulheres condenadas pela justiça (...); uma metade dessas mulheres varre as ruas, enquanto a outra metade enche a carroça com as imundícies" (Corbin, 1987, p. 123).*

Os trabalhos de Lavoisier expressam também outras preocupações, como o seu premiado "Mémoire sur le meilleur système d'éclairage de Paris" (Relatório sobre o melhor sistema de iluminação de Paris), de 1766, ou seus trabalhos relativos a produção de salitre e agricultura, que já vislubram as possibilidades da nova ciência.

Tais preocupações refletem, a princípio, uma nova concepção das ciências, em particular da química, que passa a ser vista como possibilidade para a resolução de alguns problemas. Esta nova concepção é, até certo ponto, a expressão de um determinado projeto social, que coloca problemas e atrai a atenção dos sábios para a sua resolução. Dentre as questões

---

"sanguessugas públicos". Em 1768 Lavoisier passou a fazer parte da Ferme (cf. Tosi, 1989).

colocadas, a da desinfecção e desodorização das cidades foi uma que atraiu a atenção dos sábios naquele momento.

*Em 1777, a desinfecção das fossas é posta em concurso. Mais de vinte sábios, e não dos menores (Fourcroy, Guyton de Morveau, Hallé, Lavoisier, Parmentier, Pilâtre de Rozier...), participam dos trabalhos e tentam, graças à análise dos gases mefíticos, descobrir o melhor dos desinfetantes. Trata-se de desativar os fedores e assim garantir a inocuidade da drenagem (Corbin, 1987, p. 125)*

*A partir da metade do século XVIII, é às dezenas que se sucediam os procedimentos destinados a desinfetar as matérias fecais. Em 1856, Sponi registra a lista dos projetos formulados desde 1762. Enumera não menos de 47. Durante quase um século, os maiores sábios experimentam, refletem. Pode-se dizer, sem exagerar, que não há um único químico eminente que não tenha feito ensaios de desodorização dos excrementos (Corbin, 1987, p. 161).*

No processo de reorganização das cidades, os médicos tomarão da química uma série de argumentos, justificando as medidas propostas. Químicos e médicos tornam-se, então, parceiros no pensar esta nova ordem social. E, assim, as novas ciências, enquanto capazes do uso de argumentos inquestionáveis, que dão as diretrizes para a transformação das cidades, vão redefinindo os espaços segundo os novos princípios. Mas estas medidas saneadoras são, antes de tudo, segundo Foucault, uma idéia política expressa pelos médicos, com argumentos das novas ciências, entre elas, a química, como mostra na transferência do cemitério de Paris.

*Melhor prova é que, quando se pensou na transferência do Cemitério dos Inocentes, de Paris, apelou-se para Fourcroy, um dos grandes químicos do final do século XVIII, a fim de saber o que se devia fazer contra a influência desse cemitério. É o químico que pede a transferência do cemitério. É o químico, enquanto estuda as relações entre o*

*organismo vivo e o ar que se respira, que é encarregado dessa primeira polícia médica urbana sancionada pelo exílio dos cemitérios. Outro exemplo é o caso dos matadouros que também estavam situados no centro de Paris e que se decidiu, depois de consultada a Academia de Ciências, colocar nos arredores de Paris, a oeste, em la Vilette (Foucault, 1979, p. 90).*

### 1.2. A ciência burguesa

Nesta nova estratégia de ordenação social, a química ganha o seu status de uma ciência capaz de dar respostas aos problemas que a nova sociedade deve enfrentar pois, para se tornar saudável, é necessário uma medicalização das cidades, mas que deve ser feita segundo critérios que provem, a princípio, serem verdadeiros e incontestáveis. Foucault aponta diversas razões que tornam importante esta medicalização, entre elas:

*Por intermédio da medicina social urbana, a prática médica se põe diretamente em contato com ciências extra-médicas, fundamentalmente a química. Desde o período confuso em que Paracelso e Van Helmont procuravam estabelecer as relações entre medicina e química, não houve mais verdadeiras relações entre as duas. Foi precisamente pela análise do ar, da corrente de ar, das condições de vida e de respiração que a medicina e a química entraram em contato. Fourcroy e Lavoisier se interessaram pelo problema do organismo por intermédio do controle do ar urbano. A inserção da prática médica em um *corpus* de ciência físico-química se fez por intermédio da urbanização. A passagem para uma medicina científica não se deu através da medicina privada, individualista, através de um olhar médico mais atento ao indivíduo (Foucault, 1979, p. 92).*

Conquistando assim o seu papel, a química insere-se diretamente em novos projetos sociais<sup>8</sup>. A Revolução Francesa faz isto de uma forma radical, criando as condições para que as ciências se estabeleçam. Desse modo, o seu ensino é estabelecido na criação das escolas técnicas e da Politécnica, ao mesmo tempo em que as corporações, um símbolo do velho modo de organizar o trabalho e a aprendizagem, são desfeitas, como mostra a passagem de Nikolaus Pevsner, citado por Gama:

*"Não é simples coincidência o fato de que, logo após a dissolução das corporações na França, em 1791, tivessem sido fundados a Escola Politécnica (1795) e o Conservatório de Artes e Ofícios (1798) e fosse organizada a primeira Exposição Nacional da Indústria (1798). A substituição do artesanato pela indústria é obra do Terceiro Estado" (Gama, 1986, p. 120).*

Esta revolução, chamada também de "Revolução Burguesa", traz não só as concepções de mundo de uma nova classe, mas um projeto de sociedade, no qual a vida, nos seus mínimos detalhes, é repensada, pois visa uma nova forma de se produzir e distribuir as riquezas, para uma sociedade que se organiza segundo uma nova ética e moral.

As ciências da natureza passam a ser vistas não somente pelas possibilidades que apresentam, enquanto capazes de

---

<sup>8</sup>Uma passagem de Corbin é muito ilustrativa: "Longe dos odores do povo (...), a burguesia, desajeitadamente, trata de purificar o hálito da casa. Latrinas, cozinha, gabinete de toalete pouco a pouco deixarão de exalar seus insistentes aromas. A química de Lavoisier permite a definição de normas precisas de aeração. A sala e o quarto se querem disponíveis para novas e sábias encenações olfativas. Os odores importunos não mais virão animar o quarto, templo da vida privada, espaço da intimidade, construído 'em abismo' (\*) no coração da esfera doméstica" (Corbin, 1987, p. 293).

(\*) Isto é, numa repetição ao infinito. (N.T)

dar respostas aos problemas colocados, ou imaginados, mas também como uma propriedade, como algo passível de ser apropriado. Esta apropriação dar-se-á de diversas formas, seja individualmente, seja através do controle dos processos e meios de reprodução e produção de conhecimento. Segundo Ginzburg:

*Há uma verdadeira ofensiva cultural da burguesia, que se apropria de grande parte do saber, indiciário e não-indiciário, de artesãos e camponeses, codificando e simultaneamente intensificando um gigantesco processo de aculturação, já iniciado (obviamente com formas e conteúdos diversos) pela Contra-Reforma. O símbolo e o instrumento central dessa ofensiva é, naturalmente, a **Encyclopédie** (Ginzburg, 1989, p. 167).*

Se a Revolução Francesa parece ter sido tão importante para o desenvolvimento das ciências, vemos que, no decorrer do século, o crescimento da produção científica e o uso cada vez maior dos seus produtos, isto é, o que definiremos como o seu desenvolvimento, não estão atrelados diretamente aos processos políticos, sendo que este fator, em nenhum momento, pode ser desconsiderado.

O que não podemos negar é que, no período que compreende o final do século XVIII e o início do século XIX, são estabelecidas algumas condições que serão determinantes nos processos posteriores. Coloco aqui, entre as principais, as transformações e o estabelecimento das ciências naturais, e os mecanismos para produção e reprodução do conhecimento científico, já identificado como um integrante de uma forma de organizar e transformar materialmente a sociedade.

Mas que fatores permitem o estabelecimento das ciências? Como já foi dito, não serão apenas os de ordem política, pois temos também as questões econômicas, as novas ideologias, e os fatores internos às próprias ciências. A química, particularmente, sofrerá uma verdadeira revolução, rompendo velhos laços, tornando-se uma ciência com uma organização racional e materialista.

## 2. A ruptura na química

Se, ao analisarmos as transformações políticas, econômicas e sociais no final do século XVIII e início do XIX, encontramos os espaços possíveis para o desenvolvimento da química, cabe aqui perguntarmos: como tal desenvolvimento se dá internamente?

Para fazermos esta análise interna, podemos seguir diversos caminhos. Na historiografia clássica, toma-se como marco o estabelecido, ou seja, aquilo que se perpetuou. Embora o objetivo aqui não seja definir marcos, tomarei como ponto de referência a obra de Lavoisier, conhecido como o *fundador da química moderna*.

Para melhor situar a obra de Lavoisier, e o seu significado para a química da segunda metade do século XVIII, vou apresentar um trecho do panorama da química em 1779, que

aparece na obra de Heinrich Rheinboldt, obra sobre a vida de Berzelius<sup>9</sup>.

1779 - Em Paris, Antoine Laurent Lavoisier (1743-1794) havia enunciado, há dois anos, sua teoria da combustão e calcinação, entrando em luta contra o sistema do flogisto: encontra-se, porém, ainda só, sem um único partidário de sua idéia reformatária. (...) A Inglaterra é o berço da química pneumática. Joseph Priestley (1733-1804) e Henry Cavendish (1731-1810) descobrem e estudam uma série de matérias gasosas. O ar atmosférico, há poucos anos, tinha desaparecido da lista dos elementos primogênitos; conhecem-se qualitativamente seus componentes; sua composição volumétrica torna-se conhecida só dois anos depois de nossa data. A água continua ainda como um dos elementos aristotélicos. A transmutação da "água" em "terra" foi definitivamente refutada, há apenas seis anos, pelas experiências de Lavoisier e de C. W. Scheele. (...) Das substâncias simples conhecem-se somente vinte e três, isto é, a quarta parte dos atuais elementos químicos naturais. Mas o conceito de substância simples, especialmente o conceito experimental, ainda não se acha estabelecido com clareza; de nenhuma dessas substâncias é provado seu caráter elementar. Nenhuma lei quantitativa existe que se refira à composição da matéria. Nenhuma nomenclatura uniforme ou racional existe; os nomes e símbolos continuam a ser aqueles dos alquimistas ou dos flogistianos. Nenhuma revista especializada de Química existe; (...) Poucos tratados especiais existem: usam-se ainda o Cours de Chimie (primeira edição, Paris, 1675) de Nicolas Lémery (1645-1715) em suas muitas edições e traduções, os Elementa Chemiae de Hermann Boerhaave (1668-1738), de 1732, também várias vezes editados e traduzidos, e na França os Éléments de Chimie Théorique et Pratique (1749 e 1751) de Pierre Joseph Macquer (1718-1784), baseados no sistema flogístico (...) (Rheinboldt, 1988, p. 13).

---

<sup>9</sup>1779 foi o ano do nascimento de Berzelius. Rheinboldt (1988) faz uma relação dos futuros homens de ciência que são contemporâneos de Berzelius, entre eles estão: Joseph Louis Gay-Lussac (1778-1850), Humphry Davy (1778-1829), Amedeo Avogadro (1766-1856), Thomas Thomson (1773-1852), John Dalton (1766-1844) e Jeremias Benjamin Richter (1762-1807).

## 2.1. Lavoisier e o novo olhar sobre a natureza

Lavoisier, como a maioria dos homens cultos da sua época, teve uma formação eclética. Por pertencer a uma família rica, estudou no famoso Collège Mazarin e prosseguiu seus estudos na universidade, licenciando-se em direito em 1764.

*Durante a sua vida universitária demonstrou, sobretudo, interesse pelas ciências, seguindo cursos de professores renomados: o botânico Bernard de Jussieu (1699-1777), o matemático Nicholas Louis de Lacaille (1713-1762), o químico Guillaume François Rouelle (1703-1770) e o geólogo Jean-Etienne Guettard (1715-1786), este último considerado um dos fundadores da geologia moderna. Outra figura relevante dessa época, que contribuiu notavelmente à sua formação, foi Etienne Bonnot de Marly de Condillac (1715-1780) cujos princípios de lógica Lavoisier adotou, valendo-se deles na construção do seu tratado (Tosi, 1989, p. 34).*

A sua vida profissional foi marcada pelo exercício de vários cargos. Lavoisier, que desde 1768, fazia parte da Ferme Générale, ingressou na Régie des poudres et salpêtres (Administração de pólvora e salitre) em 1775 e, em 1776, nomeado régisseur (administrador), passou a morar no Arsenal, onde ficou até 1791.

*Ali instalou o seu famoso laboratório que continha os aparelhos mais precisos da época. Ali se reuniam os sábios franceses e os estrangeiros de passagem por Paris, para presenciar as históricas experiências que ele fazia com os seus colaboradores. Nesse laboratório, estiveram famosos cientistas da época como Priestley, Watt e Blagden da Inglaterra, Ingenhousz da Holanda, Franklin dos EE.UU., Felice Fontana da Itália, etc (Tosi, 1989, p. 35).*

Lavoisier ocupou cargos administrativos: no Banco de Descontos, na Comissão de Moedas e fez parte do Comité des

*Poids et Mesures* (Comissão de Pesos e Medidas), criado em 1791, no qual ocupou as funções de secretário e tesoureiro. Teve cargos políticos, participou da Assembléia provincial da região de Orléans, a partir de 1787, e foi eleito em 1789, membro da Assembléia de representantes do município de Paris. Participou ativamente da *Académie Royale des Sciences* (Academia Real de Ciências), na qual ingressou em 01 de junho de 1768, com apenas 24 anos, chegando a diretor, em 1785. Foi também nomeado membro da *Société d'Agriculture* (Sociedade de Agricultura).

O seu trabalho científico levou-o a diversas conquistas. Já nos primeiros trabalhos, rompe com algumas verdades estabelecidas. Um exemplo é a série de experiências que realiza em 1768 para testar a hipótese de van Helmont (1577-1644), de que a água se transformava em terra. Lavoisier faz suas experiências em um pelicano<sup>10</sup>, mantendo ali, durante 101 dias, um banho a temperatura de aproximadamente 70° Réaumur<sup>11</sup>. Após este período, mostrou que o peso do pelicano com a água se manteve inalterado, depois destilou a água e mostrou que o peso do pelicano, mais o resíduo terroso que se formou, correspondia ao peso inicial do pelicano. A primeira observação de Lavoisier demonstrou que a "matéria fogo" não penetrava no pelicano, e a

---

<sup>10</sup>O pelicano era um balão provido de uma cucúrbita, da qual saíam dois tubos que comunicavam com o primeiro. Fechado hermeticamente permitia aquecer líquidos a refluxo durante muitas horas. (cf. Tosi, 1989, p. 36 e 54).

<sup>11</sup>Vale notar que 1° Réaumur equivale a 1,25° Celsius.

segunda, que o resíduo nada mais era que o resultado do desgaste do pelicano. Neste trabalho, Lavoisier já demonstra uma nova forma de encarar os problemas químicos.

*Nesse primeiro trabalho, Lavoisier mostra bem claramente quais as características de sua mente e de sua obra científica. Concentra a sua atenção nas correlações ponderais e adota como critério fundamental o princípio que depois seria chamado de conservação da massa (Tosi, 1989, p. 36).*

Os próximos trabalhos de Lavoisier envolverão a combustão de metais. Em 1772, ele já relata à Academia de Ciências suas observações sobre o aumento de peso dos metais durante a combustão. A continuidade destas e outras experiências levará Lavoisier a reunir dados para questionar a teoria do flogístico, que, naquela época, era aceita por todos. Os adeptos da teoria do flogístico explicavam o aumento de peso dos metais durante a calcinação, pela perda do flogístico, que, neste caso, teria um peso negativo. Em 1774, Lavoisier conclui que:

*a oxidação dos metais por via seca ou úmida, assim como a combustão do fósforo, eram acompanhadas pela fixação de uma parte do ar e que existia uma relação constante entre o aumento de peso do metal ou do fósforo e a diminuição de volume do ar (Tosi, 1989, p. 38).*

Posteriormente, surgem as memórias<sup>12</sup> que darão origem às polêmicas sobre a descoberta do oxigênio.

---

<sup>12</sup>"A partir de 1777 Lavoisier começa a sua luta, cada vez mais intensa, contra a teoria do flogisto, a qual se manifesta em três memórias apresentadas à Academia: *Memoire sur la combustion en général*, de 12 de novembro de 1777, *Reflexions sur la calcination et la combustion, à l'occasion d'un ouvrage intitulé: Traité chimique de l'air et du feu*, de dezembro (01 a 07) de 1781 e *Reflexions sur le phlogistique pour servir de suite à la théorie de la combustion et de la calcination publiée en 1777*, de 28 de junho de 1785" (Tosi, 1989, p. 41).

*Pelo menos três sábios têm direito a reivindicá-la e além disso, por volta de 1770, vários outros químicos devem ter produzido ar enriquecido num recipiente de laboratório, sem o saberem. Nesse exemplo tirado da Química Pneumática, o progresso da ciência normal preparou o caminho para uma ruptura radical. O farmacêutico sueco C. W. Scheele é o primeiro cientista a quem podemos atribuir a preparação de uma amostra relativamente pura do gás. Contudo, podemos ignorar o seu trabalho, visto que só foi publicado depois de a descoberta do oxigênio ter sido anunciada repetidamente em outros lugares.(...) O segundo pretendente à descoberta foi o cientista e clérigo britânico Joseph Priestley, que recolheu o gás liberado pelo óxido de mercúrio vermelho aquecido. Esse trabalho representava um dos itens de uma prolongada investigação normal acerca dos "ares" liberados por um grande número de substâncias sólidas. Em 1774, Priestley identificou o gás assim produzido como óxido nitroso. Em 1775, depois de novos testes, identificou-o como ar comum dotado de uma quantidade de flogisto menor do que a usual. Lavoisier, o terceiro pretendente, iniciou as pesquisas que o levariam ao oxigênio após os experimentos de 1774 de Priestley, possivelmente devido a uma sugestão desse último. No início de 1775, Lavoisier escreveu que o gás obtido com o aquecimento do óxido vermelho de mercúrio era "o próprio ar, inteiro, sem alteração (exceto que)... surge mais puro, mais respirável". Por volta de 1777, provavelmente com a ajuda de uma segunda sugestão de Priestley, Lavoisier concluiu que esse gás constituía uma categoria especial, sendo um dos dois principais componentes da atmosfera - conclusão que Priestley nunca foi capaz de aceitar (Kuhn, 1978, p. 79-80).*

Mas, o que se pronunciava, nesse momento, era uma verdadeira revolução dentro da química, que ia muito além da descoberta de um determinado elemento químico.

Uma passagem da memória de 1785 (Reflexões sobre o Flogístico), mostra-nos o sentido desta luta para Lavoisier, que vê, nesse momento, o nascimento de uma nova química:

*"Nesta memória não tive outro objetivo que o de dar novos desenvolvimentos à teoria da combustão que publiquei em 1777, de fazer ver que o flogisto de Stahl é um ser imaginário cuja suposta existência nos metais, no enxofre,*

*no fósforo e em todos os corpos combustíveis é gratuita: que todos os fenômenos da combustão e da calcinação se explicam de uma maneira muito mais simples e muito mais fácil sem flogisto que com flogisto. Não espero que as minhas idéias sejam logo adotadas; o espírito humano se aferra a uma maneira de ver e aqueles que têm encarado a natureza sob um certo ponto de vista durante uma parte de sua carreira se adaptam com dificuldades às idéias novas; é hora, portanto, de conformar ou destruir as opiniões que apresentei. Entrementes, vejo com grande satisfação que os jovens que começam a estudar a ciência sem preconceitos, que os geômetras e os físicos, que têm a cabeça limpa para considerar as verdades químicas, não acreditam mais no flogisto no sentido apresentado por Stahl e olham toda essa doutrina como um andaime mais embaraçoso que útil para construir o edifício da ciência química" (Tosi<sup>13</sup>, 1989, p. 42-43).*

Outros trabalhos de Lavoisier merecem destaque, como as experiências sobre a síntese e a composição da água. Em 1784, Lavoisier e Laplace, em uma comunicação à Academia de Ciências, já admitem que a água não é uma substância simples. Mas a demonstração de que a água não era um elemento, e a definição da sua composição faziam parte da luta de Lavoisier contra a teoria do flogístico.

Entre 27 de fevereiro e 12 de março de 1785, no Laboratório do Arsenal, Lavoisier e Meusnier fazem uma série de experiências sobre a síntese e a decomposição da água, na presença de um grande número de convidados e comissários designados pela Academia. Neste experimento, uma grande

---

<sup>13</sup>A autora cita trechos das seguintes obras: Antoine Laurent Lavoisier. *Oeuvrés*. Tome I, II, IV. Imprimerie Impériale.(1864); *Oeuvres de Lavoisier*. Correspondance. Recueillie et annotée par René Fric, Fascicule II, 1770-1775. Paris. (1957); *Oeuvres de Lavoisier*. Correspondance. Fascicule IV, 1784-1786. Annexe IV. Editions Belin. Paris. (1986); *Observations sur la Physique, sur l'Histoire Naturelle et sur les Arts*. Tome II, Février. (1774) et Second partie, Avril (1774); *Observations sur la Physique*. Tome XXIII (2). (1783). (cf. Tosi, 1989).

quantidade de água era decomposta. "Depois sintetizava-se a água partindo do hidrogênio recolhido e de oxigênio (obtido do *mercurius precipitatus per se*), os quais se faziam entrar em um balão tarado onde se realizava a combustão" (Tosi, 1989, p. 46).

Lavoisier também realizará experiências calorimétricas, experiências sobre a respiração, sobre ácidos, e criará um método de análise elementar das substâncias orgânicas. Mas, tão importante quanto as suas descobertas, é o seu trabalho de sistematização da nova química. Ele participará da elaboração de uma nova nomenclatura química; trabalhando com Guyton de Morveau, Berthollet e Fourcroy, os resultados destas pesquisas serão publicados em 1787, com o título de "Méthode de Nomenclature Chimique".

Em 1789, será publicado o "Traité Élémentaire de Chimie", síntese da obra e do pensamento químico de Lavoisier, onde estão presentes os seus conceitos e a nova nomenclatura. Descreverá aparelhos e operações químicas e demonstrará a importância dos métodos quantitativos, tratando também da determinação de pesos específicos e balanças, gasometria e calorimetria, que "constituem uma verdadeira novidade nas obras de química da época" (Tosi, 1989, p. 50). Outra novidade nesta obra é o aparecimento, pela primeira vez, de uma tabela das

substâncias simples, ou seja, dos elementos<sup>14</sup>. Neste mesmo ano, Lavoisier e seus colaboradores fundam a primeira revista especializada de química, os "Annales de Chimie".

*Qualquer que ele seja, e sem minimizar de nenhum modo o papel dos numerosos atores de uma cena em pleno desenvolvimento no curso dos últimos quarenta anos do século das luzes, pode-se considerar que a publicação, em 1789, do Tratado elementar de química, marca verdadeiramente o nascimento da química moderna (Rosmorduc, 1988, p. 104).*

Segundo Bernal: "Lavoisier mostrou que todos os fenômenos químicos, anteriormente tão caóticos, podiam ser ordenados numa lei de combinação de elementos velhos e novos" (Bernal, 1976, p. 638). O trabalho de Lavoisier, chamado de *pai da química moderna*, dá à França o título de berço desta ciência<sup>15</sup>.

Lavoisier publica o Tratado no ano da Revolução Francesa, e é guilhotinado em 1794, mas o seu trabalho terá grande influência no desenvolvimento da química, não só por suas descobertas, mas também, e talvez principalmente, pela nova forma de se trabalhar com a matéria.

---

<sup>14</sup>"Com a publicação em 1789, dos Elementos de Química de Lavoisier, a Ciência em apreço rompeu todos os vínculos remanescentes, que a ligavam ao passado da Alquimia, e assumia uma feição moderna. Lavoisier dava ênfase à importância dos métodos quantitativos de investigação, nos domínios da Química, e em relação a isso introduziu o princípio da conservação da matéria, que enunciava que nada era perdido ou ganho, no decurso de uma reação química, sendo o peso dos produtos igual ao das substâncias iniciais.(...) e catalogou cerca de vinte e três elementos autênticos, por ele conhecidos" (Nason, 1962, p. 367).

<sup>15</sup>"A química, como a física, foi proeminentemente uma ciência francesa. Seu verdadeiro fundador, Lavoisier (1743-94), publicou o seu fundamental Tratado Elementar de Química no próprio ano da revolução, e a inspiração para os avanços químicos, e especialmente a organização da pesquisa química em outros países - mesmo naqueles que viriam a ser mais tarde os principais centros da pesquisa química, como a Alemanha - foi primeiramente francesa" (Hobsbawn, 1977, p. 305).

O seu trabalho não foi algo isolado. E, em alguns casos, como no estudo do oxigênio, já existiam os trabalhos de Priestley e Scheele. O grande mérito do seu trabalho está em ser uma síntese de novas idéias, representando uma nova forma de pensar sobre a matéria, de ver coisas que até então pareciam impossíveis aos velhos olhares<sup>16</sup>.

Outra característica do seu trabalho foi o uso cuidadoso da balança. O uso preciso deste instrumento possibilitou a ele o desvelamento de muitos fatos, que possivelmente eram, até então, negligenciados pelos outros, como ocorreu nas experiências com a oxidação dos metais. Lavoisier realizou as experiências considerando um fator negligenciado anteriormente: o peso do ar que havia antes e depois da oxidação.

*Notou, então, que as duas medidas diferiam por um valor muito próximo àquele correspondente ao aumento de massa do metal oxidado. Além disso, também mostrou que existe um limite quanto à capacidade do ar em manter a calcinação (isto é, a oxidação) de um metal nele aquecido (Abramo, 1972, p. 238).*

O exemplo mais significativo do trabalho de Lavoisier é a sua conhecida *Lei da Conservação das Massas*.

---

<sup>16</sup>"Como dissemos, Lavoisier viu oxigênio onde Priestley vira ar desflogistizado e outros não viram absolutamente nada. Contudo, ao aprender a ver o oxigênio, Lavoisier teve também que modificar sua concepção a respeito de muitas outras substâncias familiares. Por exemplo, teve que ver um mineral composto onde Priestley e seus contemporâneos haviam visto uma terra elementar. Além dessas, houve ainda outras mudanças. Na pior das hipóteses, devido à descoberta do oxigênio, Lavoisier passou a ver a natureza de maneira diferente. Na impossibilidade de recorrermos a essa natureza fixa e hipotética que ele 'viu de maneira diferente', o princípio de economia nos instará a dizer que, após ter descoberto o oxigênio, Lavoisier passou a trabalhar em um mundo diferente" (Kuhn, 1978, p. 153).

Conclusão que só é possível quando as medidas quantitativas são precisas.

Até o final do século XVIII, aparecerão trabalhos que são decorrentes da obra de Lavoisier. O primeiro deles é a "lei das proporções equivalentes", formulada em 1791 por Jeremiah Richter (1762-1807), químico das minas de Breslau e da fábrica de porcelana de Berlim. Em 1797, é formulada a "lei das composições constantes", pelo francês Proust (1755-1826), professor de química em Madrid.

Se, por um lado, o trabalho de Lavoisier abre novas perspectivas, principalmente no que diz respeito aos aspectos quantitativos da matéria, por outro, no que se refere aos aspectos qualitativos, cria um vácuo, pois todo um conjunto de explicações dadas pela teoria do flogístico perde o seu sentido.

*Antes da revolução química, uma das tarefas reconhecidas da Química consistia em explicar as qualidades das substâncias químicas e as mudanças experimentadas por essas substâncias durante as reações. Com auxílio de um pequeno número de "princípios" elementares - entre os quais o flogisto - o químico devia explicar por que algumas substâncias são ácidas, outras metálicas, combustíveis e assim por diante. Obteve-se algum sucesso nesse sentido. Já observamos que o flogisto explicava por que os metais eram tão semelhantes e poderíamos ter desenvolvido um argumento similar para os ácidos. Contudo, a reforma de Lavoisier acabou eliminando os "princípios" químicos, privando desse modo a Química de parte de seu poder real e de muito de seu poder potencial de explicação. Tornava-se necessária uma mudança nos padrões científicos para compensar essa perda. Durante grande parte do século XIX uma teoria química não era posta em questão por fracassar na tentativa de explicação das qualidades dos compostos (Kuhn, 1978, p. 141).*

Independente das conclusões a que chegou, talvez o mais importante na obra de Lavoisier não esteja nos resultados, nas possíveis descobertas que são atribuídas a ele, ou nas leis que formulou, mas sim na forma como encarou os problemas, no seu olhar sobre o mundo material, na natureza que construiu.

O trabalho de Lavoisier não tem apenas o significado de romper com um determinado modelo explicativo: ele permite um avanço na materialização e quantificação do tratamento da matéria, isto é, a objetivação do trabalho do químico torna-se cada vez maior, respaldada por novos processos de análise e possibilidades técnicas de uma quantificação mais apurada dos fatos observáveis.

## 2.2. Le mur murant Paris rend Paris murmurant<sup>17</sup>

Para evitar o contrabando em Paris, Lavoisier propôs a construção de um muro ao redor da cidade. Com uma certa demora, e depois de gastar mais de 30 milhões de libras, o muro foi concluído. Este muro, que foi execrado pelos parisienses, vai servir para uma analogia com o mais popular dos princípios postulados por Lavoisier: o da conservação das massas.

---

<sup>17</sup>Ditado popular do período: "O muro que mura Paris torna Paris murmurante" (Tosi, 1989, p. 36).

O muro, que servia para controlar a entrada e a saída de mercadorias de Paris, evitava também que quem estivesse do lado de fora visse o que estava ocorrendo na cidade. Os observadores externos apenas ouviriam os murmúrios da cidade.

Assim podemos pensar a obra de Lavoisier, pois, ao estabelecer como princípio básico a conservação das massas, ele estabelece o controle sobre a entrada e saída de matéria em um sistema químico. A partir deste controle, é possível determinar uma relação quantitativa entre aquilo que entra no sistema e aquilo que sai; numa linguagem química, permitiu determinar uma relação entre reagentes e produtos, com a certeza de que nenhum "elemento imensurável" entraria ou sairia do sistema.

Em todas as suas experiências, Lavoisier procurou refutar a hipótese de que algum "elemento mágico" estivesse participando do processo químico, e o fez pela quantificação e por um rígido controle sobre o sistema químico observado.

Afastando dos sistemas químicos os "elementos mágicos", criou para os homens a possibilidade de conhecer e de interferir nos processos químicos que estavam ocorrendo. Já que era possível conhecer os participantes, o próximo passo a ser dado seria saber como eles se combinavam. No seu Tratado, Lavoisier já dá algumas pistas, ao se referir às afinidades químicas:

*"Esta lei rigorosa, da qual não devia afastar-me, de não concluir nada mais além do que as experiências apresentam, e de jamais preencher o silêncio dos fatos, não me permitiu*

*incluir nesta obra a parte da química mais susceptível, talvez, de tornar-se um dia uma ciência exata: é a que trata das afinidades químicas ou atrações eletivas" (Tosi, 1898, p. 50).*

Ter este conhecimento significava um domínio sobre forças até então inatingíveis para os homens, forças capazes de unir e separar todos os seres.

### 2.3. Eros e Anteros entre os muros de Paris

Commelin, em seu livro "Mitologia grega e romana", descreve Eros e seu adversário Anteros como:

*Em grego, esse deus antigo, ou, antes, anterior a toda antiguidade, chama-se Eros. É ele que inspira ou produz essa simpatia invisível e freqüentemente inexplicável entre dois seres, para uni-los e procriar novos seres. A força de Eros se estende além da natureza viva e animada; ela aproxima, une, mistura, multiplica, varia as espécies de animais, de vegetais, de minerais, de líquidos, de fluidos, numa palavra, de toda a criação. Eros é, pois, o deus da união, da afinidade universal. Nenhum ser pode fugir da sua influência ou da sua força. Eros é invencível. No entanto, ele tem por adversário no mundo divino Anteros, isto é, a antipatia, a aversão. Essa divindade possui todos os atributos contrários aos do deus Eros: ela separa, desune, desagrega. Talvez tão salutar quanto Eros, tão forte e tão poderosa quanto ele, impede que os seres de natureza dissímil se confundam. Se por vezes semeia à sua roda a discórdia e o ódio, se prejudica a afinidade dos elementos, pelo menos a hostilidade que cria entre eles contém cada um em limites fixos e, assim, a natureza não pode voltar a cair no caos (Commelin, 1993, p. 6). [Grifos meus.]*

Lavoisier aprisiona entre os muros da sua cidade Eros e Anteros que agora já não podem mais ser concebidos como "elementos mágicos" que entram e saem dos corpos e, mesmo não conseguindo enxergá-los, ele sabe que eles estão lá; restará, pois, aos seus discípulos, encontrá-los e conquistá-los.

## CAPÍTULO II

### O ÁBACO

#### 1. A construção das idéias

Quando examinamos a história da química, uma série de questões nos são apresentadas como importantes, sendo comum a procura dos fatos mais significativos, das grandes descobertas e seus responsáveis. Assim, a pesquisa histórica, ou o relato histórico, tem a aparência de um inquérito policial, onde o que importa é apurar os fatos.

Mas, mesmo deixando de lado este enfoque de uma história inquisicional, é impossível escaparmos de uma simples idéia, de uma entidade: o átomo.

Talvez seja possível uma explicação psicológica. Já que a maioria das pessoas da minha geração, e eu não sou uma exceção, começou a estudar química a partir da teoria atômica da matéria, aprendemos antes de tudo: *a matéria é constituída por átomos.*

Independente de todos estes fatores, o mais interessante é a idéia em si, pois, dentro da química, ou da preocupação com a matéria, esta é, sem dúvida, uma idéia

apaixonante, pela sua história e pelo significado que tem na atualidade.

Se pegarmos alguns momentos considerados importantes para a formação da ciência contemporânea, vamos encontrar os atores destas mudanças envolvidos com esta idéia. Nos últimos quatro séculos, haverá uma preocupação com uma explicação sobre a constituição básica da matéria: no século XVII, com os mecanicistas, como Boyle e Newton; no início do século XIX, com Dalton e, posteriormente, como uma teoria amplamente debatida no decorrer do mesmo século.

No século XX, a "comprovação" da existência e o contato com uma nova realidade atômica trarão novas e espantosas possibilidades para a ciência e a técnica. Assim, o conhecimento atômico assume o centro dos novos modelos que a ciência toma para explicar o comportamento da matéria e das relações entre matéria e energia. Há uma transposição do modelo atômico tradicional, sendo o foco das preocupações os constituintes do átomo, isto é, as partículas subatômicas.

Neste capítulo, procurarei mostrar um pouco da trajetória desta idéia, resgatando a fala dos atomistas gregos, passando pelas concepções mecânicas dos séculos XVII e XVIII, chegando ao interior do debate no século XIX, e das conseqüentes rupturas no início do século XX. Farei também, algumas observações sobre as leituras diversas que a história das ciências tem feito ao tratar deste assunto.

### 1.1. Fragmentos de um átomo de 24 séculos

A idéia de átomo nos remete aos gregos, que já no século IV a.C., procuram explicar o mundo material, fugindo das explicações mágicas e religiosas. Para tal, fazem uso do atomismo, que pode ser considerado, antes de tudo, uma expressão do materialismo.

Os materialistas gregos procuravam, com sua doutrina, explicar o universo no seu todo. Assim, o atomismo aparece como uma cosmologia, para explicar a vida e a morte, estendendo sua concepção até a alma humana. Estas idéias representam uma forma de se ler o mundo, geradas em um momento em que a sociedade, as relações sociais e a organização material da vida se davam de formas particulares. Dos fragmentos dos textos clássicos que chegaram até nós, podemos retirar algumas falas sobre o atomismo. É como vermos apenas um fragmento de uma estátua grega - podemos imaginar o seu todo, mas nunca poderemos tê-la no todo.

Aqui vamos mostrar alguns fragmentos, sem fazer comparações com os modelos atuais. Somente para um contato com a idéia produzida em outro momento da história. Mas é comum em muitos textos aparecerem comparações, como veremos na obra da qual tiramos tais fragmentos, na qual há uma série de comentários, procurando estabelecer paralelos com os conhecimentos ou teorias atuais. Procedimento que é, no meu

entender, apenas um jogo, no qual as concepções produzidas em outro momento histórico são tratadas como preleções visionárias. Portanto, olharemos para os fragmentos como olhamos para um conjunto de fotos antigas, das quais não conhecemos a origem nem a autoria. Elas nos informam apenas pelo que trazem em si, pelas imagens que nos revelam. Esteticamente, podem nos parecer valiosas, pela riqueza dos detalhes, pelo enquadramento, pela luz; mas é impossível quereremos julgá-las comparando-as com fotos atuais, produzidas a partir de outras possibilidades técnicas.

Outro elemento importante para o porquê de termos uma atitude apenas de contemplação com tal produção, é que nem sempre a idéia é mostrada pelo seu autor, isto é, vamos encontrar referências a ela em escritos de discípulos, ou de comentadores e tradutores.

Um exemplo é a obra de Epicuro (341 - 270 a.C.), com a qual temos contato através de alguns fragmentos, nos quais estão expressas idéias atomistas. Mas Epicuro chega a tais idéias através de Nausífanos de Teo, discípulo do grande atomista Demócrito (460-370 a.C.). Demócrito, que nasceu em Abdera, uma colônia jônica na costa da Trácia, foi discípulo de Leucipo, e responsável pela sistematização do pensamento do seu mestre.

*Da vida de Leucipo, fundador da escola atomista de Abdera, quase nada se sabe, e mesmo seus seguidores, como Epicuro, chegaram a duvidar da sua existência. O local e a data de*

*seu nascimento também são incertos, mas acredita-se que tenha nascido em Mileto. Conta-se que teria escrito um livro, Grande Ordem do Mundo, cujo título foi dado provavelmente por Demócrito para diferenciá-lo de sua Pequena Ordem do Mundo (Valverde, 1987, p. 41).*

Mas da obra de Epicuro só encontramos fragmentos; vamos encontrar seus ensinamentos em Lucrécio, poeta romano que viveu provavelmente entre 96 e 55 a.C.

A leitura dos fragmentos dos textos de Epicuro e de Lucrécio deve ser feita, pois, levando-se em conta que perdemos o que lhes é mais característico: o pensar não fragmentado. Portanto não devemos procurar comparações, mas sim uma aproximação com os textos antigos, para uma melhor compreensão da origem de certas idéias. As inevitáveis referências aos conhecimentos atuais devem ser lidas levando-se em conta que tais conhecimentos são produzidos em outro contexto, onde se busca provar sua verdade, segundo critérios racionais.

Talvez a mais importante contribuição dos atomistas da Antigüidade tenha sido criar modelos que rompem com o universo perceptível, isto é, colocam a origem de tudo no infinitamente pequeno, em algo que os nossos sentidos são incapazes de alcançar.

## 1.2. Fragmentos dos atomistas<sup>18</sup>

### 1.2.1. Fragmentos da obra de Epicuro<sup>19</sup>:

*"Alguns corpos são compostos, e outros elementos dos compostos; e estes últimos são indivisíveis e imutáveis, visto que é forçoso que alguma coisa subsista na dissolução dos compostos; se assim não fosse, tudo deveria dissolver-se em nada. São sólidos por natureza, porque não têm nem onde nem como dissolver-se. De maneira que é preciso que os princípios sejam substâncias corpóreas e indivisíveis".*

*"Não é necessário supor que num corpo limitado existam corpúsculos em número infinito nem de qualquer tamanho. Por conseguinte, não só devemos excluir a divisão ao infinito, em partes cada vez menores para não privarmos o todo da capacidade de resistência e nos vermos constrangidos, na concepção dos compostos, a reduzir os seres ao nada mediante a compressão, como também não deve supor-se que nos corpos limitados exista a possibilidade de continuar passando até o infinito a partes cada vez menores. Porque, se se afirma que num corpo existem corpúsculos em número infinito e em todos os graus de pequenez, é impossível conceber como terminaria isto, e então como poderia ser limitada a grandeza de cada corpo? Qualquer que fosse a grandeza dos corpúsculos, também seria infinita a grandeza dos corpos".*

*"Os átomos têm uma inconcebível variedade de formas, pois que não poderiam nascer tantas variedades se as suas formas fossem limitadas. E, para cada forma, são absolutamente infinitos os semelhantes, ao passo que as variedades não são absolutamente infinitas, mas simplesmente inconcebíveis".*

*"E deve supor-se que os átomos não possuem nenhuma das qualidades dos fenômenos, exceto forma, peso, grandeza e todas as outras que são necessariamente intrínsecas à forma. Porque toda a qualidade muda, mas os átomos não mudam, visto que é necessário que na dissolução dos compostos permaneça*

---

<sup>18</sup>Os fragmentos foram transcritos das obras citadas. Para uma melhor compreensão do texto, transcrevi também as notas de rodapé, onde os tradutores fazem alguns comentários e comparações.

<sup>19</sup>Trechos extraídos de: "Antologia de Textos/ Epicuro" (col. Os Pensadores, 1988, p. 15-16).

*alguma coisa de sólido e de indissolúvel que faça realizar as mudanças, não no nada ou do nada, mas sim por transposição".*

*"Os átomos encontram-se eternamente em movimento contínuo, e uns se afastam entre si uma grande distância, outros detêm o seu impulso, quando ao se desviarem se entrelaçam com outros ou se encontram envolvidos por átomos enlaçados ao seu redor. Isto o produz a natureza do vazio, que separa cada um deles dos outros, por não ter capacidade de oferecer resistência. Então a solidez própria dos átomos por causa do choque, lança-os para trás, até que o entrelaçamento não anule os efeitos do choque. E este processo não tem princípio, pois são eternos os átomos e o vazio".*

*"É, além disso, necessário que os átomos se movam com igual velocidade quando avançam no vazio sem que se choquem com coisa alguma; com efeito os pesados não se moverão mais velozmente do que os pequenos e leves".*

### 1.2.2. Fragmentos dos escritos de Tito Lucrecio

Caro<sup>20</sup>

Da natureza - Livro I

*"Estudemos agora a homeomeria de Anaxágoras:<sup>21</sup> é o nome que lhe dão os gregos e que a pobreza de vocabulário pátrio não permite transpor para a nossa língua; mas é fácil explicá-lo, ao conceito em si, por outras palavras".*

---

<sup>20</sup>Trechos extraídos de: "Da Natureza/Tito Lucrecio Caro" (Op. cit. p. 41-56)

<sup>21</sup>A apresentação que Lucrecio faz das concepções de Anaxágoras é ligeiramente caricatural, apesar de haver textos que dão alguma base à sua interpretação. No entanto, a 'homeomeria' de Anaxágoras parece estar, por certos aspectos, muito próxima dos átomos da física moderna; para ele, e falando uma linguagem atual, o átomo do ferro seria diferente do átomo do hélio ou do átomo do chumbo; a substância ferro não poderia em caso algum ser formada, por exemplo, de átomos de ouro. Resumindo a evolução da hipótese atomística, pode dizer-se que Xenófanes e Empédocles dão o primeiro passo pondo os elementos como mais de um, mas em número limitado; Anaxágoras dá o segundo, atribuindo a cada substância o seu átomo próprio; Demócrito, o terceiro, pondo os corpúsculos como podendo formar vários corpos diferentes; a física atual fez como que a síntese das três noções, fixando o número de corpos simples, pondo para cada um uma determinada estrutura do átomo e formando cada átomo de cargas idênticas de átomo a átomo e capazes de troca" (Op. cit. 1988, p. 41).

"Primeiro, aquilo a que chama homeomeria das coisas é que, por exemplo, os ossos sejam constituídos por pequeníssimos, diminutos ossos, que as vísceras se formem de vísceras diminutas, pequeníssimas, que o sangue surja do juntar entre si de muitas gotas, que o ouro, segundo o que pensa, possa ser constituído por partículas de ouro, que a terra nasça de terras, o fogo de pequenos fogos, e a umidade de umidades; e acha que tudo se forma do mesmo modo. Todavia, não aceita que haja em parte alguma vazios nas coisas nem que haja limite à divisão dos corpos; ora, parece-me que nestes dois pontos erra e, pela mesma razão, tanto como os outros de quem falamos acima".

"Não é por certo em virtude de um plano determinado nem por um espírito sagaz que os átomos se juntaram por uma certa ordem; também não combinaram entre si com exatidão os movimentos que teriam; mas, depois de terem sido mudados de mil modos diferentes através de toda a imensidade, depois de terem sofrido pelos tempos eternos toda espécie de choques, depois de terem experimentado todos os movimentos e combinações possíveis, chegaram finalmente a disposições tais que foi possível o constituir-se tudo o que existe. E é por assim se terem conservado durante muitos anos, uma vez chegados aos devidos movimentos, que os rios saciam o ávido mar com suas grandes águas, que a Terra, aquecida pelo vapor do Sol, renova as suas produções, e florescem todas as raças de seres vivos, e se sustentam os fogos errantes pelo céu. De nenhum modo o fariam se do infinito não chegasse sempre mais matéria para reparar a tempo as perdas sofridas".

## Da Natureza - Livro II

"Neste ponto, não há que estranhar que, estando os princípios das coisas em movimento, todavia pareça a totalidade estar totalmente sossegada, a não ser pelo movimento próprio de cada corpo. A natureza dos corpos primordiais está muito abaixo de nossos sentidos: e, como já são invisíveis, também devem ocultar-nos os seus movimentos, sobretudo quando o que podemos ver muitas vezes nos esconde também o movimento pela interposta distância dos lugares".

"Como ensinei isto,<sup>22</sup> vou agora juntar uma coisa que dela depende e que é boa para demonstrar que os elementos dos corpos variam de forma segundo um modo finito. Se não fosse assim, deveria haver certos elementos de infinito tamanho, porque, dada a pequenez de todo o elemento, não podem variar muito as suas formas: põe que os elementos constam, nas suas partes mínimas, de três ou até um pouco mais: quer se coloquem em cima quer em baixo estas partes de um mesmo elemento, quer se lhes troque a direita com a esquerda, quer se experimentem outras combinações, qualquer que seja a ordem capaz de mudar o aspecto de todo o elemento, sempre resulta que, se por acaso se quiserem variar as formas, se tem de juntar outras partes; e, de forma idêntica, conclui-se que se se quiser variar ainda as formas ter-se-á de, por nova combinação, buscar outras partes; portanto, as formas novas implicam um aumento de volume. Não há, pois, forma de se crer que possa ser infinita a variedade de formas dos elementos, a não ser que se admita uma grandeza monstruosa, o que, como já demonstrei, é impossível de aceitar".

"Como ensinei isto, vou agora<sup>23</sup> juntar uma coisa que dela depende e que é boa para demonstrar que os elementos dos corpos que têm a mesma forma são em número infinito. Com efeito, como a variedade de formas é finita, é força que sejam infinitos os elementos semelhantes, e que seja limitada a massa da matéria: ora, já provei que isto não é assim, mostrando em meus versos que os corpúsculos da matéria, vindos do infinito, sempre mantêm o total pelo choque que provocam de todos os lados".

---

<sup>22</sup>"A idéia de que a variedade dos átomos não é infinita vem naturalmente de Epicuro, mas o filósofo grego acrescentava que ela é em todo caso incalculável para a mentalidade humana. O argumento apresentado por Lucrecio de que, se a variedade fosse infinita, acabaria, por haver átomos extremamente grandes, é interessante, quando se compara com o que ensina a atomística atual: com efeito, se concebêssemos um infinito progresso no número das camadas eletrônicas, acabaríamos por ter os átomos de que fala Lucrecio; a sua pequenez, a sua invisibilidade, garantem um número finito de variedades" (Op. cit. 1988, p. 53).

<sup>23</sup>"Lucrecio, que expusera a idéia de um número infinito de átomos, propõe também a de um número infinito de átomos de formas idênticas, dentro do infinito, digamos total, de tal maneira que se poderia naturalmente fazer corresponder a cada átomo deste conjunto um átomo do conjunto de átomos idênticos. Uma reflexão da mesma natureza pôs Cantor na pista de uma das mais notáveis criações da matemática moderna (Teoria dos conjuntos)" (Op. cit. 1988, p. 53).

*"Agora, ouve o que tenho para dizer-te,<sup>24</sup> o que adquiri a preço de um agradável trabalho, para que não creias que os corpos brancos, de que os olhos contemplam o esplendor, se compõem de elementos brancos, e que os negros nasceram a partir de elementos negros: qualquer que seja a cor de que estejam impregnados os corpos, não creias nunca que vem tal fato de serem os elementos de matéria tintos de semelhante cor. Os elementos não têm cor nenhuma, nem semelhante à dos objetos, nem desigual".*

Bernal vê na teoria atômica grega um caráter político, e traça o caminho de tais teorias até os dias de hoje:

*A teoria atômica teve desde o início um ar político radical, por ser francamente materialista e evitar qualquer apelo a harmonias preestabelecidas. A autoridade de Platão e de Aristóteles, que suportavam doutrinas de formas ideais ou substanciais, era bastante para evitar a sua aceitação generalizada. No entanto, durante toda a época clássica iria sobreviver como heresia persistente e, através de Epicuro e de Lucrecio, viria a influenciar a filosofia e a ética de idades posteriores. Defendia a existência dum mundo que se mantinha a si próprio pelo funcionamento natural das suas partes, sem necessidade de qualquer intervenção divina. O atomismo de Demócrito era completamente determinista; mais tarde, Epicuro introduziria nos seus átomos uma certa quantidade de variações ou inclinações, de forma a explicar a variedade e o livre arbitrio humano. Seria erro progressivo considerar o atomismo grego como uma teoria física essencialmente científica; os Gregos não tiraram dele quaisquer conclusões verificáveis na prática. No entanto, é o antepassado linear e reconhecido de todas as teorias atômicas modernas. Gassendo foi buscar as suas idéias diretamente a Demócrito e a Epicuro. Newton, por sua*

---

<sup>24</sup>A afirmação de que os átomos não têm cor própria vem de Epicuro, que acrescentava mudar-se-lhes a cor sempre que mudavam de posição; não temos, no entanto, nenhum pormenor quanto ao mecanismo exato do processo. Como se sabe, também a física atual tem o átomo por incolor. As razões são, naturalmente, muito diferentes das de Epicuro, que também, como o expõe Lucrecio pouco adiante, fazia os seus átomos sem calor nem frio, sem som, sem cheiro nem gosto algum. Poderia dizer-se que o mundo de Epicuro é realmente o mundo onde só o movimento existe; o que é, de certo modo, a visão da atomística atual, apenas com o movimento num continuo a quatro e não a três dimensões. Tal idéia do Universo, a única que é compatível com a verdadeira experiência, traz consigo graves dificuldades para uma doutrina de caráter materialista; Epicuro manteve-se na sua posição, mas a ciência moderna caminha rapidamente para uma concepção não materialista do Universo: o que não quer dizer mística ou sobrenaturalista, como se tem pretendido" (Op. cit. 1988, p. 56).

*vez, era um atomista convicto, e foi a inspiração da sua obra que levou finalmente John Dalton a fundar a teoria atômica da química. Vir-se-ia a verificar que os átomos da química não eram tão indivisíveis como o seu nome implica, mas as explicações mais profundas da física nuclear ainda hoje se inserem nesta mesma tradição atômica (Bernal, 1976, p. 190-191).*

Aqui, cabe para nós uma reflexão sobre a força das idéias, sobre a sua existência e resistência. No que diz respeito à história das ciências, de um lado vemos as concepções materialistas, isto é, as concepções que estabelecem uma relação direta entre o homem e a natureza, portanto, como ser capaz de construir e reconstruir o seu mundo; de outro, as concepções que colocam esta relação intermediada por uma vontade divina, sendo a ação dos homens apenas uma expressão desta vontade.

## 2. O átomo mecânico

No século XVII teremos, principalmente na Inglaterra, um movimento que representa uma nova forma de ver o mundo. Não só os modelos explicativos se modificam, mas também a forma de se fazer ciência. A ciência, cada vez mais, deixa de ser fruto de especulações, para ganhar um caráter experimental.

*Serão homens como Newton e Halley, Boyle e Hooke, que, saídos da peculiar forja inglesa, se encontrarão entre aqueles a estabelecer a imagem inicial do cientista moderno: mentes imbuidas das mais altas teorias, mãos manchadas por algum experimento e atenção voltada para algum aspecto, aparentemente pueril, do dia-a-dia. Mas devemos nos lembrar que os dois últimos aspectos desta lista teriam sido bastante mal vistos, até então, se*

*realizados por alguém pertencente às altas esferas (Goldfarb, 1987, p. 179).*

A teoria atômica estará presente neste momento. Goldfarb mostra, no trabalho de Boyle, a introdução do universo mecanicista na química, e este não prescindirá de uma teoria atômica. Mas este nascimento significa também uma ruptura com a ordem vigente: a nova ciência constrói-se a partir de uma nova visão de mundo, e de uma nova autoridade - a razão. Segundo Goldfarb, embora os modelos mecanicistas não tenham se aplicado com sucesso à química, num primeiro momento, contribuem entretanto para afastar da química os aspectos mágicos, e fornecem ao cientista uma nova forma de olhar para a matéria.

*O mundo do cientista moderno seria cada vez mais um mundo mecanisticamente reduzido à matéria e ao movimento, descrito por leis rígidas e quantificáveis, onde o espírito vitalista e qualitativo do alquimista iria perdendo espaço até não encontrar mais lugar (Goldfarb, 1987, p. 180).*

Será a partir de uma leitura mecanicista do mundo que a teoria atômica será retomada:

*É evidente que a hipótese corpuscular se adaptava bem à tendência matemático-mecânica da época. Seguindo a dinâmica de Galileu e Descartes, era muito mais fácil interpretar os movimentos de tais partículas reduzidas a pontos que de uma peça de espaço homogêneo. Graças à piedade de Gassendo, os átomos aparecem-nos também purgados das suas associações ateístas e subversivas. Ele tornou explícitas as implicações da nova mecânica exigindo de Deus não a operação contínua do mundo material mas apenas o impulso dado a todos os átomos no início do tempo, impulso que havia de determinar, pela providência divina, todos os seus movimentos e combinações futuras (Bernal, 1976, p. 464).*

Aqui são abertas duas portas: a possibilidade de se retomar a teoria atômica, vista, até então, como de caráter

ateísta, e a experimentação. Serão os trabalhos experimentais e teóricos, como os de Blaise Pascal (1623-1662), Robert Boyle (1627-1691) e John Mayow (1640-1679) sobre a natureza do ar atmosférico que acabarão por reformular toda a face da teoria química. Boyle, especificamente, adota a teoria corpuscular da matéria, admite a existência do vácuo e abre-se para os aspectos técnicos e experimentais que os estudos da matéria exigem.

Estes dois aspectos, além de importantes, passarão por um processo que os levará, algumas vezes, a situações antagônicas. Se o experimentalismo vai ser fundamental ao desenvolvimento da ciência moderna, mostrando as possibilidades de produção de conhecimentos a partir de um trabalho sistemático e metodologicamente definido, levará também a observações que, dificilmente, seriam explicadas pelos modelos teóricos existentes. Ao mesmo tempo, os "experimentalistas" terão dificuldades em aceitar modelos considerados excessivamente abstratos, como ocorreu no processo de aceitação da teoria atômica, entre os séculos XVII e XX.

Neste ponto, o trabalho de Boyle contribui nos dois aspectos, retomando a teoria atômica e valorizando a experimentação. Boyle teve contato com fontes até então estranhas para o mundo da ciência; no tratamento empírico da matéria, ele teve contato com técnicas exclusivas dos "homens do povo", como foi o caso das técnicas secretas de metalurgia:

*Mais tarde, quando de sua estadia na Irlanda com o propósito de cuidar de interesses familiares, Boyle gaba-se de ter sido introduzido a técnicas secretas de metalurgia e mineração por homens do povo, gente sem nenhuma instrução que, segundo ele, seriam os verdadeiros detentores da prática de tal arte. Assim, apesar dos veementes protestos de Boyle contra a primariedade e falta de perspectiva para o trabalho científico em solo irlandês, vemo-no (sic!), mais uma vez, perseguindo e ampliando seus conhecimentos químicos (Goldfarb, 1987, p. 183).*

Já o pensamento atomístico será atribuído por ele aos fenícios, pois Boyle deseja ser fiel a uma concepção mecânica, fugindo das formas metafísicas:

*Boyle busca a origem de seu pensamento atomístico em fontes mais antigas e menos comuns de serem consultadas no século XVII, aquelas derivadas dos primeiros atomistas gregos, Leocipo e Demócrito. Como sabemos, estes homens postularam a existência de átomos movendo-se no vácuo ao acaso, mas Boyle acrescenta que a origem da teoria atômica seria ainda mais remota e a atribui aos fenícios. E nos diz que: "eles (os fenícios) são claros e tão poderosos em engenhos mecânicos que eu, algumas vezes, também chamo a isto de hipóteses ou filosofia mecânica". Daí a alternância com que Boyle usa para o mesmo fim as chamadas "filosofia macanicista" e "filosofia corpuscular". O fato do cientista inglês ter privilegiado um povo, como o fenício, de tendências mais práticas do que teóricas sobre os gregos e suas poderosas abstrações, denota mais a própria tendência baconiana de Boyle, do que uma descoberta histórica da qual, aliás, não nos oferece nenhuma fonte de informação (Goldfarb, 1987, p. 192).*

Apesar de dar este caráter ao seu modelo atômico (ou corpuscular) da matéria, não se pode negar que as concepções de Boyle e Newton têm grande importância, uma vez que trazem, para a discussão científica da época, a questão de um modelo explicativo para a constituição básica da matéria.

Independente daquilo que hoje chamamos de resultados, esta nova etapa nas ciências, em especial na

química, tem a sua importância pelo tipo de atitude que cria: a postura do cientista diante da matéria e do experimento é que se transforma. Este é o elemento novo na ciência que se estabelece ao longo dos séculos XVII e XVIII:

*Existe um movimento crescente entre os naturalistas do século XVII, que tem uma de suas maiores expressões na obra de Boyle, de destituir o elemento mágico e holístico do experimento. A cena do experimento num laboratório deixa de ser a síntese do cosmo para se transformar no possante instrumento de análise das partes da grande máquina em que o universo estava sendo transformado. O sentido, a dimensão do próprio experimento enquanto Arte praticada pelo alquimista e, mais tarde, pelo "espagirista"<sup>25</sup>, fica totalmente desarticulado diante da nova realidade científica. Será a mesma aqua fortis reagindo com a prata, a mesma aqua regia reagindo com o ouro, mas os olhos que verão estas reações, e as conclusões tiradas a partir delas, modificarão o contexto do próprio experimento e, sobretudo, a razão pela qual ele será feito (Goldfarb, 1987, p. 187).*

Mas esta mudança não pode ser vista com uma transformação radical na ciência. Se os "homens de bem" passam a dar maior importância para a experimentação, e há uma busca de novos modelos explicativos para os comportamentos da matéria, como a explicação mecânica, ainda teremos um longo período no qual algumas teorias "mágicas" irão sobreviver. Uma das teorias que sobreviverá nos séculos XVII e XVIII é a teoria do flogístico<sup>26</sup>.

---

<sup>25</sup>Espagiristas: "também chamados 'químicos', seguidores de Paracelso e van Helmont, de quem o próprio Boyle foi admirador e seguidor no início de sua carreira" (Goldfarb, 1987, p. 186).

<sup>26</sup>Flogístico ou Flogisto: elemento imponderável contido em todos os corpos combustíveis, também chamado de "fogo princípio" ou "fogo originário".

Defendida pelo médico e químico alemão Georg Ernest Stahl (1660-1734), que a expõe na obra: "Experimenta, observationes, animadvertiones chymical et physical" (Experiências, observações e reflexões sobre química e física), publicada em 1697. A teoria do flogístico foi aplicada principalmente para explicar o fenômeno da combustão, mas se estendeu também para outros fenômenos químicos. Partindo do trabalho de Stahl, podemos dizer que esta teoria sobreviveu por um século, até ser derrubada por Lavoisier a partir dos seus trabalhos sobre a combustão e a Lei da Conservação das Massas.

Nos séculos XVII e XVIII, idéias aparentemente contraditórias para nós, sobrevivem lado a lado, já que em alguns casos teremos personagens que trabalham com as "duas ciências". Este foi o caso de Sir Isaac Newton (1642-1727), amplamente conhecido pelos seus trabalhos na física e matemática<sup>27</sup> e por suas idéias atomistas; mas de quem pouco se fala enquanto teólogo, e que teve seus trabalhos com alquimia censurados. Independentemente da importância desses trabalhos, é para nós difícil pensar num Newton teólogo ou alquimista, mas talvez seja este o perfil dos homens de ciência desses dois séculos:

*Newton não foi o primeiro da idade da razão. Ele foi o último dos magos, o último dos babilônicos e sumérios, a*

---

<sup>27</sup>Das contribuições de Newton para as ciências, temos: a criação do cálculo infinitesimal, o desenvolvimento e sistematização da mecânica, a teoria da gravitação universal e o desenvolvimento das leis de reflexão e refração luminosas, além da teoria sobre a natureza corpuscular da luz.

*última grande mente a olhar para o mundo visível e para o mundo intelectual com os mesmos olhos daqueles que começaram a construir nossa herança intelectual menos de 10.000 anos atrás. Por que o chamo de mago? Porque ele encarava o universo inteiro e tudo que ele contém como um enigma, como um segredo que poderia ser lido aplicando o pensamento puro a certas evidências, certas chaves místicas que Deus havia posto no mundo de modo a permitir uma espécie de caça ao tesouro pela irmandade esotérica (Keynes, in Filgueiras, s.d., p. 1).*

### 3. O átomo do oitocentos

Mas no novo momento que a química viverá, no período pós-Lavoisier, o grande representante da teoria atômica será o inglês John Dalton<sup>28</sup>. Enquanto pesquisador, dedicou-se a pesquisas sobre meteorologia, física, química, gramática e lingüística. Ficou conhecido pela sua teoria atômica e pela descoberta da anomalia da visão das cores, conhecida por nós como daltonismo.

Os princípios de sua teoria atômica que aparecem em diversos trabalhos, são lançados na memória intitulada "Absorption of gases by water and other liquids" (Absorção de gases pela água e outros líquidos), apresentada em 21 de outubro de 1803 à Literary and Philosophical Society de Manchester. Neste trabalho Dalton estabeleceu que: "a pressão total de uma mistura de gases é igual à soma das pressões parciais dos gases

---

<sup>28</sup>Dalton nasceu em Eaglesfield, Cumberland, em 6 de setembro de 1766, lecionou desde os 12 anos. Trabalhou em Eaglesfield, Kendal e em 1793 transferiu-se para Manchester, onde lecionou no New College, ensinando matemática, física e química. Faleceu em 27 de julho de 1844.

que a constituem". Entre 1803 e 1804, proferirá uma série de conferências na Royal Institution de Londres onde desenvolverá sua teoria, que será apresentada no primeiro volume do seu "New system of chemical philosophy", em 1808.

Sua teoria aparece no momento em que muitas questões, fruto das pesquisas que se faziam, estavam sem resposta. Algumas descobertas permitiram que uma teoria baseada na descontinuidade da matéria se constituísse. A "lei das proporções definidas" de J. L. Proust<sup>29</sup>, enunciada na sua forma definitiva em 1806; a "lei dos volumes de combinação de Gay-Lussac"<sup>30</sup>, assim como o trabalho de Davy<sup>31</sup>, de 1806, sobre a eletrólise da água, no qual faz uma suposição sobre a separação de partículas positivas e negativas, servem para respaldar a hipótese de Dalton:

---

<sup>29</sup>Joseph Louis Proust (1754-1826), químico e farmacêutico francês. Chefiou a farmácia do hospital Salpêtrière, em Paris; trabalhou na Espanha, ensinando química na academia de artilharia de Segóvia e em Salamanca; em Madrid trabalhou no laboratório de Carlos V. Em 1806, ano de sua volta a Paris, enunciou a lei das proporções definidas: "Os elementos só se unem entre si para formar uma combinação dentro das proporções de peso absolutamente definidas" (Rosmorduc, 1985, p. 107).

<sup>30</sup>Joseph Louis Gay-Lussac (1778-1850), químico e físico francês, estudou na École Polytechnique, onde foi discípulo de Berthollet. Em 1809 assumiu a cadeira de química da École Polytechnique e a de física da Sorbone. Dos seus trabalhos sobre gases, temos a Lei de Charles (Jacques Alexandre César Charles, físico francês - 1746-1823) e Gay Lussac, onde demonstra que, a pressão constante, o volume de um gás perfeito varia na razão direta da temperatura, e a conhecida Lei de Gay-Lussac, enunciada em 1808: "Eu fiz ver neste Memorial que as combinações das substâncias gasosas umas com as outras se fazem sempre nas relações mais simples, e tais que, representando um dos termos pela unidade, a outra é 1 ou 2, ou no máximo 3. Estas relações entre volumes não se observam nas substâncias sólidas e líquidas, ou quando se consideram os pesos, e elas são uma nova prova de que só é efetivamente no estado gasoso que os corpos são colocados nas mesmas circunstâncias e que eles apresentam leis regulares" (Rosmorduc, 1985, p. 108).

<sup>31</sup>Sir Humphry Davy (1778-1829), professor do Royal Institution, formulou a teoria de que a atração química entre os elementos, responsável pela formação dos compostos ou combinações, era essencialmente elétrica.

*Estes diferentes elementos vêm confortar a hipótese desenvolvida desde o início do século por J. Dalton, e publicada por ele em 1808. Discípulo de Proust, Dalton imagina que cada substância é formada por partículas extremamente pequenas idênticas e indivisíveis, os "átomos". Um dado corpo é constituído por átomos que lhe são específicos, que têm uma massa constante e que se atraem entre si. Diversos elementos se unem para formar uma combinação, seus átomos se associam para formar o átomo do novo corpo<sup>32</sup>, a associação se realizando da forma mais simples possível. Se os elementos constituintes são em número de dois, o átomo composto é então binário, se uma única combinação é possível. Se duas combinações são possíveis, a primeira é binária, a segunda é terciária (Rosmorduc, 1985, p. 108).*

Embora não tenha sido amplamente aceita, a sua contribuição foi importante, pois os modelos corpusculares para a matéria criam novas possibilidades de explicações, já que, além dos inúmeros fatos novos que surgem no período, colocando em cheque os modelos explicativos vigentes, há o vazio deixado pela superação dos velhos modelos, como ocorreu com a teoria do flogístico. Jean Baptiste Perrin<sup>33</sup> (1870-1942) qualificou a hipótese de Dalton de "intuição genial", pois dá uma interpretação lógica da lei de Proust e abre caminho para uma teoria unitária que permite explicar as diferentes descobertas da química desse início de século. A sua teoria atômica permite, como vemos, uma explicação para muitas observações que são

---

<sup>32</sup>Em seus trabalhos originais, Dalton não usou o termo molécula (que, hoje em dia, usualmente significa um agregado característico de dois ou mais átomos), mas referia-se a átomos compostos, tais como átomos de água, átomos de açúcar, átomos de 'hidrogênio sulfuretado', etc. De acordo com Dalton, um átomo de 'hidrogênio sulfuretado' era formado de um átomo de enxofre e três átomos de hidrogênio" (Sienko, 1978, p. 25).

<sup>33</sup>J. Perrin, *Les atomes*, Paris, 1913 (cf. Rosmorduc, 1988).

feitas no período, principalmente para os resultados obtidos nas pesquisas sobre o comportamento dos gases.

Se há um espaço para que novos modelos teóricos sejam incorporados, isto não garante que o processo de constituição desses novos modelos se dará livre de polêmicas. Dalton colocará em dúvida a lei dos volumes de combinação de Gay-Lussac, enquanto que Berthollet<sup>34</sup> coloca em dúvida a lei das composições constantes de Proust.

As atitudes dos químicos frente às novas teorias faziam-se em função de diversos fatores. No caso da teoria atômica de Dalton, podia ser devido ao fato de a sua tese ter, aparentemente, uma essência unicamente filosófica, num momento em que a química se destacava justamente na pesquisa empírica<sup>35</sup>.

Por outro lado, a não aceitação de uma teoria podia estar associada à vinculação a um sistema filosófico, como foi o caso dos positivistas em relação à teoria atômica. Segundo Rosmorduc: " ao longo do século XIX, o positivismo desempenhou verdadeiramente um papel de oposição a uma teoria que se

---

<sup>34</sup>Claude-Louis Berthollet (1748-1822). Químico francês, doutor em medicina pela Universidade de Turim (1770), trabalhou com Lavoisier na elaboração de uma nova nomenclatura química. Foi professor de química na école Polytechnique de Paris. Durante a Revolução Francesa, participou de numerosas comissões científicas. Acompanhou Napoleão na sua viagem ao Egito, em 1798. Durante o Diretório foi senador e, com o advento do Império, recebeu o título de conde.

<sup>35</sup>O empirismo foi um dos grandes argumentos usados pelos positivistas contra a teoria atômica, que procuram dar à química um caráter estritamente experimental. Em sua Filosofia Química, Dumas declarou: "Se eu fosse o senhor da ciência, dela apagaria a palavra 'átomo', persuadido que ele vai além da experiência; e jamais, em química, devemos ir além da experiência" (Rosmorduc, 1988, p. 111).

afirmava cada vez mais, e respondia cada vez melhor às questões propostas" (Rosmorduc, 1988, p. 109). Esta disputa tinha também uma conotação político-ideológica: o químico francês Pierre Eugène Marcellin Berthelot (1827-1907), enquanto senador, conseguiu eliminar durante muito tempo toda e qualquer referência à idéia atômica dos programas oficiais.

Serão justamente as observações em laboratório que exigirão novas teorias, como ocorreu com a química orgânica. Em 1832, Justus von Liebig<sup>36</sup> (1803-1873) e Friedrich Wöhler (1800-1882) preparam uma série de compostos orgânicos, nos quais parecia que o grupo ou radical entrava em combinação, igualmente com o hidrogênio eletropositivo ou com o oxigênio eletronegativo. A esta descoberta, acrescia-se o trabalho do químico francês J. B. A. Dumas (1800-1884), da École Polytechnique, que descobriu que dentro dos próprios radicais orgânicos o hidrogênio eletropositivo podia ser substituído pelo cloro eletronegativo, sem que ocorressem modificações fundamentais nas propriedades químicas dos radicais ou de seus compostos.

---

<sup>36</sup>Justus von Liebig nasceu em Darmstadt a 12 de maio de 1803 e morreu em Munique a 18 de abril de 1873. Estudou em Bonn e Erlangen; depois passou cerca de dois anos - de 1822 a 1824 - em Paris, onde frequentou o laboratório de Gay-Lussac. Em 1824 foi nomeado professor interino da Universidade de Giessen e passou a efetivo dois anos depois. Em Giessen criou um laboratório de química que se tornou mundialmente conhecido.

Estas e outras descobertas colocam em cheque a Teoria Dualística<sup>37</sup>, que explicava as ligações químicas através das cargas elétricas. Como não existia ainda uma nova teoria que explicasse ligações observadas nos compostos orgânicos, muitos químicos consideraram que seria impossível encontrar uma explicação lógica para estes fatos.

*Quanto mais a teoria dualística era estendida à Química orgânica, tanto mais complexa e caótica se tornava a situação. Wöhler escrevia a seu mestre, Berzelius, em 1835: "A Química orgânica, no momento atual, é algo de enlouquecedor. Ela dá-me a impressão de uma floresta tropical primitiva, plena das coisas mais estranhas, de um matagal espesso, monstruoso e ilimitado, sem saída, aonde qualquer um, com razão, sente receio em penetrar" (Mason, 1962, p. 376).*

Este problema químico atravessará quase três décadas, período no qual surgirão algumas idéias: como a teoria dos tipos estruturais proposta por Dumas, em 1840<sup>38</sup>, e desenvolvida por Gerhardt (1816-1856) e Laurent (1808-1853); e a

---

<sup>37</sup>A Teoria Dualística de Berzelius explicava as ligações químicas através: "a) Todos os átomos dos elementos são, por natureza, carregados de eletricidade; possuem dois pólos opostos, nos quais se concentram as eletricidades opostas (...). b) Os dois pólos não têm, porém, intensidade elétrica igual; existe uma 'unilateralidade elétrica', sendo que em alguns átomos predomina o pólo positivo e em outros o negativo (...). c) A combinação química consiste na atração dos corpúsculos de carga oposta e na neutralização da eletricidade (com liberação de calor) entre pólos de carga oposta (...). d) As forças da afinidade química são exclusivamente de natureza elétrica; o grau da afinidade depende de sua intensidade de polarização, que varia com a temperatura (...)" (Rheinboldt, 1988, p. 103-106).

<sup>38</sup>Dumas sugeriu que as propriedades químicas dos compostos orgânicos eram devidas às características elétricas dos elementos que os constituíam. Afirmava êle que todos os compostos do mesmo tipo estrutural deveriam apresentar as mesmas propriedades: um elemento poderia ser substituído por outro, mas se o arranjo estrutural conservasse a respectiva integridade, não seriam muito alteradas as propriedades do referido composto" (Mason, 1962, p. 376).

proposição de August Kekulé<sup>39</sup> (1829-1896), em 1850, de que os átomos de carbono podiam se combinar, cada um, com quatro outros átomos ou grupo de átomos. Mas as idéias ainda não estavam bem definidas, e não havia um critério geral para verificar o número combinatório de um átomo.

*Desse modo, o problema da determinação de quantos átomos de um elemento podiam entrar em combinação com um átomo de outro - abandonado no princípio do século, por quase todos - voltou à baila novamente. Com ele ocorreu o ressurgimento da teoria atômica, que nesse meio tempo regredia ao último plano da teoria da Química (Mason, 1962, p. 377).*

Na tentativa de resolver este problema, Kekulé e outros químicos alemães realizam o Congresso de Químicos de Karlsruhe<sup>40</sup>. O objetivo do congresso era de se chegar a uma teoria acerca da estrutura molecular dos compostos orgânicos, e da resolução do problema da determinação das valências dos elementos, já que a química orgânica se encontrava numa fase de rápido desenvolvimento.

As discussões que se desenrolam em torno deste problema, levarão à retomada de trabalhos, que há muito haviam caído no esquecimento. O caso mais conhecido é o do princípio de

---

<sup>39</sup>Friedrich August Kekulé (1829-1896) era estudante de arquitetura em Giessen quando, sob influência de Liebig decidiu dedicar-se à química. Doutorou-se em Giessen (1852) e passou um ano em Paris, onde teve como mestre Charles F. Gerhardt.

<sup>40</sup>O congresso de Karlsruhe (cidade localizada a 35 Km a sudoeste de Heidelberg) foi organizado por químicos alemães, principalmente Kekulé. Perto de 140 químicos participaram do congresso, entre eles estavam: Dumas e Wurtz da França; Frankland e Roscoe da Inglaterra; Liebig, Wöhler, Kolbe, Bunsen e Kekulé da Alemanha; Mendeleev da Rússia e Cannizzaro da Itália.

Avogadro<sup>41</sup>, que ficou praticamente esquecido por 50 anos, sendo retomado após a sua morte, por Stanislao Cannizzaro (1826-1910). Em 1858, Cannizzaro demonstrou que o princípio de Avogadro podia ser empregado para determinar os pesos moleculares<sup>42</sup>; em 1860, apresentou a hipótese de Avogadro no Congresso de Químicos de Karlsruhe, mostrando ser possível, a partir deste, determinar os pesos atômicos e verificar o número combinatório dos elementos (as valências).

Apesar de a solução apresentada por Cannizzaro não ter convencido os químicos de imediato, tendo o congresso chegado ao seu fim sem a solução para o problema que se colocava, Cannizzaro distribuiu exemplares de um panfleto apresentando a totalidade de suas idéias. "O panfleto de Cannizzaro e a obra que depois o acompanhou convenceram em pouco tempo a maioria dos químicos da validade geral da hipótese de Avogadro" (Mason, 1962, p. 378). Isso possibilitou enfrentar um dos problemas mais sérios da química na primeira metade do século XIX: chegar a uma explicação para as ligações que ocorrem na formação de algumas substâncias, principalmente nos compostos orgânicos.

---

<sup>41</sup>Lorenzo Romano Amedeo Carlo Avogadro Di Quaregna e Di Cerreto (1776-1856). Professor de física de Turim, propôs, em 1811: "que volumes iguais de gases, à mesma temperatura e pressão, encerram o mesmo número de partículas". Avogadro também introduziu a noção de molécula.

<sup>42</sup>Se volumes iguais de dois gases, à mesma temperatura e pressão, contêm o mesmo número de moléculas, os pesos destes volumes iguais dão diretamente os pesos relativos das duas moléculas. Como o número de moléculas é idêntico, podemos estabelecer uma relação de peso entre as moléculas de hidrogênio e oxigênio.

Na metade do século XIX, temos uma nova fase da teoria atômica, pois os modelos explicativos se mostram insuficientes diante do conjunto de fatos experimentais acumulados até aquele momento. A questão das valências, os modelos estruturais para as moléculas e a determinação dos pesos atômicos levam a uma aproximação entre propriedades químicas e um modelo corpuscular, isto é, ao se chegar cada vez mais próximo do elemento químico, enquanto unidade fundamental para a química, a partir de onde se explicarão as propriedades e as ligações, mais se aproxima da idéia de átomo enquanto partícula fundamental. Assim, os átomos ganham identidade, podem ser representados quantitativamente, pois cada átomo será representante de um determinado elemento.

#### 4. A montagem do grande quebra-cabeças - o poema de Mendeleev

Em meados do século XIX, ao se conhecer um determinado número de elementos químicos, e ser possível identificá-los qualitativa e quantitativamente, busca-se uma síntese, agrupando-os segundo propriedades que se repetem. Isto se dará através da montagem de uma tabela.

*Quando os pesos atômicos e as valências dos elementos foram finalmente determinados, na década de 1860, fizeram-se várias tentativas novas no sentido da classificação dos elementos em grupos relacionados entre si, devidas, (...) e especialmente a Lothar Meyer, na Alemanha, e a Mendeleev,*

na Rússia, em 1869. Os dois últimos formularam a lei periódica enunciando que as propriedades dos elementos variavam de modo periódico, conforme os respectivos pesos atômicos, e elaboraram uma tabela periódica dos elementos, para exemplificar a lei. Lothar Meyer (1830-1895) e especialmente Mendeleev (1834-1907) acentuaram o fato de que havia lacunas, na tabela periódica, as quais seriam preenchidas por elementos ainda desconhecidos, e Mendeleev previu, com notável precisão, as propriedades de alguns desses elementos ainda ausentes, todos eles posteriormente descobertos (Mason, 1962, p. 379-380).

A sistematização da tabela, a partir das leis periódicas, foi uma obra de genialidade que deu um novo caráter à química. Se a teoria atômica levou a uma unidade, a tabela propiciou uma ordenação do universo elementar. Segundo Petrianov:

*Em lugar de substâncias dispersas, sem ligação alguma entre si, apareceu um sistema, harmonioso e uno, que reuniu os elementos químicos existentes num todo único. Mas Mendeleev colocou perante a ciência uma tarefa ainda mais grandiosa, a de explicar a íntima ligação existente entre todos os elementos e as suas propriedades físicas e químicas (Petrianov, in Ciscato, 1991, p. 134).*

Não só se conhecia a intimidade dos elementos, como seu comportamento poderia ser previsto, ou mesmo a sua existência.

*A originalidade de Mendeleev não está na "descoberta de algo inesperado e inusitado" (...) mas a originalidade com que enfocou o problema que se lhe apresentava, levantando hipóteses sobre as quais pôde produzir um sistema amplo onde poderiam caber não somente os elementos descobertos até então como aqueles que futuramente viessem a ser descobertos, sem dúvida um grande apoio para a química de sua época (Goldfarb, 1990, p. 29).*

Mendeleev<sup>43</sup> não foi o primeiro a pensar em uma classificação e ordenação dos elementos químicos<sup>44</sup>; seu grande feito foi subir nos ombros dos seus antecessores e conseguir enxergar mais longe, como mostra a seguinte passagem de Petrianov:

*Segundo Mendeleev, houve 3 circunstâncias que contribuíram para a descoberta da lei periódica. A primeira foi o facto de terem sido determinados com relativa precisão os pesos atômicos da maioria dos elementos químicos então conhecidos; em segundo formara-se uma noção clara sobre os grupos de elementos com propriedades químicas semelhantes (os grupos naturais); em terceiro lugar, nesta altura já havia sido estudada a química de muitos elementos raros sem o conhecimento dos quais teria sido difícil chegar a semelhante generalização.*

*Finalmente, o facto de Mendeleev ter comparado entre si os pesos atômicos dos todos os elementos então conhecidos teve capital importância. Os predecessores de Mendeleev compararam apenas os elementos semelhantes, os dos grupos naturais, não ligando estes grupos entre si. Esta tarefa foi realizada por Mendeleev que os reuniu de uma forma lógica na sua tabela (Petrianov, in Ciscato, 1991, p. 137).*

O trabalho de Mendeleev vai se estabelecendo conforme o tempo vai passando e novas conquistas vão sendo feitas. Segundo Petrianov, a grandeza do feito de Mendeleev, longe de se apagar no tempo, continua a aumentar. A tabela proposta por ele, embora tivesse imperfeições, representava

---

<sup>43</sup>Dimitri Ivanovitch Mendeleev nasceu em Tobolsk, Sibéria, a 8 de fevereiro de 1834 e morreu em São Petersburgo a 2 de fevereiro de 1907. Estudou ciências em São Petersburgo, formando-se em química (1856). Trabalhou no laboratório Wurtz, em Paris. Professor a partir de 1863, em 1866 assumiu a cátedra de química do Instituto Tecnológico de São Petersburgo.

<sup>44</sup>Petrianov cita algumas tentativas de outros químicos, tais como: do alemão Döbereiner (1829); do russo G. I. Hess (1849); do francês Beguyer de Chancourt (1862); do inglês J. A. Newlands e dos alemães Odling e L. Meyer (1864). (cf. Petrianov, in Ciscato, 1991, p. 133-154).

entretanto a união de um aspecto quantitativo - o peso atômico<sup>45</sup> - que é usado para ordenar os elementos, com aspectos qualitativos - que diziam respeito ao comportamento dos elementos.

A tabela de Mendeleev possuía lacunas que, segundo ele demonstrou, deveriam ser preenchidas conforme novos elementos fossem descobertos. Com ela prognosticou a existência de mais de 10 elementos até então desconhecidos. Em um artigo publicado na revista da Sociedade Química Russa em 1871 - "O Sistema natural dos elementos e a sua aplicação na determinação das propriedades dos elementos desconhecidos" - descreveu 3 elementos desconhecidos, denominando-os: *Ekaboro*, *Eka-alumínio* e *Eka-silício*<sup>46</sup>.

Em 1874, o jovem cientista-espectroscopista francês Lecoq de Boisbaudran (1838-1912)<sup>47</sup> isolou um novo

---

<sup>45</sup>Um dos conceitos mais importantes resultantes do trabalho de Dalton é o de peso atômico. Como se pode comparar o peso de um átomo com o de outro átomo? Sendo os átomos muito pequenos, é impossível medir os seus pesos absolutos. Pode-se, entretanto, obter os pesos relativos de diferentes átomos pela medida do peso de um elemento combinado a outro, desde que o número relativo de átomos no composto seja conhecido. Por exemplo, a água é formada de 11,19% de hidrogênio e 88,81% de oxigênio. Isto significa que o oxigênio contribui com 88,81/11,19, ou seja, 7,937 vezes mais peso do que o hidrogênio para o peso total da água. Se houver (...) um átomo de oxigênio para cada dois átomos de hidrogênio, então o átomo de oxigênio é 15,87 vezes mais pesado que o átomo de hidrogênio" (Sienko, 1978, p. 26).

<sup>46</sup>Há uma divergência quanto a esta nomenclatura, esta que uso é extraída do texto: *A Lei Grandiosa*, de I. V. Petrianov e Trifonov, Trad. Maria Helena Fatunato. Moscou, Mir, 1987, p. 6-34. Transcrito em Ciscato, 1991, p. 133-154.

Outra divergência refere-se ao ano da descoberta do germânio, que é apresentado por Nason e Rosmorduc como sendo 1885, e por Petrianov, 1886.

<sup>47</sup>A espectroscopia foi talvez a técnica mais importante para a identificação de novos elementos químicos: "(...) em 1859, o químico Bunsen (1811-1899) e o físico Kirchhoff (1824-1887), ambos de Heidelberg, introduziram o espectroscópio, por cujo intermédio das cores peculiares, comunicadas às chamadas por substâncias

elemento, que chamou de gálio. Apesar de trabalhar com uma pequena amostra, conseguiu fazer uma descrição do elemento, incluindo a densidade, a temperatura de fusão, os compostos oxigenados e os sais. Para sua surpresa, recebeu uma carta de Medeleev, corrigindo a densidade relativa do gálio. Boisbaudran determinou que o gálio era 4,7 vezes mais pesado do que a água, mas Medeleev corrigiu para 5,9. O que foi confirmado posteriormente por Boisbaudran em novos experimentos. O gálio não foi descoberto por Mendeleev antes de Boisbaudran, pois se tratava do eka-alumínio previsto anteriormente.

Fatos idênticos aconteceram na descoberta do escândio e do germânio. O escândio identificado pelo químico sueco Lars Frederick Nilson (1840-1899), em 1879, mostrou ter as características do hipotético metal ekaboro de Medeleev. Já o germânio, descoberto pelo químico alemão Clemens Winkler (1838-1904), em 1885, correspondeu ao eka-silício. Embora tenha feito algumas previsões equivocadas, como no caso dos elementos eka-magnésio, dur-magnésio e tri-magnésio, o sistema apresentado por Mendeleev, que será aprimorado, até chegar ao modelo atual, mostrou ser uma obra de genialidade, onde uma idéia e a

---

químicas, podiam ser examinadas e identificadas. Com esse instrumento Bunsen descobriu os novos metais alcalinos, o céσιο e o rubídio, em 1860 e 1861. Na cidade de Londres, Sir William Crookes (1832-1919) descobriu o elemento tálio, com o auxílio do espectroscópio, em 1861, e Ferdinand Reich, na Escola de Minas de Freiberg, o índio, pelo mesmo processo, em 1863. Tentativas feitas em busca dos elementos que faltavam na tabela periódica proporcionaram o grupo seguinte de descobertas. Em 1874, Boisbaudran, na França, encontrou o gálio, o eka-alumínio previsto por Mendeleev, ao passo que o químico escandinavo Nilson descobriu o escândio, ou eka-boro, em 1879, e finalmente Winkler, na escola de Minas de Freiberg, isolou o germânio, ou eka-silício, no ano de 1885" (Mason, 1962, p. 380).

perspicaz dedução, ultrapassaram a evidência que a experiência empírica era capaz de mostrar.

A lei periódica ganhará uma aceitação maior no final do século XIX: resistirá ao aparecimento dos novos métodos de investigação<sup>48</sup> e ao desenvolvimento da mecânica quântica, que criam uma "nova teoria atômica". Podemos dizer que esta nova teoria acabará reforçando o sistema periódico proposto por Mendeleev.

Podemos pensar na química, após a tabela periódica, como um jogo, onde os elementos são peças que podem ser movimentadas segundo algumas regras, dadas pelas suas características. O objetivo do jogo é agrupar as peças formando diferentes combinações. A princípio, neste jogo não há limites, podemos formar o que desejarmos, fazendo as mais diversas combinações, basta que respeitemos as características dos elementos e que encontremos o caminho correto. Neste jogo, a posição do jogador na tabela nos diz sobre o papel que deverá desempenhar.

O trabalho de Mendeleev representou uma síntese de todo o conhecimento sobre os elementos químicos, produzido até aquele momento. Podemos dizer que a *tabela* não nos fala de

---

<sup>48</sup>Um exemplo é a utilização do espectroscópio de raios X: "Descobriu-se que os espectros visíveis dos elementos constituíam uma função periódica de seus pesos atômicos, como suas propriedades químicas, mas as linhas espectrais dos raios X, produzidas pelos elementos - como foi comprovado - eram relacionadas de um modo linear com os respectivos pesos atômicos, ou melhor, com os respectivos números atômicos, partindo das posições ordinais dos elementos, na tabela periódica, com o hidrogênio em primeiro lugar" (Mason, 1962, p. 381).

um conhecimento produzido num determinado momento: ela carrega consigo a história do conhecimento sobre os elementos, ou melhor, sobre uma construção do homem sobre os processos de apropriação e transformação da matéria. A intimidade material, que sempre se escondeu nas diferentes formas através das quais a matéria se expressa na natureza, é objetivada e coisificada.

Para a química as possibilidades criadas pelo sistema periódico - este novo "telescópio" com o qual se olha para o universo material - representam uma nova posição frente à teoria atômica, já que aquilo que a teoria atômica fornece - os átomos identificados - deixa de ser uma simples generalização, e passa a ter sentido no que é o particular para a química: os processos de transformação. Segundo Bachelard:

*O quadro de Mendéléeff, reorganizado ao nível dos conhecimentos actuais, acede a um verdadeiro racionalismo aritmético da matéria; ou seja, o quadro de Mendéléeff é um verdadeiro ábaco que nos ensina a aritmética das substâncias, que nos ajuda a aritmetizar a química (Bachelard, 1984, p. 92). [Grifos meus.]*

## 5. O átomo expulso da química - o universo das partículas subatômicas

O desenvolvimento da espectroscopia, a descoberta dos novos elementos químicos e de um novo método para determinar as massas atômicas e moleculares<sup>49</sup> trazem novos elementos que confirmam a teoria atômica.

Durante o século XIX, serão pesquisados fenômenos envolvendo: o comportamento das soluções na passagem de corrente elétrica, a eletricidade, o calor, a luz, e finalmente a radioatividade<sup>50</sup>. Caberá, então, buscar associar estes fenômenos aos constituintes últimos da matéria - os átomos.

*O aprofundamento da explicação da eletrólise ainda dá forças à herança de Dalton. Mas, ao mesmo tempo, ela era a intuição de uma estrutura granular da eletricidade e abala a afirmação do caráter indivisível do átomo. Faraday havia tentado interpretar a eletrólise a partir da existência, sob a influência de um campo elétrico, de moléculas portadoras de cargas elétricas (positivas ou negativas): os íons. Em 1857, Clausius verifica que a lei de Ohm se aplica aos eletrólitos. Ele mostra que essa validade supõe que os íons aí estão no estado livre. Em 1874, Kohlrausch se dedica a um estudo sistemático da condutibilidade dos eletrólitos. Por outro lado, Raoult constata que as soluções eletrolisáveis não se comportam, quando se abaixa sua temperatura, como as outras soluções de mesma concentração. E, em 1887, Arrhenius, tirando as conclusões*

---

<sup>49</sup>Refere-se ao método desenvolvido pelo químico francês François Marie Raoult (1830-1901), a partir dos seus trabalhos sobre congelamento de soluções, realizados em 1882 e 1883.

<sup>50</sup>"A descoberta da radioatividade por Antoine Becquerel (1852-1909) em Paris, no ano de 1896, pareceu confirmar o que os químicos já suspeitavam, então, por algum tempo, isto é, que os elementos eram relacionados quanto à origem. Os novos elementos radioativos, tais como o rádio, que foi isolado em 1900 por Madame Curie (1867-1937), foram considerados como transformáveis, por desintegração espontânea, em outros elementos que, por sua vez, se decompunham em elementos ainda mais leves" (Mason, 1962, p. 381-382).

*de cinqüenta anos de trabalhos sobre eletrólise, desenvolve a teoria da dissociação das moléculas na água (Rosmorduc, 1985, p. 150).*

A eletrólise mostrou que, em uma solução salina, há um movimento na direção dos dois pólos dos eletrólitos - o positivo e o negativo. Tais observações levaram a uma idéia de materialidade das cargas elétricas. Esta, deduzida por Stoney, em 1874, receberá o apoio de Helmholtz em 1881, que afirma:

*"Se admitimos a hipótese de que as substâncias elementares são compostas por átomos, não podemos deixar de concluir que a eletricidade, tanto positiva como negativa, é dividida em partículas elementares definidas que se comportam como átomos de eletricidade" (Rosmorduc, 1985, p. 151).*

Outras experiências são feitas com descargas elétricas através do ar rarefeito e do vácuo. Estes raios, chamados de raios catódicos, fornecerão elementos para novas interpretações sobre a estrutura do átomo. Constata-se nos sucessivos trabalhos as propriedades dos referidos raios<sup>51</sup>.

Em 1895, Jean Perrin mostra que eles são formados por partículas de eletricidade negativa; J. J. Thomson<sup>52</sup>

---

<sup>51</sup>As propriedades observadas são: "se propagam em linha reta, excitam a fluorescência de numerosos corpos, impressionam uma placa fotográfica, são desviados por um campo magnético" (Rosmorduc, 1985, p.151). Estas propriedades decorrem das observações de Crookes, Riecke, J. J. Thomson e Hertz.

<sup>52</sup>Sir Joseph John Thomson. Físico inglês, nasceu em Cheetham Hill, a 18 de dezembro de 1856 e morreu em Cambridge a 30 de agosto de 1940. Estudou em Manchester e, em seguida, em Cambridge. Foi eleito em 1884 para a Royal Society, de que viria a ser presidente em 1915 e 1920. Foi professor de física experimental (1884-1919) do laboratório Cavendish, em Cambridge, onde trabalhou durante 42 anos. Lecionou no Trinity College, de 1918 a 1940. Recebeu o prêmio Nobel de Física em 1906 por seu trabalho sobre a condução de eletricidade através dos gases.

determina a razão entre sua carga e sua massa em 1897<sup>53</sup>. A descoberta do elétron (1897) leva Thomson a propor um modelo para o átomo, agora constituído por partículas positivas e negativas. Ele imaginou o átomo como sendo uma bola positiva com os elétrons (negativos) encravados nela. A sua descoberta e o seu modelo atômico rompem com a idéia de indivisibilidade do átomo, ao admitir a existência de uma partícula subatômica. Segundo Bernal:

*Em 1897 os átomos tinham conquistado um lugar definitivo na física<sup>54</sup>, paradoxalmente por terem deixado de ser átomos (isto é, indivisíveis), exibindo a possibilidade perfeitamente desconcertante de serem divisíveis (Bernal, 1976, p. 738).*

### 5.1. O universo subatômico

Novos fatos colocam em cheque os modelos vigentes de uma forma ainda mais radical. Se os modelos que prevêem a imutabilidade dos elementos - aceitos desde Lavoisier, e que dão sustentação aos argumentos contrários aos velhos preceitos

---

<sup>53</sup>Em 1903, Wilson determina a carga aproximada do elétron. A medida precisa será feita por Milikan em 1913 (cf. Rosmorduc, 1985, p. 171).

<sup>54</sup>Embora a revolução da física eclodisse bruscamente - pode quase datar-se de um ano, 1895 - tem vindo a progredir desde então com aceleração crescente e a difundir-se sobre um campo cada vez maior que abrange toda a ciência física e lhe ultrapassa até os limites. Inclui momentos de descoberta inesperada, como a dos raios X e da radioactividade em 1895-1896, da estrutura dos cristais em 1912, do neutrão em 1932, da cisão nuclear em 1938, dos mesões entre 1936 e 1947. Inclui também grandes realizações teóricas de síntese como a teoria dos quanta, de Planck, em 1900, a teoria da relatividade restrita, de Einstein, em 1905, e a sua teoria da relatividade generalizada, em 1916, o átomo de Rutherford-Bohr, em 1913, e a nova teoria dos quanta de 1925" (Bernal, 1969, p. 731).

alquímicos (da transmutação dos metais) - se confirmavam no modelo atômico vigente, tornam-se, por sua vez, inadequados diante das novas descobertas, principalmente, dos elementos radioativos.

Ernest Rutherford<sup>56</sup>, que estudou as radiações e sua natureza, entre 1899 e 1907, observou que a transmutação era possível:

*Mostrou que o átomo de rádio libertava átomos de um gás, o hélio - já em si um elemento raro e romântico, cuja presença fora primeiramente revelada no Sol pelo carácter especial da luz que emitia - deixando atrás de si outro átomo - o da emanção de rádio. Isto era alquimia, alquimia natural, pois nada havia que se pudesse fazer, até essa altura, para alterar o ritmo de decomposição dos átomos e a sua mudança em outros átomos segundo regras estabelecidas de decomposição radioactiva (Bernal, 1976, p. 740).*

O modelo atômico de J. J. Thomson - que vê o átomo como uma unidade maciça, como uma bola de matéria, positivamente carregada com elétrons, negativamente carregados, encravados nela - será questionado e substituído pelo modelo nuclear proposto por Rutherford. Em 1909, Rutherford e seus colaboradores Hans Geiger (1882-1945) e Ernest Marsden (1889-?) iniciam uma série de experiências sobre a dispersão de

---

<sup>56</sup>Ernest Rutherford nasceu em Nelson, Nova Zelândia, a 30 de agosto de 1871 e morreu em Cambridge, Inglaterra, a 19 de outubro de 1937. Estudou nas universidades de Nova Zelândia e Cambridge. Foi professor de física na Universidade de McGill, em Montreal, Canadá, de 1898 a 1907. Transferiu-se para a Universidade de Manchester como professor de física e diretor do laboratório de física, de 1907 a 1919. A partir de 1919 ocupou a cátedra de física na Universidade de Cambridge, onde também dirigiu o laboratório Cavendish. Lecionou no Royal Institution. Conquistou o prêmio Nobel de Química em 1908.

partículas alfa<sup>56</sup> por lâminas bem finas de metal, culminando na sua clássica experiência realizada em 1911, cujos resultados levaram à proposição do modelo nuclear para o átomo. A história que envolve essa experiência foi relatada, em 1936, na obra: "The development of the Theory of Atomic Structure", da qual foi retirado o seguinte trecho:

*Gostaria de usar este exemplo para mostrar como é freqüente descobrirmos fatos importantes por acidente. Nos primeiros dias, eu havia observado o desvio das partículas alfa e o Dr. Geiger já havia também examinado o fato, com detalhe, em seu laboratório, verificando que, em lâminas finas de metal pesado, o desvio era geralmente pequeno, da ordem de um grau. Um dia, Geiger aproximou-se de mim e disse: 'Você não acha que o jovem Marsden, que estou treinando em métodos radioativos, poderia iniciar uma pequena pesquisa?' Como eu já havia pensado nisso, respondi: 'Por que não deixar que ele verifique se as partículas alfa podem ser desviadas de um ângulo maior?' Confesso que não acreditava que isso fosse possível, uma vez que sabíamos que as partículas alfa eram muito rápidas, pesadas e com uma grande energia, e também se poderia prever que, se o desvio total era causado pelo efeito acumulado de uma série de pequenos desvios, a possibilidade de uma partícula alfa retornar era muito pequena. Lembro-me que dois ou três dias depois Geiger chegou muito animado dizendo: 'Nós obtivemos algumas partículas que retornaram em direção à fonte!' Foi talvez a coisa mais incrível que me aconteceu na vida. Foi quase tão incrível como se alguém atirasse uma granada de 15 polegadas contra uma folha de papel e ela voltasse o atingindo. Refletindo sobre o fato, concluí que esse retorno devia ser causado por uma única colisão e, quando fiz alguns cálculos, verifiquei ser impossível obter qualquer desvio dessa ordem de grandeza, a não ser que se tivesse um sistema no qual a maior parte da massa estivesse concentrada em um núcleo diminuto. Foi então que idealizei o átomo como tendo um pequeno centro maciço dotado de carga elétrica. Procurei matematicamente quais eram as leis às quais o desvio devia obedecer e descobrir que o número de partículas alfa desviadas de um certo ângulo era*

---

<sup>56</sup>As partículas alfa constituem-se de dois prótons e dois nêutrons associados; correspondem portanto ao núcleo bipoisitivo do átomo de hélio.

*proporcional à espessura da lâmina metálica, ao quadrado da carga nuclear e inversamente proporcional à quarta potência da velocidade da partícula. Essas deduções foram, mais tarde, confirmadas por Geiger e Marsden numa série de belos experimentos (Rutherford, in Espiridião, 1977, p. 17-18).*

A partir das observações feitas nestes experimentos, Rutherford propõe e dimensiona o átomo nuclear: o núcleo, parte onde está concentrada a massa do átomo, representa apenas cerca de 1/10.000 do espaço total ocupado pelo átomo<sup>57</sup>; o restante do espaço é ocupado pelos elétrons livres e muito leves, que giram em torno do núcleo. Este modelo diz que, ao nível microscópico, isto que chamamos de matéria é, na verdade, marcado pela existência de um grande vazio.

Embora este modelo planetário para o átomo, onde o núcleo representa um astro maior, com os elétrons girando ao seu redor como satélites, resolvesse em parte as observações feitas sobre o desvio das partículas alfa, não era possível explicar uma série de questões:

*A representação de um átomo como sendo constituído de um núcleo positivo rodeado de elétrons negativos apresenta um problema. Devido às suas cargas opostas, os elétrons são atraídos pelo núcleo. Assim, se fossem estacionários, os elétrons deveriam ser puxados para o núcleo; devemos supor, portanto, que possuem algum tipo de movimento, que neutraliza a atração pelo núcleo. No entanto, se estão em movimento, devem irradiar energia, visto ter sido sempre observado que cargas elétricas, movimentando-se sob a influência de forças de atração, despendem energia. Tal perda de energia produziria uma diminuição da velocidade do elétron, tornando-o, pois, menos habilitado a evitar a atração do núcleo. Assim sendo, o elétron executaria um*

---

<sup>57</sup>Para visualizarmos a relação entre o raio do átomo e o raio do núcleo, podemos fazer a seguinte analogia: se o núcleo do átomo atingir o diâmetro de 1 cm, o átomo terá de 100 m a 1 km de diâmetro.

*movimento em espiral em direção ao núcleo, caindo dentro deste e produzindo a destruição dos átomos. Como os átomos não se destroem, o argumento acima deve apresentar alguma falha (Sienko, 1978, p. 50).*

A estas questões juntavam-se as observações espectrais. Experiências usando como fonte de luz uma chama à qual foi adicionado um sal volátil, mostravam um espectro linear, formado de linhas estreitas de cores. O físico dinamarquês Niels Henrik David Bohr (1885-1962), partindo das observações dos espectros, propôs que as leis de Maxwell (Eletromagnetismo), bem como as leis da física clássica de Newton, não eram válidas para o elétron, partícula cuja massa é muito pequena. Em 1913, expôs a sua nova teoria, na qual a energia total (cinética e potencial) de um elétron em um átomo é *quantizada*, isto é, *restrita a apenas determinados valores*<sup>58</sup>. Assim, a absorção e a emissão de energia por um elétron dá-se segundo valores específicos.

Com esta hipótese Bohr estabeleceu as bases para a mecânica quântica, que descreve como os pequenos corpos se movimentam. O átomo deixou de ser explicado pelas leis do movimento de Newton<sup>59</sup> - foi o fim do átomo mecânico. Entramos assim na era do átomo elétrico.

---

<sup>58</sup>Cf. Sienko, 1978, p. 52.

<sup>59</sup>As leis da mecânica quântica também podem ser aplicadas a corpos maiores. Neste caso, os seus resultados são idênticos aos obtidos através das leis do movimento de Newton.

Os pressupostos de Bohr e os trabalhos que se seguiram nesta linha criaram um modelo atômico fundamentado na mecânica quântica<sup>60</sup>. Foi possível fazer uma série de representações, amplamente adotadas pelos químicos e pelos físicos, as quais talvez tenham para nós um sentido muito mais didático do que uma forma de nos aproximar da realidade subatômica, já que o mundo subatômico muitas vezes foge às nossas possibilidades de compreensão:

*A teoria quântica nasceu nas primeiras décadas do século XX, gerada em grande parte por dois homens, o físico alemão Werner Heisenberg e o físico dinamarquês Niels Bohr. Segundo Bohr e Heisenberg, o domínio subatômico constituía uma paisagem em que os conceitos sensatos de distância, tempo e divisão estrita entre consciência e realidade deixavam de existir. Desde que eles formularam essa idéia, os físicos têm imaginado se a teoria quântica é correta. O próprio Einstein estava convencido de que o mundo estranho e às vezes sem sentido descrito pela teoria quântica indicava que a própria teoria estava de algum modo errada ou incompleta (Brockman, 1988, p. 74).*

Além da teoria quântica, outro instrumental teórico necessário para o tratamento do universo atômico será a mecânica estatística, principalmente quando se trabalha ao nível macroscópico, considerando-se as grandezas microscópicas. A mecânica clássica mostra-se ineficiente para descrever as interações entre um número muito grande de partículas<sup>61</sup>, então abandona-se a descrição mecânica, substituindo-a por uma

---

<sup>60</sup>O estabelecimento definitivo da teoria quântica ocorreu no período que vai de 1924 a 1928 com os trabalhos de Louis De Broglie, Erwin Schrödinger, Max Born, Werner Karl Heisenberg e outros.

<sup>61</sup>Para qualquer quantidade macroscópica de matéria, o número de partículas é extremamente elevado. Um exemplo é o número de Avogadro ( $N_A = 6,023 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ ), amplamente usado na física e na química.

descrição estatística. Não se trabalhará mais com os movimentos dos corpúsculos individuais, mas com o comportamento médio que esses movimentos engendram.

Os trabalhos posteriores a Bohr que consolidam o modelo quântico, levam a terrenos muito mais movediços. Os constituintes do átomo não se reduzem somente àquelas partículas que representam as cargas positivas e negativas. Há uma expansão do universo subatômico onde, cada vez mais, podemos incluir uma série de novas entidades. Brockman faz referência a algumas delas: elétrons, fótons (partícula ondulatória de luz), partícula W, partícula Z, quarks, antiquarks, prótons e antiprótons, pión (variedade de méson), neutrinos e, ainda, a outras partículas exóticas não nomeadas pelo autor (cf. Brockman, 1988, p. 74-99). Particularmente no nosso "universo químico", consideramos o átomo constituído de prótons (partículas positivas), elétrons (partículas negativas) e neutrons.

## 5.2. Um átomo para a química

Dentro da química, muitas vezes encontramos um tratamento corpuscular para os constituintes atômicos, isto é, pensamos neles como coisas captáveis. Um exemplo é o elétron: na física quântica, ele não é captável, é um ser indeterminado, algo que nunca será tocado; já na química, como é o caso da

química orgânica, ele é tratado como um objeto manipulável, isto é, faz-se uma representação destas partículas conforme as conveniências de cada área do conhecimento.

Na nova física, os modelos explicativos, em particular a teoria atômica da matéria, fogem completamente à nossa capacidade perceptiva, ou melhor, às nossas experiências empíricas. Entramos num mundo de construções, no qual a própria linguagem, a nossa forma de expressar os fenômenos, deve ser revista. "Seja qual for a linguagem descritiva a que tenhamos chegado, o compreender a realidade *torna-se* a realidade" (Brockman, 1988, p. 11).

Assim, o conceito de corpúsculo, que durante séculos foi fundamental para a compreensão e o desenvolvimento de um modelo explicativo, assume conotações que contradizem as nossas impressões primeiras. No universo atômico e subatômico, corpúsculo tem as seguintes conotações: "*O corpúsculo não é um pequeno corpo*"; "*O corpúsculo elétrico não é um corpo carregado de eletricidade*"; "*O corpúsculo não tem dimensões absolutas assimiláveis*"; "*Uma vez que não podemos atribuir uma forma determinada ao corpúsculo, também não podemos atribuir-lhe um lugar preciso*". Para Bachelard, estas características que são atribuídas aos corpúsculos, levam a uma confusão e ruptura: "Assim a intuição confunde-se, quer ao buscar o lugar absoluto, quer ao procurar a figura absoluta. Neste ponto, assiste-se a

uma ruptura total com a imaginação cartesiana" (Bachelard, 1984, p.61).

*Na verdade, essas partículas básicas não podem nem mesmo ser chamadas de "objetos", pois não são objetos no sentido em que normalmente os concebemos. No início do século XX os físicos se defrontaram com um conjunto de dados brutos que necessitavam de uma metáfora organizada. A idéia do elétron foi proposta pelo físico britânico J. J. Thomson. Entretanto, ninguém jamais viu nem verá um elétron. Tudo que se pode ver é um lampejo numa tela fluorescente. Apesar de em geral se concordar que a capacidade de prever a atividade do elétron seja prova de sua realidade, alguns têm argumentado que o elétron existe mais como conceito do que como entidade real (Brockman, 1988, p. 74).*

A ruptura não impede que a química do século XX se reorganize em função desta nova realidade, tanto assim que a própria tabela de Mendeleev será reorganizada agora em função dos constituintes dos átomos e um novo conceito surge - o de número atômico, que representa o número de prótons em um átomo. Já as propriedades químicas dos elementos serão explicadas em função dos seus elétrons, e da distribuição destes em diferentes níveis de energia.

A química não perderá o seu caráter fenomenológico, os seus conceitos não são estáticos, inserem-se justamente no movimento da matéria. Podemos dizer que há uma concepção dialetizada dos fenômenos, pois os conceitos não se aplicam a unidades fixas, requerem antes de tudo a ocorrência de um fenômeno. Isto fica claro quando se trabalha com conceitos, tais como: ácido-base, oxidante-redutor, equilíbrio, etc.

A partir dos novos modelos explicativos e das novas possibilidades técnicas, a química irá tornar os seus conhecimentos mais claros e distintos:

*Podíamos escrever toda a história da química relatando as exigências de homogeneização nos diferentes estádios do progresso da experiência. A substância homogênea é um ponto de partida possível para um estudo da matéria. (...) Nós entramos com a química no reino das substâncias nítidas, no reino das substâncias que a técnica torna nítidas, dando-lhes uma total homogeneidade (Bachelard, 1984, p. 98-99).*

Podemos dizer que, por um lado, a química que se constrói ao longo do século XIX constitui-se dentro de uma racionalidade, através de modelos matemáticos e de uma experimentação cada vez mais sofisticada, realizando o sonho de Lavoisier. Mas por outro, há o rompimento com uma materialidade, agora "a matéria é energia", e por trás de toda a matéria está a energia.

*O átomo não só atomiza todos os fenômenos que se concentram nele, mas também dá uma estrutura a toda energia que emite. O próprio átomo é transformado de maneira descontínua pela absorção ou emissão de energia descontínua. Por conseguinte, não basta mais dizer que a matéria nos é conhecida pela energia como a substância por seu fenômeno, tampouco se deve dizer que a matéria tem energia, mas sim, no plano do ser, que a matéria é energia e que reciprocamente a energia é matéria. Esta substituição do verbo ser ao verbo ter, encontrá-la-emos em muitos pontos da nova ciência (Bachelard, 1988, p. 35).*

Para encontrar Eros e Anteros, o homem acaba penetrando no universo subatômico, um mundo totalmente estranho

em relação àquilo que ele, até então, considerou ser o fundamento da sua realidade. Mas nesta trajetória, parte do poder de Eros e Anteros é conquistado, e agora o homem irá usar deste poder para transformar o seu próprio mundo.

## CAPÍTULO III

### O OURO

#### 1. A química resolvendo alguns problemas e entrando na fábrica

A idéia de que o conhecimento químico tem um valor, enquanto capaz de dar respostas a uma série de problemas enfrentados pelo homem, não é uma exclusividade do século XIX. Como foi mostrado no primeiro capítulo, a partir do século XVII, há todo um projeto social emergente, no qual a ciência é cada vez mais solicitada a dar respostas aos problemas que se quer atacar, ou para justificar as medidas ordenadoras que se impõem à sociedade.

Mas não podemos pensar que, naquele momento, a ciência fosse constituída de um conjunto de idéias e saberes capazes de dar respostas a todos os problemas. No caso do conhecimento sobre a matéria, que vai se concretizando enquanto conhecimento químico, não é algo exclusivo dos sábios: encontramos um conjunto de práticas que se desenvolvem e se mostram úteis na resolução de problemas. Mas aos poucos ocorrerá uma aproximação dos dois saberes: por um lado, pela

transformação que há na forma de se fazer ciência, com a valorização da experiência, e por outro, em função de uma evolução da técnica, que ocorre independente da ciência e cria problemas que somente o conhecimento prático não é capaz de resolver.

Algumas especialidades vão se constituindo ao longo da história e, nos séculos XVII e XVIII, encontramos farmacêuticos, espagiristas, alquimistas, ferreiros e uma série de outros profissionais que em suas práticas trabalham com diferentes materiais.

*Até o século XVIII as principais profissões especificamente químicas eram a de farmacêutico, que preparava misturas, em pequena escala, para uso medicinal, e a de fabricante de alume, que preparava este último em escala relativamente grande, para o tratamento e tintura de couros, papel e tecidos. A relação tradicional existente entre a profissão de químico e a indústria têxtil acentuou-se ainda mais durante a revolução industrial, quando foi iniciada a manufatura em grande escala de produtos químicos. As novas máquinas para fiação e tecelagem, introduzidas durante o século XVIII por homens como Kay, Hargreaves, Crompton, Arkwright e outros, deram tão extraordinário impulso à produção de tecidos, que os problemas químicos do alvejamento e, depois, da tintura da fazenda, tornaram-se consideráveis (Mason, 1962, p. 422)*

### 1.1. A química para branquear e limpar

A produção de tecidos em quantidades cada vez maiores gerou uma carência de insumos, principalmente, dos usados nos processos de branqueamento<sup>42</sup>. Surge, então, a necessidade do aperfeiçoamento dos métodos de produção de algumas substâncias que, embora já conhecidas, não são encontradas em quantidades suficientes para atender a novas demandas. Estabelece-se, então, uma relação da química com a indústria têxtil, que se torna uma das características do desenvolvimento da química no século XIX, segundo Hobsbawn:

*A revolução que transformou a astronomia e a física em ciências modernas ocorrera no século XVII; a que criou a química estava em pleno desenvolvimento no início de nosso período. De todas as ciências, esta foi a mais íntima e imediatamente ligada à prática industrial, especialmente aos processos de tingimento e branqueamento da indústria têxtil (Hobsbawn, 1977, p. 305).*

No final do século XVIII, as carências levam ao oferecimento de prêmios para o desenvolvimento de novos métodos de produção, como ocorreu com a França, na carência de álcalis naturais. "Em 1775 a Academia de Ciências de Paris ofereceu um prêmio de 12.000 francos por um método de fabrico de soda tendo-

---

<sup>42</sup>"Os tecidos haviam sido alvejados, tradicionalmente, pela imersão alternada em soluções ácidas de leite azêdo e em soluções alcalinas de cinzas vegetais, assim como pela exposição ao sol, em campos de alvejamento, processo que ocupava todos os meses estivais de cada ano. Sentiu-se, em primeiro lugar, uma carência no suprimento do ácido natural - leite azêdo - (...). A carência seguinte - de álcalis naturais (...)" (Nason, 1962, p. 422-423).

se como matéria prima o sal comum" (Mason, 1962, p. 423). Embora estas práticas muitas vezes não tenham levado a soluções definitivas, serviam entretanto para chamar a atenção dos sábios para um determinado problema. O método de fabricação de soda a partir do sal comum só foi descoberto 14 anos depois, em 1789, pelo médico Nicolas Leblanc (1742-1806), que obteve a soda (carbonato de sódio) e sulfeto de sódio a partir de sal comum, ácido sulfúrico, carvão vegetal e pedra calcária. Mas a produção industrial em larga escala só começa em 1814 na Inglaterra<sup>63</sup>. A indústria de álcalis constituirá um dos pilares da chamada indústria química pesada<sup>64</sup>.

Em muitos casos, a introdução de inovações e de novas práticas gerou necessidades, que abriram os mercados para produtos considerados sem nenhum valor, ou mesmo para aqueles que causavam uma série de incômodos. Um bom exemplo foi o aproveitamento de carcaças de animais na fabricação de sabões e fertilizantes.

*O tratamento do sebo pela cal torna também inodora uma indústria que, no passado, suscitava incessantes queixas. Graças aos trabalhos do jovem Baruel, a fabricação do sal*

---

<sup>63</sup>O método LeBlanc será, a partir de 1863, substituído pelo processo desenvolvido pelo químico belga Ernest Solvay, método empregado até os dias de hoje.

<sup>64</sup>"A fabricação da barrilha, da soda cáustica e do cloro constitui uma das mais importantes entre as indústrias químicas pesadas. Estas substâncias estão nas vizinhanças do ácido sulfúrico e da amônia quanto ao montante do valor do respectivo consumo. As aplicações são tão diferentes que é difícil haver um bem de consumo que, num certo estágio da sua fabricação, não tenha dependido do cloro e dos álcalis. Os três produtos são quase completamente vendidos à indústria para a fabricação de sabões e detergentes, de fibras e de plásticos, de vidros, de substâncias petroquímicas, de polpa de madeira e de papel, de fertilizantes, explosivos e solventes, além de outras substâncias" (Shreve, 1980, p. 185).

*amoníaco a partir dos restos ósseos, das carcaças e das águas de depuração passa a se desenvolver. A demanda de matéria-prima incita à coleta dos restos animais que obstruíam os condutores. Ela contribui para a limpeza da cidade. Desde que a usina de Pluvinet se instalara em Clichy, "não se vêem mais os ossos formarem barreiras nem se arrastarem pelas avenidas da capital". Uma grande quantidade do sangue dos animais que corria pelo calçamento e infectava o ar na vizinhança dos matadouros pode a partir daí ser tratada numa fábrica de secagem que exporta seus produtos para refinarias de açúcar instaladas nas colônias (Corbin, 1987, p. 157-158).*

A possibilidade de se substituir matérias-primas, fazer uso das indesejáveis, bem como a introdução de novos produtos no mercado abrem novas possibilidades para o desenvolvimento da indústria química. Práticas como a desodorização das cidades só se concretizarão a partir do momento em que a indústria química passar a obter lucros. Segundo Corbin, será o fator econômico que impulsionará as práticas desodorizantes: "a busca do lucro conduz à desodorização do espaço público de maneira mais segura do que o fantasma da insalubridade" (Corbin, 1987, p. 158).

## 1.2. A química é dos químicos?

Ao se estabelecer enquanto um conhecimento de grande aplicabilidade, a química torna-se uma especialidade. Este conhecimento, que surge como consequência de uma nova forma de se fazer ciência, e da incorporação das técnicas desenvolvidas empiricamente, se mostrará cada vez mais útil,

cada vez mais como um bem, como um produto que tem o seu devido valor.

*Porém o certo é que a química oferecia maiores possibilidades de aplicação para os novos procedimentos industriais, o que contribuiu, direta e indiretamente, para a formação e o emprego de um número sempre crescente de químicos. Com efeito, desde o começo do século e, cada vez em maior medida, até o final do mesmo, os químicos formam o núcleo mais nutrido das recém descobertas especialidades científicas (Bernal, 1973a, p. 74).*

Neste momento haverá a necessidade da criação dos meios para a formação dos especialistas, o que significa criar as condições para reprodução e expansão daquele saber<sup>65</sup>. No início do século XIX, a criação dos cursos para a formação de químicos, e a introdução da química e das atividades experimentais nos cursos superiores consolidam a importância desta área do conhecimento.

Embora as necessidades do setor produtivo não possam ser apontadas como os únicos fatores que impulsionaram o desenvolvimento da química, como vimos no primeiro capítulo, há momentos em que uma combinação de fatores levou a uma aceleração na produção e na pesquisa. Estes fatores podem ser de naturezas

---

<sup>65</sup>"Enquanto vai desaparecendo o tradicional aprendizado da oficina artesanal, controlado pelas corporações de artes e ofícios (na Inglaterra foi criado por lei em 1381 e, por lei, abolido em 1814), a instituição escola vai atingindo todas as classes produtoras, recebendo novos conteúdos científicos e técnicos. Com base nesses conteúdos renova-se também a universidade, na qual as ciências matemáticas e naturais acabam separando-se definitivamente da velha matriz das artes liberais, onde se situaram durante milênios como *philosophia naturalis* ou física, e constituindo-se como um corpo ou faculdade em si, destinado a tornar-se cada vez mais complexo. Ao lado das universidades surgem as escolas superiores de engenharia. O renascimento da universidade, do qual a história da universidade alemã, reformada por Humboldt, é um exemplo típico, consiste no fim do seu caráter abstrato e universalístico e na assunção de todo um conjunto diferenciado de especializações" (Manacorda, 1989, p. 288).

diversas: surgem a partir de projetos políticos, de situações emergenciais, ou nas disputas por mercados. Também não se restringiram a um único país, apesar de que há um caminho dentro da Europa, no século XIX, no qual podemos seguir as mudanças, sejam na produção, no ensino ou na pesquisa científica. Assim, o grau de desenvolvimento, a abundância ou a carência de determinados materiais, e mesmo os rumos políticos de cada país, irão influenciar no avanço da pesquisa científica e na absorção da sua produção pela indústria.

### 1.3. A ciência convertida

As transformações na relação da química com o desenvolvimento técnico e da indústria superaram o simples aperfeiçoamento de técnicas e de processos, criando novas áreas de atuação, com características próprias, que abriram novas possibilidades quanto à forma de se produzir, aos produtos e ao uso das matérias-primas.

Mas não podemos pensar que a relação entre a produção científica e o desenvolvimento dos setores produtivos aconteceu de uma forma mecânica, nem que fosse clara nos seus primórdios:

*Duas tendências principais e complementares se põem em evidência. De um lado está o estudo científico de procedimentos industriais já estabelecidos, como o uso das máquinas a vapor ou a fabricação do ferro, que conduziram a novas generalizações como a da conservação de energia ou a*

*física da radiação. De outro lado, temos uma série de avanços científicos, em especial no campo da eletricidade e da química, que possibilitaram a criação de novas indústrias, como a telegráfica e a dos corantes sintéticos. Estas relações de que falamos, hoje facilmente constatáveis, eram de difícil percepção na época. Apesar do discurso acerca da dependência mútua entre ciência e indústria, o anárquico progresso desta última tornou praticamente impossível que os vínculos entre uma e outra se estabelecessem sobre uma base racional ou planejada (Bernal, 1973a, p. 47).*

A aplicação da ciência para a resolução de problemas da indústria ultrapassará rapidamente o plano das necessidades imediatas e tomará um caráter mais complexo. A ciência torna-se um elemento que gera transformações, não somente para atender às necessidades criadas na produção, mas também como forma de reprodução do capital, sendo assim, a transformação passa a ser uma necessidade do capital. Segundo Maurice Dobb:

*Na verdade, temos de encarar o fato de que, uma vez vinda a transformação crucial, o sistema industrial embarcou em toda uma série de revoluções na técnica de produção, como traço notável da época do capitalismo amadurecido. O progresso técnico passara a ser um elemento do mundo econômico aceito como normal, e não como algo excepcional e intermitente. (...) A essa tendência cumulativa, juntaram-se duas outras: a primeira no sentido de uma produtividade crescente da mão-de-obra, e portanto (dada a estabilidade ou, pelo menos, nenhum aumento comparável de salários reais) a um fundo cada vez maior de mais-valia, do qual se derivava nova acumulação de capital; e a segunda no sentido de uma concentração cada vez maior da produção e da propriedade do capital. Como se aceita hoje em dia, essa última tendência, filha da complexidade crescente do equipamento técnico, é que iria preparar o terreno para uma outra transformação crucial na estrutura da indústria capitalista, e gerar o "capitalismo da sociedade por ações", monopolista (ou semimonopolista ou quase monopolista) em grande escala, da era atual (Dobb, in Marques, 1990, p. 33-34).*

A relação entre ciência e produção industrial que se estabelece no século XIX representa, segundo Braverman, o processo de "incorporação da ciência à indústria capitalista", ou: "A ciência é a última - e depois do trabalho a mais importante - propriedade social a converter-se num auxiliar do capital" (Braverman, 1977, p. 138).

A incorporação da química deu-se no processo de tecnificação e expansão da produção de bens de consumo. Gerar novos produtos, produzir a partir de matérias-primas baratas, substituir produtos e aprimorar os processos industriais tornaram-se objetivos almeçados por capitalistas e especialistas. As conquistas neste sentido contribuíram para o desenvolvimento econômico e militar de nações: criando novas indústrias, substituindo importações, conquistando novos mercados e abrindo novas possibilidades para o uso e substituição de matérias-primas.

Estas mudanças na forma de produzir contribuem para o acúmulo de capital, pois aumentam a produtividade e permitem um melhor aproveitamento das matérias-primas, dos subprodutos e da energia no processo de produção.

*Cada progresso da química multiplica o número dos materiais úteis e as aplicações dos já conhecidos, ampliando com o crescimento do capital o seu campo de aplicação. Além disso, ensina como lançar de volta no ciclo do processo de reprodução os resíduos dos processos de produção e de consumo, criando sem prévio dispêndio de capital nova matéria explorável pelo capital. Do mesmo modo que a exploração incrementada das riquezas naturais por meio apenas de maior tensão da força de trabalho, constituem a*

*ciência e a técnica uma potência para expandir o capital independentemente da magnitude dada do capital em funcionamento. Ambas atuam ao mesmo tempo sobre a parte do capital original que esteja sendo renovada. O capital incorpora gratuitamente em sua nova forma o progresso social que se realizou sem qualquer interferência de sua forma antiga (Marx, 1982, p. 703).*

## 2. A química no mundo do trabalho

### 2.1. As novas insalubridades

A incorporação da ciência à indústria capitalista gera transformações de ambos os lados. Internamente à produção, o desenvolvimento de novas técnicas transforma o trabalho e as relações de trabalho, aumentando a distância entre o trabalhador e a produção da técnica, tirando cada vez mais de suas mãos a possibilidade de interferir no processo produtivo. Segundo Marx:

*A divisão manufatureira do trabalho opõe-lhes as forças intelectuais do processo material de produção como propriedade de outrem e como poder que os domina. Esse processo de dissociação começa com a cooperação simples em que o capitalista representa diante do trabalhador isolado a unidade e a vontade do trabalhador coletivo. Esse processo desenvolve-se na manufatura, que mutila o trabalhador, reduzindo-o a uma fração de si mesmo, e completa-se na indústria moderna, que faz da ciência uma força produtiva independente de trabalho, recrutando-a para servir ao capital<sup>66</sup> (Marx, 1982, p. 413).*

*O homem de saber e o trabalhador produtivo se separaram completamente um do outro, e a ciência em vez de permanecer em poder do trabalho, em mãos do trabalhador para aumentar suas forças produtivas em seu benefício, colocou-se contra*

---

<sup>66</sup>As citações foram transcritas respeitando a ortografia presente na obra consultada.

*êle em quase toda parte... O conhecimento torna-se um instrumento que pode separar-se do trabalho e opor-se a êle*<sup>67</sup> (Thompson, in Marx, 1982, p. 413).

As novas técnicas de produção, que serão introduzidas na indústria química moderna, estabelecem novas condições de trabalho com características próprias a este setor produtivo. São introduzidos os sistemas de fluxo contínuo, dentro dos quais a matéria-prima é introduzida para ser transformada no produto, restringindo-se o papel do operário ao controle, à manutenção e alimentação do sistema onde se operam as transformações.

Outra característica da indústria, onde a produção envolve transformações químicas, nos é dada por Marx:

*A diferença entre substância principal e acessória desaparece na fabricação em que se processe uma transformação química, pois nesse caso nenhuma das matérias-primas*<sup>68</sup> *empregadas reaparece como a substância do produto* (Marx, 1982, p. 206).

As transformações que se operam na indústria pela introdução das novas técnicas, não representarão melhorias nas condições de trabalho. Na indústria química, além da extensa jornada de trabalho, das péssimas condições de iluminação e de

---

<sup>67</sup>Nesta nota, retirada da obra de William Thompson: *An Inquiry into the Principles of the Distribution of Wealth*, Londres, 1824, p. 274; Marx mostra que a preocupação é anterior à sua obra. [Grifo meu.]

<sup>68</sup>A matéria-prima pode ser a substância principal de um produto, ou contribuir para sua constituição como material acessório. O meio de trabalho consome o material acessório: assim, a máquina a vapor, o carvão; a roda, o óleo; o cavalo de tração, o feno. Ou o material acessório é adicionado à matéria-prima, para modificá-la materialmente: o cloro ao pano cru, o carvão ao ferro, a anilina à lã; ou facilita a execução do próprio trabalho: os materiais, por exemplo, utilizados para iluminar e aquecer o local de trabalho" (Marx, 1982, p. 206).

ventilação, os operários ainda ficam expostos aos mais variados vapores, exalados na produção<sup>69</sup>. Mas estas condições não preocupam nem o capitalista, nem as autoridades, que procuram apenas apaziguar os conflitos, quando a vizinhança das indústrias se sente incomodada.

Já os especialistas, os técnicos - aqueles que introduzem nos processos produtivos as suas novidades - não se mostram sensíveis às condições sob as quais os trabalhadores são mantidos. "Na maioria das vezes, dizem os *experts*, os vapores químicos só são perigosos para os operários que os respiram de muito perto.(...) A noção de insalubridade,(...) só se aplica à vizinhança" (Corbin, 1987, p. 172). Nas situações em que são chamados a opinar, acabam se identificando com os interesses dos industriais, mas se justificam, expressando uma crença em um progresso que é auto-regulável e tende somente a trazer benefícios.

O episódio em que Napoleão, após consultar os especialistas, decretou que os dejetos da fábrica de óleo pirogênio, cujos odores incomodaram o imperador, fossem jogados no rio (Decreto Real de 1815), ilustra bem a forma como os problemas dessa natureza eram tratados.

*A regulamentação é de inspiração industrialista; proteger o patrão contra o ciúme ou a malevolência da vizinhança, assegurar sua tranqüilidade e com isto permitir a expansão*

---

<sup>69</sup>Marx dá como exemplo de atividades insalubres: as fundições de cobre, a fabricação de botões, as oficinas de esmaltar, de galvanizar e de laquear (cf. Marx, 1982, p. 530).

*de sua empresa constituem suas preocupações principais. Os sábios do Instituto pretendem, conforme eles próprios confessam, aclimatar a indústria e impor sua presença no coração da cidade, assim como outrora haviam conseguido obrigar a opinião pública a suportar as oficinas de ferreiros, caldeireiros, toneleiros, fundidores, tecelões, "cuja profissão é mais ou menos incômoda para os vizinhos". Estava esquecido o projeto, defendido no final do Antigo Regime, de transferir as oficinas para o campo. A presente tolerância é reforçada pela convicção de que o desenvolvimento da química e os progressos quanto à "condução do fogo" poderão muito em breve abolir os malefícios. Como se lê no relatório de 1809, algumas usinas de soda e de cianureto já funcionam sem causar qualquer incômodo (Corbin, 1987, p. 169).*

## 2.2. Especialistas assalariados

Ao longo do século XIX, a necessidade cada vez maior de inovações, e de respostas aos problemas que surgem a partir da introdução das inovações, exige mecanismos de produção científica mais eficientes. A produção científica será institucionalizada e profissionalizada, e sua gestão será assumida pelo Estado e pelo capitalista.

No processo de incorporação e de institucionalização da pesquisa científica, o próprio trabalho do cientista sofrerá transformações. Serão criadas instituições para a produção científica, e o investigador científico tornar-se-á um profissional destas instituições. Haverá, ao longo do século XIX, uma tendência ao desaparecimento do inventor que trabalha individualmente e do empresário científico, surgindo uma nova profissão: a de investigador científico.

Este processo de profissionalização passa pelas reformas no ensino, que criam as condições para a formação dos novos profissionais. Bernal faz referência ao caso da Alemanha, onde o crescimento industrial, na segunda metade do século XIX, está associado à produção científica<sup>70</sup>, que tem como característica o fato de ser ocupada por um determinado segmento social.

*A ciência iria constituir, durante muitos anos, monopólio de uma elite da classe média - a *intelligentzia* liberal, como era conhecida na Europa - e, inevitavelmente, continuava a ser limitada e caracterizada pelo ponto de vista dessa classe. Em meados do século XIX tal classe não desprezava a utilidade prática; estava até profundamente interessada nos grandes movimentos industriais do seu tempo; acreditava firmemente na inevitabilidade do Progresso, mas repudiava com igual firmeza toda e qualquer responsabilidade pelos seus resultados desagradáveis e perigosos (Bernal, 1976, p. 564).*

Os profissionais atuarão em diversas frentes: em instituições de ensino, de pesquisa e na indústria. Esta atuação marca a separação entre o momento de concepção de uma determinada tecnologia e a sua aplicação. Como vimos, na indústria química, onde as transformações ocorrem em sistemas fechados, o trabalhador estará privado de interferir no processo, sua função será apenas de controlar e alimentar o sistema, segundo um plano previamente determinado. Já o químico será aquele que conhece as particularidades das transformações, e que dentro dos laboratórios irá criá-las e desenvolvê-las.

---

<sup>70</sup>Esta associação será mostrada posteriormente.

Esta característica da indústria química permitirá uma interferência, cada vez maior, da produção científica sobre o processo produtivo. O conhecimento sobre o processo passa a ser uma propriedade do capitalista. Por outro lado, do operário da indústria química exige-se muito pouco ou, até mesmo, nenhum conhecimento sobre o que se processa dentro dos sistemas de produção. Cabe a este apenas cumprir determinadas tarefas como: manter a regulagem de uma válvula, alimentar o sistema com este ou aquele material, ou fazer a manutenção da parte mecânica dos sistemas. Para Marx, as inovações da técnica têm um sentido muito mais amplo:

*Por meio da maquinaria, dos processos químicos e de outros modos, a indústria moderna transforma continuamente, com a base técnica da produção, as funções dos trabalhadores e as combinações sociais do processo de trabalho (Marx, 1982, p. 557-558).*

### 3. A Alemanha mostra ao mundo como tirar ouro de uma caixa de areia

#### 3.1. A influência francesa

Embora até aqui tenhamos tomado o desenvolvimento da química de uma forma genérica, e as relações estabelecidas sejam muitas vezes irreconhecíveis nos casos particulares, vamos agora tratar de uma situação específica, pelo menos no que diz respeito ao lugar onde ocorreu uma série de transformações, em

um espaço de tempo relativamente curto. Refiro-me ao desenvolvimento da pesquisa científica, em particular da química, e do desenvolvimento da indústria na Alemanha, nas quatro últimas décadas do século XIX e primeiras do século XX.

O desenvolvimento das instituições de ensino e pesquisa na Alemanha, no século XIX, sofreu inicialmente uma influência francesa. Esta influência manifestou-se através da criação de instituições de ensino, a partir do modelo francês, e da formação de alguns de seus eminentes cientistas na França. Segundo Hobsbawn:

*O choque da Revolução Francesa também sacudiu a letargia educacional da Prússia, e a nova Universidade de Berlim (1806-10), fundada como parte do despertar prussiano, tornou-se o modelo da maioria das universidades alemães que, por sua vez, viriam criar o padrão das instituições acadêmicas em todo o mundo (Hobsbawn, 1977, p. 303).*

A influência francesa esteve presente na instalação do primeiro laboratório universitário de pesquisa química, o de Liebig, em Giessen, em 1825. Este laboratório tornar-se-á um modelo para as futuras instituições científicas, dentro e fora da Alemanha.

*Neste centro ensinaria durante 28 anos, período no qual Giessen se converteu na primeira escola de química da Alemanha, senão do mundo; uma escola que constituiu a base do ensino e dos laboratórios de hoje (Bernal, 1973a, p. 78).*

Na primeira metade do século XIX, a produção científica cresce, destacando-se particularmente os trabalhos

com compostos orgânicos<sup>71</sup>. Na segunda metade, começa a fase da aplicação da química orgânica, e ocorre o nascimento da indústria química leve. Os caminhos que levam a esta situação são mostrados no seguinte trecho da obra de Braverman:

*A liderança na química e suas aplicações industriais pertenceu primeiro à França, sobretudo depois que a supressão dos fornecimentos de soda, açúcar e outros produtos durante as guerras napoleônicas "elevou a indústria química francesa e contribuiu para dar à França a predominância em química por trinta anos". Assim, os alemães e outros aprenderam sua química na França na primeira metade do século XIX; um desses estudantes era Justus von Liebig, que, depois de estudar com Gay-Lussac e outros químicos franceses, voltou à Alemanha para lançar os alicerces para a moderna química orgânica e especialmente agrícola. Um dos alunos de Liebig, August Wilhelm von Hofmann, encontrou sua primeira função docente na Inglaterra, onde em 1845 tornou-se o primeiro diretor do Royal College of Chemistry. Hofmann tinha um interesse particular na química do alcatrão do carvão, assunto no qual conduziu seus melhores discípulos ingleses, entre eles William Henry Perkin. Os primeiros esforços dos químicos tinham sido tão-somente para desfazerem-se do alcatrão do carvão destilando-o, mas desde que ele destilava-se em estágios e a temperaturas diferentes, o resultado foi uma variedade de alcatrões que podia, pelo processamento químico, fazer surgirem substâncias úteis. Perkin, em 1856 (com a idade de dezoito anos), extraiu seu primeiro corante sintético verdadeiro da anilina, derivado do alcatrão do carvão; ele podia tingir tecidos e manter sua cor contra lavagem, tempo e luz solar. A importância desse descobrimento foi a junção que estabeleceu entre a velha*

---

<sup>71</sup>Em 1807, o químico sueco Berzelius foi o primeiro a usar o termo composto orgânico para descrever substâncias extraídas de matéria viva, isto é, de sistemas organizados. Berzelius e outros químicos de seu tempo acreditavam que compostos orgânicos possuíam uma 'força vital', além dos elementos químicos que os compunham, e que seria tão impossível sintetizar um composto orgânico a partir de seus elementos, quanto converter a matéria inorgânica em uma criatura viva. (...) A teoria da 'força vital' sofreu um severo golpe em 1828, quando Wöhler descobriu que a evaporação de uma solução aquosa do sal inorgânico cianato de amônio produzia uréia, idêntica ao produto natural. Era a síntese de um composto orgânico típico, a partir de um composto inorgânico típico, sem a interferência de um organismo vivo que lhe comunicasse a 'força vital' (Allinger, 1978, p. 8).

*indústria têxtil e a nova indústria do aço, que produzia alcatrão de carvão como subproduto da utilização do carvão, na redução do ferro (Braverman, 1977, p. 142).*

### 3.2. Os alemães e os corantes

O desenvolvimento da indústria química leve começa com a produção de corantes sintéticos. Embora o primeiro corante sintético - a malva (ou *mauve*) - tenha sido obtido pelo inglês Sir Henry Willian Perkin (1838-1907), a sua produção industrial desenvolve-se na Alemanha. O jovem Perkin fundou na Inglaterra uma fábrica para produzir o seu corante, mas a sua indústria não prosperou, apesar de que, naquele momento, a Inglaterra era o maior produtor têxtil do mundo. Os capitalistas ingleses não se interessaram por aquele produto, pois importavam corantes de todas as partes do planeta: anil do Extremo Oriente, vermelho alizarino da raiz da garança, escarlates de soluções de cochonilha e zinco.

O trabalho de Perkin foi ampliado pelos químicos franceses Girard e de Laire que trataram derivados da anilina com diferentes agentes oxidantes e produziram outro corante, o carmesim brilhante. Depois trataram este último com mais anilina e obtiveram uma escala inteira de tinturas, conhecidas por azuis de anilina. Hofmann, trabalhando em Londres, produzirá em 1863, outra série de corantes - os violetas de Hofmann.

Os alemães que estudavam em Londres com Hofmann e trabalhavam com Perkin, voltaram para a Alemanha propensos a trabalhar e produzir corantes sintetizados pelo químico inglês. Os alemães possuíam um interesse especial, pois o novo corante tinha como material de partida a anilina, que é derivada do alcatrão da hulha, um subproduto da produção de coque a partir do alcatrão. A Alemanha possuía grandes quantidades do alcatrão da hulha, subproduto da indústria do aço do Vale do Ruhr. Outro fator era que a Alemanha não tinha acesso aos corantes de tecido, pois havia entrado tarde na corrida pelas colônias, que eram as principais fornecedoras destes produtos.

Em 1865, Hofmann deixou a Faculdade Real de Química, a fim de assumir a cátedra de química orgânica em Berlin, ao mesmo tempo que o químico alemão Caro, que estivera trabalhando em um estabelecimento químico de Manchester, retornava para a Alemanha como diretor de uma recém-fundada indústria química, a Badische Anilin und Soda Fabrik. Desde então, os alemães assumiram um papel cada vez mais destacado na ciência e na indústria química, particularmente no ramo da química leve.

Os dois corantes naturais mais importantes do século XIX eram a alizarina<sup>72</sup> (cor vermelha), obtida da

---

<sup>72</sup>A alizarina natural era extraída das raízes da *Rubia tinctorum*. Em 1868 os químicos alemães Karl Graebe (1841-1927) e Karl Liebermann (1842-1914) chegaram a uma alizarina sintética, sendo este o primeiro corante natural a ser preparado sinteticamente.

garança, e o azul índigo, derivado do índigo; o azul e o vermelho eram usados nos uniformes militares da Inglaterra e da França. Em 1870, a BASF (Badische Anilin und Soda Fabrik), fundada em 1865, inicia a produção em larga escala da alizarina, a partir do antraceno, um subproduto do alcatrão da hulha; em 1897, produz o primeiro índigo sintético.

Acompanhando o desenvolvimento dos corantes, surgirão outros produtos que serão incorporados por esta indústria, como os perfumes e medicamentos. Aliás, foi Perkin o primeiro químico a preparar um perfume que imitasse um aroma existente na natureza, a cumarina, obtida em 1868 do alcatrão da hulha.

Até o final do século XIX, a supremacia dos alemães ainda se restringia à química leve, mas a abrangência que esta produção vai tendo possibilitará um avanço e futuramente o domínio em outros setores.

*Os alemães eram superiores apenas na indústria química leve, onde o desenvolvimento e a aplicação da Química orgânica tinham sido essenciais desde o início. Os industrialistas britânicos de produtos químicos custaram a perceber a importância da pesquisa química no desenvolvimento de seu ramo de atividade, e por isso ficaram atrasados no tocante à indústria química leve, apesar de manterem sua posição no campo dos produtos químicos pesados, em que a pesquisa continuada não se tornou necessária até o século atual. Em 1909, por exemplo, noventa por cento dos corantes usados na Inglaterra eram fabricados na Alemanha, não obstante as exportações inglesas de produtos químicos, principalmente pesados, excederem por 644.000 libras esterlinas as importações do mesmo gênero. As inovações práticas de importância, introduzidas na indústria química pesada durante o século XIX, foram efetuadas, de fato, principalmente pelos*

*fabricantes ingleses de produtos químicos (Mason, 1962, p. 430).*

No final do século XIX, a indústria alemã começa a introduzir novos métodos no âmbito da indústria química pesada, aplicando de preferência a nova físico-química, que indica as condições mais favoráveis sob as quais uma reação química se processa.

Para Braverman, o desenvolvimento da indústria química alemã representou um marco no processo de incorporação da ciência pelo capital:

*A história da incorporação da ciência à empresa capitalista começa propriamente na Alemanha. A primeira simbiose entre a ciência e a indústria, que foi desenvolvida pela classe capitalista daquele país, demonstrou ser um dos fatos mais importantes da história mundial no século XX. Ela capacitou as nações para duas guerras mundiais, e ofereceu às demais nações capitalistas um exemplo que elas aprenderam a imitar apenas quando foram obrigadas a fazê-lo muitas décadas mais tarde (Braverman, 1977, p. 140).*

*"Foi a Alemanha que mostrou ao resto do mundo como tirar matérias-primas escassas de uma caixa de areia e de uma pilha de carvão" (Braverman, 1977, p. 141-142).*

#### 4. Dos corantes aos medicamentos, uma história que vai além do simples acaso

##### 4.1. Os novos rumos da pesquisa científica

Um dos desdobramentos mais importantes da indústria de corantes foi a produção de medicamentos. Este desdobramento, no entanto, tem a sua origem ligada à junção de uma série de interesses, ao mesmo tempo que toda uma metodologia de se organizar e realizar as pesquisas sofre transformações.

Dentre os interesses que impulsionam a pesquisa com medicamentos temos, em primeiro lugar, os de ordem econômica. Na Alemanha, o desenvolvimento da pesquisa médica pode ser associado a uma situação que cria grandes possibilidades de absorção destes produtos no mercado. Segundo Timothy Lenoir: "Um dos fatores que condicionaram o desenvolvimento da pesquisa nos institutos não pertencentes à universidade foi a introdução dos seguros por acidente e do seguro médico social a partir de 1880" (Lenoir, 1992, p. 51). Os reflexos desta implantação são imediatos, como demonstra o crescimento dos recursos hospitalares.

*Qualquer que fosse sua origem, é indiscutível que o efeito desta legislação foi o de estimular um aumento explosivo no uso de tudo relacionado a unidades e serviços médicos. Os recursos hospitalares aumentaram aproximadamente 48% na década seguinte à introdução do seguro médico social em 1883, enquanto que a porcentagem de aumento dos recursos médicos nos anos seguintes à unificação da Alemanha (1871-*

1883), foi somente de 13%. Estes fatos são de grande importância pois durante o mesmo período (1883-1892) o produto social líquido total aumentou em 33%<sup>73</sup> (Lenoir, 1992, p. 51).

Por outro lado, temos uma crise na indústria de corantes, já que o rápido crescimento e uma acirrada concorrência criam um mercado cada vez mais competitivo, colocando em risco a sobrevivência de algumas empresas.

*O alto custo que representava encontrar novos corantes para um mercado nunca antes tão competitivo e a queda dos preços dos mesmos, forçaram as principais indústrias químicas de corantes como a Hoechst<sup>74</sup>, a buscar uma diversificação de seus produtos. Outro fator importante foi o problema que representava desfazer-se dos sub-produtos gerados na produção de corantes, os quais causavam danos para o ambiente e para a saúde pública e representavam, ao mesmo tempo, uma grande perda para os lucros gerados pelas vendas dos produtos químicos. A solução ideal que começava a aparecer na cabeça de todos era a de gerar novos produtos utilizando "aqueles produtos de refugo" como matéria-prima (Lenoir, 1992, p. 55).*

Ao mesmo tempo que a indústria de corantes enfrenta dificuldades e a lei dos seguros médicos amplia o mercado de medicamentos, novas drogas estão sendo sintetizadas. O conjunto destes fatores explica o grande interesse da indústria de corantes em promover este tipo de pesquisa.

*Hoechst tomou uma medida decisiva para o desenvolvimento dos produtos farmacêuticos a partir de julho de 1883,*

---

<sup>73</sup>Lenoir apresenta outros dados, retirados da obra de Hoffmann: "Durante a década anterior à instalação do Reich, os gastos em medicamentos aumentaram em 22%. De 1871 a 1883 este mesmo consumo aumentou em 69%; sendo que de 1883 a 1892 aumentou em 51%; e de 1892 a 1901, em 63%. É importante notar que o ácido salicílico foi sintetizado em 1873; Kairin apareceu no mercado em 1881 e as antipirinas em 1883" (Hoffmann, in Lenoir, 1992, p. 51)

<sup>74</sup>Lenoir cita o exemplo da Farbwerke Hoechst, a qual vivia uma crise financeira, que atingiu o auge entre 1881 e 1885 (cf. Lenoir, 1992, p. 55).

*quando a lei que obrigava as fábricas a fazerem seguros médicos para os trabalhadores entrou em vigência. Rapidamente, o já atrativo mercado de medicamentos ficou ainda mais atrativo na medida em que apareciam as possibilidades de um imediato e inexplorado mercado farmacêutico. Estes progressos desenvolveram-se numa época em que importantes descobrimentos na síntese de drogas eram feitos através da utilização dos derivados de alcatrão ou de materiais usados no curso normal da produção de corantes. A primeira destas foi a síntese do ácido salicílico a partir do fenol, feita por Hermann Kolbe em 1873. Em meados de 1880, muitos antitérmicos e analgésicos eram sintetizados com matérias primas baratas usadas na produção normal de corantes ou provenientes do refugo da produção dos mesmos (Lenoir, 1992, p. 55).*

O aparecimento do potencial de mercado e o interesse das indústrias pela pesquisa, entretanto, não são suficientes para gerar uma maior produtividade científica. Pois, além dos recursos, esta dependerá de outros fatores, dentre os quais a reorganização da atividade científica que, naquele momento, vivia um período de estagnação. Diante deste quadro, não se poderia esperar respostas rápidas à nova situação.

*Num ambiente de poucos recursos para o progresso da pesquisa, a própria estrutura do sistema acadêmico alemão começou a contribuir para a estagnação. A tendência geral era gastar as energias do *Ordinari* em ensinar e em atividades administrativas, deixando assim pouco tempo para a pesquisa. No entanto, a grande preocupação em manter a Alemanha na posição de líder dentro das Ciências Naturais, obrigou Althoff<sup>75</sup> a considerar como possível solução do problema, a divisão entre ensino e pesquisa através da construção de institutos apoiados pelo Estado (Lenoir, 1992, p. 54).*

Embora o argumento mais usado para se justificar a criação de alguns institutos de pesquisa fosse os interesses

---

<sup>75</sup>Friedrich Althoff - ministro da educação no período.

nacionais, podemos analisar este processo enquanto a busca de uma forma de se ter uma produção científica mais eficiente. Assim, torna-se importante ter um pesquisador com uma dedicação exclusiva à ciência, pois a sua produtividade depende, em grande parte, do tempo que este dedica à pesquisa. Segundo Lenoir,

*as motivações para a mudança e as soluções específicas para as exigências de organização para o progresso da pesquisa (...), foram produzidos como resultado do aumento da importância da ciência acadêmica na indústria (Lenoir, 1992, p. 55).*

Depois teremos a questão dos recursos materiais e, posteriormente, uma redefinição na organização da pesquisa que, pela própria problemática com a qual trabalha, exigirá um trabalho interdisciplinar, rompendo com a estrutura rígida à qual as ciências estavam submetidas.

A formação de institutos de pesquisa, financiados pelo Estado e pela indústria, assim como a dedicação exclusiva à pesquisa, vão se efetivando nas últimas décadas do século XIX e início do século XX. Este processo pode ser acompanhado nas trajetórias de Robert Koch e Paul Ehrlich.

#### 4.2. As máquinas químicas

Robert Koch<sup>76</sup> e Paul Ehrlich<sup>77</sup>, ambos

---

<sup>76</sup>Robert Koch nasceu em Klausthal, Prússia, a 11 de dezembro de 1843 e morreu em Baden-Baden a 27 de maio de 1910. Formou-se em medicina, doutorando-se pela Universidade de Göttingen em 1872. Foi assistente do hospital de Hamburgo e exerceu a medicina em Hannover e na Posnânia, onde começou a interessar-se pelas moléstias infecciosas. A partir daí, Koch ganhará fama e trabalhará em diversos institutos de pesquisa e

médicos, dedicaram-se inicialmente à clínica médica e posteriormente passaram por várias instituições de pesquisa. Robert Koch foi diretor de duas instituições: o laboratório no *Reichsgesundheitsamt* e o *Institut für Hygiene* na Universidade de Berlin. Nomeado diretor do laboratório de bacteriologia, em 1880, passou a dedicar-se ao estudo da tuberculose e do cólera. Robert Koch foi capaz de unir vários fatores que contribuíram para aumentar os investimentos, criar novas frentes de pesquisa e transformar as instituições de pesquisa do seu país. Segundo Lenoir, Koch era tão bom negociante quanto cientista - soube usar os argumentos certos, e tirar proveito dos resultados que obtinha nas pesquisas, para atingir os seus objetivos, como aconteceu na divulgação dos seus trabalhos sobre a tuberculose.

*Nesta mesma época, Koch descobria o que ele mesmo considerou o maior progresso alcançado no desenvolvimento de um antídoto para a tuberculose, que anunciou com forte nacionalismo no "Décimo Congresso Internacional de Medicina", ocorrido em Berlim em 1890. Imediatamente, as idéias de Koch concentraram-se na possibilidade de desenvolver substâncias terapêuticas que pudessem atacar diretamente agentes patogênicos específicos sem causar dano ao organismo hospedeiro. Para isto, Koch aproveitou de*

---

contribuirá para a criação de outros. Entre os seus trabalhos, estão importantes descobertas da bacteriologia, entre as quais a descoberta do bacilo da tuberculose (1882), chamado de bacilo de Koch, e a do vibrião do cólera; foi também responsável pelo primeiro medicamento para o tratamento da tuberculose, a tuberculina, lançada três anos após a descoberta do bacilo. Deixou ainda notáveis contribuições entre septicemia, peste bubônica, doença do sono e carbúnculo. Pelos seus trabalhos sobre a tuberculose, Koch recebeu o prêmio Nobel em 1905.

<sup>77</sup>Paul Ehrlich nasceu em Strehlen, na Silésia, a 14 de março de 1854, e faleceu em Homburg a 20 de agosto de 1915. Diplomou-se em medicina em 1878, exercendo por alguns anos, o cargo de assistente de clínica médica. Iniciou-se em pesquisa nos laboratórios do Institut für Infektionskrankheiten, então dirigido por Koch, passando posteriormente por outras instituições, até tornar-se diretor da Georg-Speyer-Hausen. Em 1908 compartilhou com Metchnikov o prêmio Nobel de Medicina e Fisiologia.

maneira eficaz a publicidade gerada graças a suas espetaculares revelações, que davam a impressão de estar à beira do descobrimento da cura de uma das mais temidas doenças crônicas da época. Para poder cumprir com todas as implicações que esta linha de trabalho apresentava, Koch argumentava sobre a necessidade de desenvolver um tipo de instituto muito mais especializado, no qual não se enfocasse meramente a classificação e o controle dos agentes causadores da doença, mas que se concentrasse especificamente em compreender as causas das doenças infecciosas, o que se alcançava através do estudo detalhado dos processos metabólicos dos diferentes organismos estudados. Além disso, o tipo de organização que ele propunha devia ser um instituto criado fora da universidade, puramente orientado para a pesquisa e que trabalhasse em completa colaboração com firmas farmacêuticas para desenvolver vacinas e outros medicamentos que combatessem doenças (Lenoir, 1992, p. 52-53).

A partir dos esforços de Koch, será criado o *Institut für Infektionskrankheiten*, no qual Ehrlich trabalhará. Estabelece-se neste momento uma estreita relação entre os interesses científicos e os interesses da indústria. Pode-se dizer que, neste período, a partir da descoberta dos agentes causadores das moléstias, teremos uma verdadeira corrida para se chegar às substâncias que pudessem combatê-los.

Nesta corrida, os interesses das indústrias não se manifestam apenas através da associação com os institutos de pesquisa, na medida em que elas passarão a subvencionar e fornecer materiais para a pesquisa, como os corantes fornecidos pela Hoechst para Paul Ehrlich.

*Durante o transcurso da pesquisa feita sobre o uso de corantes como agentes para o tingimento histológico, Ehrlich converteu-se no mestre da química de corantes e dedicou considerável esforço para a pesquisa e avaliação de várias teorias sobre a capacidade dos corantes para sua*

*fixação nas fibras, assim como encontrar as razões às quais se deviam as propriedades específicas de coloração (Lenoir, 1992, p. 56).*

Ehrlich irá se destacar por dar um tratamento puramente químico às suas pesquisas, principalmente nos seus experimentos sobre a imunidade. Um dos problemas que se colocava, naquele momento, era o de concentrar e determinar a dose terapêutica de soro necessária para o tratamento da difteria. Em 1894, Ehrlich assina um contrato de cooperação com Behring, que vinha desenvolvendo pesquisas neste sentido. Suas pesquisas serão desenvolvidas no *Institut für Infektionskrankheiten*. Os resultados obtidos irão reforçar, ainda mais, os vínculos das pesquisas com as indústrias de corantes.

*Com o estabelecimento de um método quantitativo para a determinação correta das doses terapêuticas, Ehrlich completou o trabalho científico básico no campo da terapia imunológica iniciado por Koch, Behring e Kitasato. O desenvolvimento e produção do primeiro soro terapêutico continuou ainda, com pequena variação, o caminho previamente estabelecido para os analgésicos e antitérmicos. Ao dar-se conta do grande potencial que as vacinas representavam no mercado, Laubenheimer negociou contratos com Koch para a produção de tuberculina e com Behring para a produção do soro da difteria na Hoechst. Uma nova unidade para a produção do soro da difteria foi anexada então às instalações da Hoechst e um dos assistentes já experientes de Koch, Arnold Lippertz, foi contratado como chefe da planta bacteriológica, para que dirigisse a produção e garantisse a qualidade do soro. Na mesma época, para poder manter-se na frente do grupo francês do Instituto Pasteur, Hoechst construiu um laboratório devidamente equipado e exclusivamente criado para que Behring realizasse suas próprias pesquisas em Marburg, próximo das principais instalações da Hoechst. Dentro do ambiente científico sabia-se que o grupo francês*

trabalhava na produção do soro da tuberculina (Lenoir, 1992, p. 64-65).

Embora as pesquisas criem possibilidades para a indústria, o interesse desta ficará restrito àquelas com objetivos bem definidos, "já o fato de realizar projetos de pesquisa sem objetivo algum, somente com o desejo de expandir o 'armazém' da ciência básica, não o era" (Lenoir, 1992, p. 66). Para este tipo de pesquisa, haverá uma associação entre pesquisa acadêmica, indústria e Estado, como ocorreu na constituição do *Institut für Serumprüfung und Forschung*, que teve Ehrlich como seu primeiro diretor.

*Este problema já vinha sendo tratado por Koch, Behring, Ehrlich e os oficiais da Gesundheitsamt em suas deliberações sobre a regulação da produção de soro. Uma medida preliminar tomada foi a de estabelecer o Institut für Serumprüfung und Forschung tendo Paul Ehrlich como seu diretor. Constituído inicialmente em Berlim, o instituto se trasladou em 1899 para Frankfurt, onde junto com o laboratório patológico da Senkenbergische Akademie, estava próximo de sua grande consumidora, a Hoechst. Embora não sendo ainda um instituto de pesquisa aplicada, o Institut für Serumprüfung und Forschung baseava-se firmemente na noção da necessidade de uma mútua cooperação entre o Estado, a indústria e a ciência acadêmica. O primeiro pagamento para as instalações do instituto foi doado conjuntamente pelo governo imperial (Reichsregierung), pela cidade de Frankfurt e por doações privadas de Farbwerke Hoechst, Casella e doações individuais. Os 60.000 marcos que compunham os fundos com os quais o instituto operava, valor mais ou menos equivalente ao fundo com o qual operavam até então os grandes laboratórios fisiológicos da universidade, provinham diretamente do pagamento obtido para a experimentação e desenvolvimento do soro.(...) As funções designadas ao instituto eram: a experimentação do soro terapêutico, a pesquisa em higiene e bacteriologia para a cidade de Frankfurt, seus hospitais e seus médicos locais, e a pesquisa em imunologia e terapia que se pudesse realizar com o soro. Embora não fosse um instituto de aprendizagem, aceitou-se a admissão de um pequeno número de*

*estudantes que já haviam completado seus estudos médicos para trabalhar no instituto sobre a direção de Ehrlich (Lenoir, 1992, p. 66).*

#### 4.3. As "balas mágicas"

A próxima etapa será a transição para a quimioterapia. As pesquisas envolvendo a ação de alguns corantes sobre os agentes causadores da doença do sono (tripanosomas), mostraram para Ehrlich que:

*a possibilidade de criar um programa para atacar quimicamente agentes patógenos específicos era certamente plausível. A presença de quimiorreceptores na superfície celular que possuíssem uma estrutura específica, permitia conceber a idéia de um "branco" químico. Em segundo lugar, o fato de que famílias inteiras de substâncias farmacologicamente ativas pudessem sintetizar-se com radicais e grupos que possuíssem uma estrutura compatível a dos quimiorreceptores específicos, oferecia a possibilidade de esboçar balas mágicas que tivessem uma ação química nesses brancos (Lenoir, 1992, p. 72). [Grifos meus.]*

Para desenvolver um programa de quimioterapia experimental, Ehrlich terá que enfrentar dois problemas. O primeiro diz respeito à criação de condições materiais para tal empreendimento, e o segundo à superação do campo de atuação da medicina. Enquanto o problema das condições materiais foi resolvido, em 1905, pela obtenção de recursos junto a um proeminente banqueiro de Frankfurt, Georg Speyer, o segundo exigiu a estruturação de uma organização multidisciplinar. Assim, uma das necessidades apresentadas pelo novo instituto será a criação de um departamento químico independente.

*Era altamente crucial para todo o programa de esboço de balas mágicas o perfeito conhecimento de qualquer estrutura que se descobrisse possuir algum efeito terapêutico interessante ou possivelmente benéfico sobre os agentes da doença.(...) No caso de substâncias complexas, isto poderia implicar na determinação de números atômicos e de pesos moleculares. Para poder melhorar o aspecto tóxico da droga, ou talvez, torná-la menos tóxica para o organismo hospedeiro, enquanto se aumentava sua toxicidade para o patógeno, dever-se-iam executar vários tipos diferentes de experimentos que introduzissem uma variedade de grupos substitutos na molécula (Lenoir, 1992, p. 74).*

As conseqüências para o desenvolvimento da quimioterapia, e as novas relações que se estabelecem entre a produção científica e técnica, neste momento, vão muito além de uma conjunção de fatores. Considerando o estreitamento das relações entre a pesquisa científica e a indústria química leve, como um sinônimo da revolução técnico-científica e da incorporação da ciência pelo capital, pode-se dizer que o momento tratado aqui é a afirmação deste processo. O que para muitos é tratado como o início de uma fase, pode também ser lido como o momento de consolidação das novas relações entre ciência e capital.

Ao mesmo tempo, esse processo exigiu o rompimento com a estrutura em função da qual as áreas do conhecimento estão separadas, gerando assim uma nova área que, dentro da forma vigente de organização do conhecimento, representava uma multidisciplinaridade.

*O que se propunha criar com a Georg-Speyer-Haus era a formação de uma organização interdisciplinar sob a direção de um "químico dinâmico" o qual teria como meta definir problemas que seriam atacados pelo mútuo intercâmbio de*

idéias entre fisiologistas, bioquímicos, microbiologistas, bacteriologistas, farmacologistas e clínicos. Para realizar estes objetivos, a Georg-Speyer-Haus deveria organizar-se como um "instituto de pesquisa aplicada". (...) As indústrias Hoechst e Casella tinham uma relação especial com a Georg-Speyer-Haus. Não somente haviam contribuído muito para a doação inicial, como também proporcionavam ao departamento químico as matérias-primas usadas na pesquisa. Em troca, as duas indústrias recebiam a primeira opção das patentes que saíam para o mercado. Mas somente Ehrlich e seu grupo determinavam o tipo de problemas para pesquisar (Lenoir, 1992, p. 75).

Em 1913 o *Institut für Serumforschung und Experimentaltherapie*, conhecido como a Georg-Speyer-Haus, de Frankfurt, torna possível a produção do salvarsan, uma droga usada para o tratamento da sífilis. Uma série de outras drogas, associadas à indústria de corantes, será lançada nas primeiras décadas do século XX. Entre elas podemos citar: o Pamaquin (1926), o Mecrapine (1930), tóxicos para o parasita da malária, e o Protonsil (1935), a primeira sulfonamida.

Apesar do grande número de fármacos que irá surgir, a partir do início do século XX, sendo um dos exemplos mais expressivos o dos antibióticos, e das possibilidades de controle e erradicação de diversas moléstias<sup>78</sup>, os resultados em si expressam, como vimos, muito mais do que o desejo dos

---

<sup>78</sup>Uma vez bem compreendidas a teoria microbiana e as técnicas respectivas, dúzias de homens dedicados podiam estudar no campo uma doença infecciosa, descobrir-lhe o germe causal e, muitas vezes, embora nem sempre, encontrar o soro imunizante ou curativo; e, mesmo sem isto, podiam apontar as precauções necessárias para deter o surto de uma epidemia. Sustadas pelas medidas sanitárias melhoradas, doenças transmitidas pela água, como a febre tifóide, começaram a desaparecer da Europa, e a difteria, que tantas crianças matava anualmente, começou a diminuir. Seguidamente, os grandes flagelos da cólera, da praga, e da malária, começaram a ser controlados, excepto naquelas regiões onde a extrema pobreza tornava impossível a adopção das novas medidas de sanidade" (Bernal, 1976, p. 667).

homens de combater uma série de enfermidades. O sucesso das práticas contribui tanto para um avanço da medicina científica, quanto para se estabelecer novas regras para a organização da pesquisa científica. Os resultados obtidos nos primeiros anos de pesquisa na *Georg-Speyer-Haus* estabeleceram o modelo para as futuras instituições de pesquisa da Alemanha e, posteriormente, de outros países.

*Tais resultados concretos eram sem dúvida primordiais para demonstrar que o modelo organizacional de um instituto multidisciplinar, que combinasse os avanços científicos com as necessidades da indústria, incorporado na Georg-Speyer-Haus, era capaz de ser generalizado. Certamente, não foi accidental que Paul Ehrlich estivesse na junta diretiva que decidiu os planos para a construção dos institutos da Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft; além disso, o Kaiser-Wilhelm-Institut für Experimentaltherapie foi criado conforme o modelo da Georg-Speyer-Haus (Lenoir, 1992, p. 76).*

Além do tratamento interdisciplinar dos problemas, o modelo das futuras instituições deveria facilitar a aplicação prática dos conhecimentos ali produzidos. Neste início de século haverá pressões para o estabelecimento de novos institutos, a partir da colaboração estreita entre o Estado e a indústria. As pressões dos físico-químicos em torno da idéia da construção de um instituto próprio levaram, finalmente, ao estabelecimento do primeiro dos *Kaiser-Wilhelm-Instituts*, o *Institut für physikalische Chemie*, inaugurado em 1911.

*É importante notar que o frutífero cruzamento entre ciência e tecnologia que se dava nestes institutos foi impulsionado não somente pelas metas estabelecidas à nível intelectual e institucional, como também por objetivos políticos nacionais. *Synthese*, *Autarkie*, *Autonomie*, são termos que apareciam freqüentemente como os objetivos a serem obtidos*

da cooperação entre o Estado, a ciência acadêmica e a indústria no período que estamos estudando. Uma das metas práticas daqueles que planejavam a *Chemische Reichsanstalt* era, por exemplo, resolver o problema da síntese do amoníaco a partir do nitrogênio atmosférico. Isto para que a Alemanha se desfizesse de seu "problema com o nitrogênio", o qual era amplamente considerado como o calcanhar de Aquiles do Reich, já que originou a dependência da Alemanha em relação aos fertilizantes e nitratos produzidos por outras nações consideradas potencialmente hostis. A síntese industrial destes importantes materiais outorgaria à Alemanha Imperial o controle sobre o fator chave em seu ambiente geopolítico. Emil Fischer conduziu uma campanha similar para a formação de um instituto de pesquisa concentrado exclusivamente na síntese de moléculas de interesse biológico como as proteínas, as quais sempre que pesquisadas vigorosamente, prometiam liberar a total dependência no ambiente natural da obtenção de recursos nutritivos que criariam uma população sadia. Ehrlich, por sua parte, também propôs esta ideologia a respeito da síntese. Suas "balas mágicas" proporcionariam grande controle operacional sobre as doenças apresentadas dentro do ambiente urbano - industrial, assim como nos ambientes tropicais hostis, que tinham muita relevância para os interesses da Alemanha na colonização (Lenoir, 1992, p. 78).

Os avanços conseguidos nas pesquisas médicas tiveram, de fato, um efeito imediato, já que a descoberta dos mecanismos de contágio e dos agentes infectantes criou a possibilidade da aplicação de medidas preventivas, e interferiu em práticas médicas usuais, tornando-as mais seguras. Caberá um destaque aqui para as pesquisas do químico francês Pasteur<sup>79</sup> e

---

<sup>79</sup>Louis Pasteur, químico e biólogo francês, nasceu em Dole, a 27 de dezembro de 1822, e morreu em Villeneuve, a 28 de setembro de 1895. Em 1842 obteve o *baccalauréat* em ciências, em Besançon, sendo-lhe atribuída a nota de medíocre em química. Em 1847 apresentou teses de doutorado em física e química na *École Normale Supérieure*, em Paris. É da mesma época a pesquisa em cristalografia, que o tornou célebre. Trabalhou nas Universidades de Dijon, Estrasburgo, Lille e Sorbone. Em 1862 tornou-se diretor do Museu de História Natural de Rouen e membro da *Académie des Sciences*; em 1873, da *Académie de Médecine* e em 1881 da *Académie Française*. Além dos importantes trabalhos sobre isomeria, Pasteur contribuiu para a compreensão dos fenômenos da fermentação e da putrefação. Na pesquisa prática das fermentações láctica, alcoólica, butírica etc., chegou à conclusão definitiva sobre a ação de microorganismos. Negou a seguir que esses surgissem espontaneamente,

do médico inglês Lister<sup>30</sup>. As descobertas de Pasteur abriram caminho para as pesquisas desenvolvidas na Alemanha, aqui citadas. O conjunto destas pesquisas, consolidadas a partir da segunda metade do século XIX, criou a chamada medicina científica, que teve na química uma grande aliada.

## 5. Outras histórias

Até o final do século XIX, a produção científica irá afetar praticamente todos os setores produtivos, cabendo destacar o exemplo da química, que começa resolvendo problemas da indústria têxtil, e vai expandido as suas contribuições.

---

contradizendo as teorias em vigor. Mostrou que as substâncias fermentescíveis entravam em contato com os microorganismos que impregnavam o ar.

A partir de 1865, dedicou-se ao problema das doenças contagiosas, sustentando a tese de que elas são causadas por agentes exteriores, os microorganismos, e recomendando medidas profiláticas especiais. Pasteur também lançou métodos bacteriológicos de prevenção do carbúnculo no gado, da cólera nos galináceos e, finalmente, da raiva no homem e no cão. Em 1888, é inaugurado o Instituto Pasteur, que se torna um dos mais importantes institutos de pesquisa médica do mundo.

<sup>30</sup>Joseph Lister, nasceu em Upton, Essex, a 5 de abril de 1827, e morreu em Walmer, Kent, a 10 de fevereiro de 1912. Graduou-se em 1852, pelo University College, em Londres, e durante vários anos exerceu a medicina em Edinburgh. Em 1860 assumiu a cátedra de cirurgia na Universidade de Glasgow e, em 1869, na de Edinburgh. Entre 1877 e 1892 ocupou a cátedra de cirurgia do Royal College. Lister teve seu nome ligado à introdução da assepsia. Ele começou a interessar-se pela assepsia cirúrgica em 1857, quando publicou seu primeiro trabalho: "The Early states of inflammation". Em 1865, tomou conhecimento de trabalhos de Pasteur, mostrando que a putrefação é causada por microorganismos e opondo-se à teoria em vigor, de que os germes infecciosos seriam gerados espontaneamente. Dedicou-se, com isso, a pesquisar um meio de prevenir a infecção, através de agentes químicos. Em 1867 apresentou relatos dos seus trabalhos aplicando ácido fênico. Lister desenvolveu, posteriormente, outros métodos mais aperfeiçoados de assepsia. Introduziu novas técnicas operatórias e difundiu, para a prática de sutura, o uso de catégute, absorvível pelo organismo. A simples desinfecção das mãos dos estudantes de Semmelweis com hipoclorito fez baixar a mortalidade por infecção puerperal de 12% para 1,2%.

Outras histórias podem ser destacadas, como a da química agrícola, que vai do uso de fertilizantes naturais à descoberta dos mecanismos de absorção de nutrientes pelas plantas, como também à produção de fertilizantes industriais. Relacionada com a química agrícola, estará a química dos compostos nitrogenados, os quais serão de grande valor para a produção de fertilizantes e explosivos.

O interesse dos químicos pela agricultura atravessa o século. Estudos sobre o cultivo das plantas já aparecem em 1804, como os do francês Saussure (1767-1845), que mostrou que as plantas cultivadas em vasos fechados retiravam a totalidade de carbono nelas contido do dióxido de carbono, presente na mistura gasosa em que haviam sido encerradas, destruindo, assim, a velha teoria de que os vegetais obtinham a respectiva substância do chamado humo do solo. Outros trabalhos surgem no decorrer do século, e cada vez se conhece melhor os processos que envolvem o crescimento e a composição das plantas.

Das pesquisas que envolvem o crescimento das plantas, resultam diversos fertilizantes que, em muitos casos, não dão certo, como foi o caso do fertilizante produzido por Liebig que, a partir da análise das cinzas das plantas, idealizou um fertilizante baseado nesta composição, o qual não funcionou, pois não possuía os compostos nitrogenados que, acreditava Liebig, eram obtidos do ar.

Embora os mecanismos pelos quais as plantas absorviam as substâncias necessárias para o seu crescimento fossem desconhecidos, desde 1839, já se utilizava como fertilizante o guano, formado de dejetos e carcaças desidratadas de aves marinhas, o qual era importado do Peru.

Em 1855, Sir John Lawes (1818-1900) e Joseph Gilbert investigam o emprego dos fertilizantes artificiais, fazendo experiências com nitratos, fosfatos e potássio de várias origens em Rothamstead, na propriedade de Sir John Lawes, a partir das quais descobrem as realidades básicas da química agrícola.

*Em oposição às concepções de Liebig, mostraram eles que as plantas em geral não necessitam da mesma proporção de sais minerais que a encontrada em suas cinzas, para o crescimento máximo, que a maioria dos vegetais precisa de adubos contendo compostos azotados, tais como os sais de amônio e nitratos, e que apenas as leguminosas, como as ervilhas e o trevo, vicejavam sem ditos fertilizantes. Descobriram, ainda, que se a terra fosse deixada em repouso, o teor de azoto do solo aumentava paulatinamente, e que a fertilidade da mesma não ficava prejudicada pelo cultivo continuado se apenas fôssem utilizados fertilizantes artificiais. O trabalho de Gilbert e Lawes atraiu a atenção para a posição singular do azoto, na economia da natureza, pois algumas plantas necessitavam de compostos nitrogenados, enquanto que outras - e o próprio solo - pareciam elaborar tais substâncias. Esses fatos foram elucidados pelo desenvolvimento da Microbiologia, que trouxe à luz as etapas até então desconhecidas do ciclo do nitrogênio na natureza (Mason, 1962, p. 425-426).*

Com o desenvolvimento dos fertilizantes artificiais, passou-se a explorar os depósitos de nitratos do Chile e o sulfato de potássio de Strassfurt, Alemanha. O

surgimento da indústria de adubos no final do século XIX serviu, segundo Bernal, para:

*o duplo propósito de intensificação da produção agrícola e de suplementar as necessidades de produtos químicos para a indústria têxtil ao construir indústria pesada química altamente monopolista, pronta a satisfazer as necessidades bélicas do século XX (Bernal, 1976, p. 672).*

Em 1878, Warrington descobre que são microorganismos que convertem os fertilizantes nitrogenados, formados de compostos de amônio, primeiramente em nitritos e depois em nitratos, forma na qual as plantas assimilam o nitrogênio. Em 1885, Berthelot descobre outros tipos de microorganismos, que podiam utilizar o nitrogênio diretamente da atmosfera, transformando-o em amônia. Assim, quando Harber desenvolve o seu processo de produção de nitratos, que posteriormente foi aprimorado para produzir em escala industrial, acredita-se que está sendo resolvido o problema da fome no mundo, pois parece haver uma fonte inesgotável de fertilizantes mas, nesse momento, os nitratos já não são importantes apenas para a agricultura.

O entendimento dos processos de crescimento das plantas e de constituição dos alimentos leva ao que Bernal chama de criação de uma agricultura científica. A introdução dos fertilizantes e de novos equipamentos, permitindo uma mecanização cada vez maior da agricultura, altera principalmente o uso da mão-de-obra no campo.

*Efectivamente, a agricultura não mecanizada fornece um excedente de entre cinco e dez por cento, que é necessário para alimentar as cidades. A agricultura mecanizada, por outro lado, pode fornecer, não necessariamente, melhores colheitas, mas fazê-lo com muito menos mão-de-obra. Por isso a população agrícola das principais regiões cerealíferas pode-se reduzir a uns cinco por cento. Com maiores conhecimentos, a ideia de máquinas que apenas reproduzem as antiquíssimas máquinas agrícolas manuais ou de tracção animal virá a ser drasticamente remodelada. A própria palavra agricultura, que deriva do termo *ager*, arado é obsoleta. Os arados serão substituídos por produtos químicos aplicados sobre o solo não trabalhado e a energia necessária para executar as fainas agrícolas pode vir a ser grandemente reduzida ao mesmo tempo que se aumentam substancialmente as produções (Bernal, 1976, p. 670-671).*

Na metade do século XIX e início do XX, muitos outros produtos serão sintetizados e, em seguida, chega-se à produção industrial, como foi o caso: dos explosivos (nitroglicerina - 1862), dos termoplásticos (1865), das fibras artificiais (1883), da matéria plástica (1907) e toda uma série de produtos, os quais estão incorporados ao nosso modo de vida nos dias de hoje.

A nova relação entre produção e consumo já se exprimia no século passado. Um bom exemplo foram as modas geradas pelos novos corantes, no final do século, na Inglaterra e no restante da Europa - as mulheres passam a usar chapéus e vestidos de cor púrpura, uma cor muito badalada nos círculos da moda naquele momento. As novas possibilidades de produção e consumo devem, então, ultrapassar as necessidades imediatas (alimentação, vestuário), gerando novas necessidades de novos produtos. Do mesmo modo, a possibilidade de produção em larga

escala faz com que certos hábitos de consumo ultrapassem barreiras sociais, pois, cada vez mais, um número maior de pessoas deve consumir pelos mesmos motivos.

Segundo Georges Friedmann, a transformação do meio interfere nas relações sociais e na nossa visão de mundo:

*Em uma palavra, a evolução da percepção no novo meio parece marchar cada vez mais na direção da eliminação dos elementos que representam as coisas do mundo inanimado e animado, as manifestações naturais da vida, para significar uma rede crescente de seres fabricados, e, por isso, de relações mecânicas e energéticas. Ela advém, por conseguinte, cada vez mais interpretante, intelectualizada, racional (Friedmann, 1968, p. 48).*

## 6. A formação dos monopólios

Se nesta busca pelo século XIX, encontramos o estabelecimento das relações entre a produção científica e a produção industrial, traduzidas aqui como o processo de incorporação da ciência pelo capital, as possibilidades geradas nesta nova etapa levarão ao estabelecimento de relações econômicas e políticas, que afetarão todo o planeta.

A indústria química nascente, principalmente a indústria química leve, que tem como uma das características principais o domínio tecnológico sobre os processos produtivos, encontrará na cartelização uma forma de contornar suas crises e

de manter a lucratividade<sup>81</sup>. Isto é muito bem exemplificado pelo que ocorre na Alemanha no início do nosso século.

Três grandes indústrias químicas alemãs - Badische Anilin und Soda Fabrik (Badische ou BASF), Farbenfabriken Bayer, Farbwerke Hoechst - que cresceram a partir da produção de corantes<sup>82</sup> sintéticos e medicamentos, no início do século XX, beneficiadas pelas pesquisas que financiavam<sup>83</sup>, dominavam o mercado mundial com alguns de seus produtos. Em 1913, as indústrias alemãs produziam 80% dos corantes do mundo. Estas indústrias vinham concorrendo entre si individualmente.

Segundo Smith<sup>84</sup>, já em 1904, Carl Duisberg, o cabeça da Bayer, influenciado pela leitura do livro de John D. Rockefeller da Standard Oil, propõe a formação de uma comunidade para cuidar dos interesses das indústrias de corantes. A partir disto, são formados dois grupos de companhias diferentes, que

---

<sup>81</sup>O desenvolvimento de novas técnicas e a competitividade fez o preço de muitos produtos cair. Segundo William B. Smith o preço da alizarina caiu de \$15.00/pound, em 1870, para \$0.55/pound, em 1914 (Smith, 1982, p. 836).

<sup>82</sup>Um exemplo é a BASF que, fundada em 1865, começou a produzir a alizarina em larga escala em 1870 e, em 1897, foi a primeira a produzir o índigo sintético.

<sup>83</sup>As indústrias citadas serão em muitos casos as primeiras a se beneficiarem das pesquisas científicas. A Bayer começou a produzir a Aspirina (Ácido Acetil-Salicílico) em 1898, e a Hoechst o Salvarsan, em 1910. A BASF, que dirigiu suas pesquisas para a química inorgânica, introduziu em 1890 o processo de fabricação de ácido sulfúrico por contato, e em 1913, o processo Haber para fixação do nitrogênio do ar na produção de amônia (O processo desenvolvido por Haber foi de extrema importância pois libertava a Alemanha da dependência de produtos nitrogenados, usados como fertilizantes e na indústria de explosivos).

<sup>84</sup>Cf. W. B. Smith. 1982, p. 836 e seguintes.

passam a concorrer entre si. Em 1916, como os dois grupos estivessem falindo, passam a planejar juntos os seus negócios, e, em 1926, juntam-se formando um cartel - a I.G. Farbenindustrie ( I.G. Farben ou I.G.)<sup>85</sup>, com Duisberg no comando. No cartel, as indústrias individuais eram tratadas como ramos de uma única, e os interesses giravam em torno de algo comum.

A indústria química alemã terá uma participação efetiva nas guerras. A Primeira Guerra Mundial expôs para os químicos alemães uma série de problemas a serem enfrentados, principalmente as carências de nitratos, borracha e combustíveis, que criaram sérios problemas com o prolongamento da mesma. Terminada a Primeira Guerra, estes problemas serão atacados, desenvolvendo-se processos para a produção de nitratos, borracha sintética e gasolina sintética, que serão produzidos para abastecer o exército alemão nas futuras guerras<sup>86</sup>.

Mas a característica fundamental da nova indústria química será a cartelização, que ultrapassa as fronteiras da Alemanha e se mantém, mesmo nos períodos de

---

<sup>85</sup>Segundo Smith, por decisão dos aliados, o cartel I. G. Farben foi desfeito ao final da Segunda Guerra Mundial, passando as companhias a concorrer entre si. Mas analisando o desempenho das três grandes companhias - Bayer, Basf e Hoechst - nos dias de hoje, ele concluiu: "A I. G. pode ter perdido a guerra, mas certamente parece ter ganho na paz" (Smith, 1982, p. 837).

<sup>86</sup>Existem artigos e livros sobre a participação da I. G. Farben na ascensão do nazismo e na participação na Segunda Guerra. O envolvimento da indústria química alemã com o nazismo vai do financiamento de atividades do Partido Nazista, até o uso dos prisioneiros dos campos de concentração no trabalho das indústrias.

guerra. Segundo Smith, os E.U.A. negociaram com a Alemanha até o seu envolvimento direto nas Guerras, pois havia sete empresas americanas ligadas à I.G. Farben por um cartel, estando entre elas, a Standard Oil, Du Pont e Alcoa. Estava estabelecido que estes agrupamentos existiriam depois da guerra, e estava explícito que continuariam independentemente de quem ganhasse a guerra.

Além da cartelização, a organização científica alemã também será um modelo a ser seguido pelos outros países. A supremacia demonstrada pela Alemanha, apesar da derrota militar na Primeira Guerra, levará outros países a seguirem o seu exemplo.

*"Nos Estados Unidos, soberbos recursos naturais permitiram-nos fazer estupendo progresso sem muita consideração pelos ensinamentos da ciência, e em muitos casos a despeito de nosso desdém por ela. O progresso da Alemanha adverte-nos que chegamos agora ao ponto em que devemos reconhecer que a aplicação adequada da ciência à indústria é de importância vital para a prosperidade futura deste país... Nossas universidades e escolas de ensino superior estão ainda dominadas por aqueles cujo preparo era amplamente literário ou clássico, e eles inteiramente falham em compreender a diferença entre uma era clássica e uma industrial. A diferença não é sentimental, mas real: porque aquela nação que for mais eficiente industrialmente em breve se tornará a mais rica e poderosa" (Braverman, 1977, p. 143).*

Um exemplo americano é o processo de reformulação da Dupont, que passa por reformas administrativas, associa-se a outra grande indústria química e investe em novos ramos de pesquisa.

Em 1902, com a morte do seu principal dirigente Eugène Dupont, a empresa passa a ser dirigida pelos primos Alfred, Coleman e Pierre, formados por uma das melhores escolas de engenharia dos E.U.A., o Massachusetts Institute of Technology (MIT). Eles iniciam um vigoroso processo de centralização administrativa e de verticalização da empresa, procuram reorganizar também o processo produtivo da corporação, dotando-a de autonomia tecnológica em relação ao meio externo e aos trabalhadores qualificados - engenheiros formados através do exercício do trabalho que detinham o conhecimento necessário para a produção. Com o intuito de utilizar a ciência para impulsionar os negócios da corporação, os Du Pont contratam John Reese, químico que havia realizado seus estudos nas Universidades de John Hopkins (EUA) e Heidelberg (Alemanha), para dirigir um laboratório de pesquisa que criaram em Nova Jérsei<sup>87</sup>.

A ampliação dos laboratórios da Du Pont será uma exigência da Primeira Guerra Mundial. Neste período o governo americano concede à Dupont cerca de 300 patentes confiscadas de empresas alemãs. Assim, a ampliação é uma exigência para a

---

<sup>87</sup>Os dados sobre a Du Pont aqui trabalhados são extraídos do texto "Fibras Poliamídicas (Nailon)", de Newton P. Bryan, que trabalhou a partir das seguintes obras: Alfred D. Chandler Jr. *The Visible Hand. The Managerial Revolution in America Business*. Harvard University Press. Cambridge (Mass.), 1981; David Noble. *America by Design. Science, Technology and the Rise of Corporate Capitalism*. Oxford University Press. Oxford, 1980; J. Gordon Cook. *Handbook of Textile Fibres*. Vol. II, Merrow Publishing Co. Ltd., Watford, 1968; David Landes. *Unbound Prometheus. Technological Change and Industrial Development in Western Europe from 1750 to the Present*. Cambridge University Press, 1977.

absorção e adaptação dos novos processos. Em 1925, seus laboratórios já contam com 1200 químicos e, em 1927, a diretoria toma a decisão de organizar um grupo de cientistas para desenvolver pesquisa básica. Para liderar o grupo de pesquisa fundamental, foi contratado o químico da Universidade de Harvard, Wallace H. Carothers<sup>68</sup>.

Carothers escolheu como área de estudos as macromoléculas que, naquele momento, se mostrava como uma área de nítida relevância econômica<sup>69</sup>, "já que novas macromoléculas poderiam dar origem a materiais de grande potencial de aplicação em diversos ramos industriais: automobilístico (pneus), têxtil etc" (Bryan, s.d., p. 4). As conseqüências econômicas destas pesquisas poderiam ser imediatas, principalmente nos setores que ainda não haviam sofrido grandes transformações tecnológicas.

*A indústria têxtil em especial encontrava-se estagnada tecnicamente, a maior parte da maquinaria que empregava tratava-se de equipamentos cuja base tecnológica era a mesma dos que haviam sido inventados na época da revolução industrial. A principal parcela da matéria-prima utilizada no processamento têxtil não havia mudado desde suas origens: a lã, o algodão e a seda natural. As fibras produzidas desde o final do século XIX através da regeneração da celulose de origem vegetal - o rayon viscoso e acetato - não apresentavam propriedades que tornassem possível uma profunda transformação dos processos têxteis.(...) No caso da criação e manufatura de fibras sintéticas, segundo o historiador da tecnologia Landes, "o*

---

<sup>68</sup>Wallace H. Carothers (1896-1937), químico americano, formado pela Universidade de Illinois e pós-graduado em Harvard, entrou para a Du Pont em 1928.

<sup>69</sup>O texto de Bryan vai tratar das influências que determinaram a escolha de Carothers, questionando até que ponto esta escolha não sofreu influência dos interesses econômicos da empresa.

*estímulo econômico tinha sido mais efetivo por causa das estreitas relações entre a ciência e a técnica". Nessa área, ainda conforme Landes, vigorava "uma embriagante liberdade em relação à exploração científica: o pesquisador não é constrangido pelas características da matéria-prima fornecida pela natureza; ao contrário, ele produz sua própria matéria e, no final das contas suas possibilidades são limitles. O resultado é uma fé sem fronteira em um horizonte sempre retrátil, uma fé que se comunica do laboratório à planta industrial, aos escritórios e à sala da direção". Não é, portanto, estranhável que esse grupo de pesquisadores assalariados por uma gigantesca empresa monopolista escolhessem uma área de atuação que promettesse resultados com valor econômico (Bryan, s.d., p. 3).*

Como é apontado por Bryan, a consolidação da Du Pont no mercado internacional dar-se-á pelo estabelecimento de um contrato de colaboração técnica e comercial com uma corporação inglesa, a Imperial Chemical Industries (ICI), originando o truste internacional DUPERIAL (1929). O mercado mundial de produtos químicos passa a ser dividido entre a DUPERIAL, a I.G. Farben e algumas empresas suíças.

Os resultados das pesquisas de Carothers levarão à produção do *nylon* que, apresentado inicialmente em 1937, será usado em larga escala na produção de meias e, durante a Segunda Guerra Mundial, para confecção de pára-quedas.

Embora as pesquisas tenham durado quase uma década até apresentarem resultados economicamente exeqüíveis, este e outros exemplos apresentados neste trabalho, mostram muito bem as possibilidades vislumbradas pela indústria capitalista ao investir na produção científica. Estas possibilidades são traduzidas na seguinte passagem, na qual o

diretor de uma grande empresa alemã de produtos químicos dá uma explicação a um visitante francês:

*"Temos em nossa fábrica 145 químicos: a metade deles trabalha no serviço corrente e no controle das matérias-primas e das fabricações; empregamos os demais nas investigações e estes setenta investigadores nos saem por uns 350.000 francos anuais. 9/10 deles não produz nada, mas a décima parte restante pode encontrar o suficiente para nos fazer ganhar uns quatro milhões cada ano" (Canêdo, 1987, p. 47).*

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

### 1. Eros e Anteros no mundo dos homens

Até o final do século XIX, o homem ainda se curvava diante de um mundo desconhecido, das forças que regiam o universo invisível. Para conquistar este universo, o homem precisou construir outro, que chamou de mundo da razão, no qual aprisionou as forças do universo invisível. Depois de aprisioná-las, o próximo passo foi torná-las visíveis e ele o fez transformando-as em diversas imagens, as quais chamou de imagens da razão.

A conquista destas forças, que chamei de *A conquista de Eros e Anteros*, tem o seu significado no estabelecimento das relações entre os homens. Há uma relação dialética entre o desejo e a necessidade, onde a relação entre os homens constrói o desejo e a necessidade.

## 2. Sobre a trilogia

No primeiro capítulo mostrei como a química, enquanto conjunto de conhecimentos que dá respostas a problemas de ordem material, se estabelece dentro de um projeto social, particularmente o da burguesia.

Num momento em que o projeto social em ascensão visa a uma ordenação social, que se expressa materialmente na ordenação das cidades, o que representa, antes de mais nada, a aplicação de uma lógica que se estabelece através da divisão do trabalho, as ciências são chamadas a dar respostas a dois problemas, que são aparentemente distintos.

No caso especial da química, será chamada a resolver problemas que podem ser chamados de essencialmente materiais, como foi criar e aperfeiçoar a produção de determinadas substâncias, com um propósito predeterminado, de aperfeiçoar os processos produtivos. A outra função atribuída à química será de, enquanto uma ciência socialmente reconhecida, justificar e dar validade a determinados projetos.

Isso fica claro, quando nos remetemos ao trabalho dos químicos buscando soluções para desodorização das cidades, e também sendo chamados a opinar sobre, ou para justificar certas medidas saneadoras, que requerem a reorganização das cidades, segundo critérios que visam à "saúde pública".

Assim, a química vai adquirindo um duplo status, pois enquanto se mostra capaz de resolver problemas, ditos concretos para a sociedade, vai se estabelecendo enquanto um critério de verdade socialmente aceito.

Mas isso não significa que, internamente ela possua modelos explicativos que sejam facilmente aceitos pelos seus pares, nem que os existentes estejam imunes à superação. Como foi mostrado no capítulo segundo, há um longo caminho para o estabelecimento de alguns modelos, e em casos como o da teoria atômica, no momento em que um determinado modelo aparentemente é aceito por todos, surge outro, que revoluciona toda uma concepção de materialidade.

Assim, cabe aqui um questionamento sobre a ciência, em particular a química, enquanto critério último de verdade. Pelo que foi exposto, pode-se dizer que o estabelecimento da química enquanto critério último de verdade, se dá pelas possibilidades que esta tem de dar respostas a determinados problemas, e não pela existência de um arcabouço conceitual que seja inquestionável.

Nesse ponto podemos nos remeter à construção da objetividade. No primeiro capítulo, vemos o projeto de expansão da ciência e dos seus métodos a todos os domínios da vida humana como um projeto da burguesia, vislumbrando um mundo novo: de trabalho, produção em larga escala, ordenação social e acúmulo de riquezas. Neste projeto a burguesia passa a ver o

conhecimento científico a partir das possibilidades que este tem de interferir nos processos produtivos, assim *conhecer* significa apropriar-se, ou criar condições para a apropriação. Além do mais as ciências físicas, com suas concepções mecânicas, oferecem modelos para a organização do trabalho e da sociedade. A sociedade e a fábrica devem funcionar em harmonia, como os mecanismos de um relógio.

Mas será ao longo do século XIX que as transformações conseqüentes da produção científica definirão novos rumos para o desenvolvimento capitalista. Nesse século, mais precisamente a partir da segunda metade, haverá um grande salto, definido por Braverman como a *revolução técnico-científica*<sup>90</sup>. Nesse processo a química terá um papel decisivo, e definirá novas formas de produção científica, produção industrial e apropriação do conhecimento.

O interesse pelas ciências naturais, e conseqüentemente pela química, está presente em alguns projetos políticos, desde o final do século XVIII, como ocorreu na Revolução Francesa que reestruturou o sistema de ensino e de pesquisa, valorizando as ciências naturais e introduzindo os

---

<sup>90</sup>"Nos últimos vinte e cinco anos do século XIX, começou o que Landes chamou 'a exaustão das possibilidades tecnológicas da Revolução Industrial'. A nova revolução técnico-científica que reabasteceu o acervo de possibilidades tecnológicas tinha um caráter consciente e proposital amplamente ausente na antiga. Em vez de inovação espontânea, indiretamente suscitada pelos processos sociais de produção, vieram o progresso planejado da tecnologia e projeto de produção.(...) A revolução técnico-científica, (...) deve ser compreendida mais em sua totalidade como um modo de produção no qual a ciência e investigações exaustivas da engenharia foram integradas como parte de um funcionamento normal" (Braverman, 1977, p. 146). [Grifos meus.]

seus métodos no ensino técnico e propedêutico. Apesar desse interesse, até a metade do século XIX, a produção científica aplicável é de certa forma dependente do desenvolvimento técnico, ou melhor, está atrelada a formas de produzir, servindo apenas para aperfeiçoar os sistemas já existentes.

Assim, a objetividade consistia em melhorar o que a técnica havia produzido até então, como foi expresso pela Revolução Francesa, quando os químicos foram chamados a aperfeiçoar os sistemas industriais existentes. Mas, a partir da segunda metade do século XIX, como é mostrado no terceiro capítulo, ao tratarmos do desenvolvimento da indústria química leve, e das decorrências deste desenvolvimento, é pelo trabalho científico, que novos produtos são criados e novas tecnologias desenvolvidas. A partir daí, e das decorrências de ordem econômica, o tratamento dado à produção científica, e à formação dos especialistas sofre também profundas alterações.

Pode-se afirmar que há também uma revolução quanto à objetividade da química, pois rompe-se a relação com o antigo modelo de produção científica, com as técnicas e com os produtos conhecidos. Ao estabelecer a nova relação entre a produção científica e a produção industrial, o conhecimento químico assume um papel estratégico, tanto para o capitalista como para a nação onde é gerado.

É nesse momento que a objetividade do capital, de se produzir cada vez mais com menor custo e em menor espaço de

tempo, é incorporada à objetividade da produção científica. Isso teve como conseqüência imediata a profissionalização do cientista. A partir dessa nova situação, os interesses do capital passam a interferir nos rumos que as pesquisas devem tomar. Nos casos da quimioterapia e das fibras artificiais, como foi demonstrado pelos autores com os quais trabalhei, sempre existiu por parte dos cientistas envolvidos nas primeiras descobertas, um discurso da liberdade de ação e não interferência do Estado e da indústria em seus trabalhos, o que é negado pelos fatos.

Nesse processo ocorre também a separação do ensino e da pesquisa. A partir da nova objetividade da ciência, que podemos associar a uma necessidade de reprodução do capital e da garantia da manutenção do conhecimento enquanto uma propriedade, a produção de conhecimento, principalmente daquele que interessa ao capitalista, é dissociada do ensino pela criação de centros e institutos de pesquisa, fora das universidades.

Esta nova possibilidade talvez nos permita compreender melhor porque a produção de uma química que gera novos produtos, e de uma certa forma interfere em nosso modo de viver, parece algo tão distante da nossa realidade, e também, porque a química que aprendemos na escola parece tão pouco servir para a compreensão da realidade.

No meu entender, esta nova questão, que estabeleço aqui no final deste trabalho, me remete novamente à questão da objetividade.

### 3. Ciência e capital - outras leituras

Pode-se considerar que há objetividades, assim a produção de uma química que pode gerar produtos, os quais são incorporados à indústria capitalista, segue a lógica do capital. Na medida em que esse conhecimento é uma propriedade do capitalista, o valor da mercadoria que o incorpora está vinculado ao fato de esse conhecimento ser uma exclusividade de quem produz aquela mercadoria. Assim temos acesso à mercadoria que traz em si esse conhecimento, mas ao estarmos privados de conhecer o processo de produção dessa mercadoria, nos é vedado também o acesso a esse conhecimento.

Sendo assim, pode-se concluir que a produção do conhecimento químico está relacionada com o desenvolvimento do capitalismo, e que nos diferentes momentos da história analisados nesse estudo, dentre uma constelação de fatores que determinam o avanço na produção científica, o fator econômico aparece como o mais relevante. Mas acredito que podemos ir além dessa leitura, pois a relação do capital com a produção científica é interativa, e não se dá de forma linear.

Não basta para nós aceitarmos que a relação existe, temos que compreendê-la na sua particularidade, em cada momento da história. Talvez assim consigamos ir mais longe do que apenas compreender como esta ou aquela mercadoria é produzida, para chegarmos à compreensão de como as relações de domínio e de dependência se dão, a partir da apropriação do conhecimento.

Aqui cabe uma outra leitura, como coloquei na introdução deste trabalho: ao definirmos quem elabora uma questão e quem responde, estamos definindo, antes de mais nada, a própria resposta. Gostaria de aplicar esse raciocínio àquilo que chamamos de problemas socialmente colocados para a ciência. Em toda a história é possível identificar problemas sendo colocados e respostas sendo buscadas. Mas a frequência com a qual isso acontece, está relacionada com o estabelecimento de mecanismos que objetivamente irão definir os problemas e buscar as respostas.

Pode-se dizer que conhecer-indagar sobre o mundo é uma característica do homem, que o acompanha ao longo da sua existência, sendo o conhecimento o resultado deste processo. Mas a partir de um certo momento da nossa história, associada a uma determinada forma de produzir e gerir a vida, o conhecer passa a ser uma necessidade criada pela forma de viver. Desse modo, a manutenção dessa forma de viver depende, cada vez mais, do

conhecimento, especialmente do conhecimento que possibilita a transformação das relações do homem com o mundo da matéria.

Na sociedade capitalista, um dos problemas centrais que se coloca é o da produção, que significa antes de tudo, a possibilidade de transformar em mercadoria a matéria retirada da natureza. Assim, se estabelece a relação de domínio da natureza.

Mas, se a forma de organizar materialmente a vida, estabelece determinadas possibilidades de organizar a sociedade e conseqüentemente as relações entre os homens, o domínio da natureza torna-se um elemento de domínio do homem sobre o homem. A relação de poder estabelecida define-se pela apropriação dos mecanismos de produção, que, em nosso caso particular, deve ser entendido como a capacidade de transformar coisas em mercadorias.

#### 4. O que é química?

Aqui para mim surge outra preocupação: como trabalhar essas questões dentro da química, ou melhor, como fazer chegar aos químicos esta reflexão?

Acredito que uma das possibilidades é refletirmos sobre os meios estabelecidos para a formação do químico. Vimos que houve uma construção de uma forma de se trabalhar e de se ensinar a química. Praticamente ao mesmo tempo em que a química

se estabelece, enquanto uma ciência que é capaz de dar respostas, afastando de si as explicações mágicas, usando da experiência como forma de buscar as respostas e de fundamentar as suas verdades, criam-se e institucionalizam-se os mecanismos de reprodução deste conhecimento.

Mas ao fragmentar o conhecimento, e ao definir as especialidades - o que ocorre de uma maneira "natural" na sociedade que se constrói fundamentada na divisão social do trabalho - perde-se de vista a objetividade desta ciência nesta sociedade.

Neste contexto o químico é, antes de mais nada, uma parte de um todo, no qual o trabalho está fragmentado. Caberá a ele participar de uma das etapas da produção de mercadorias, isto é, definir tecnicamente os processos pelos quais a matéria será transformada em mercadoria. Embora ao químico seja possibilitado apropriar-se de um determinado conjunto de conhecimentos, o que é negado à maioria dos trabalhadores, isso não garante que ele conheça os processos pelos quais os frutos da produção do seu trabalho estão inseridos no contexto social.

Ao ser negado esse conhecimento ao químico, ele é privado da responsabilidade sobre o que produz, por isso é comum ouvirmos a seguinte frase: *a culpa não é da química (produto dos químicos), mas sim de quem faz mal uso dela*. Essa lógica encobre

os processos de apropriação do conhecimento, e a objetividade da apropriação.

Mas voltando à questão inicial, como ela pode ser respondida? Afinal, *o que é química?* Responderei dizendo que há muitas formas de o homem se relacionar com o mundo material, que estas formas possuem variantes históricas e culturais. Neste nosso modo de organizar a vida, de produzir e de construir a nossa sociedade, quando busco compreender a constituição deste mundo e os seus processos de transformação, tomando como ponto de partida a própria matéria; e quando o meu objetivo último, mesmo que inconsciente, é dominar esses processos, criando através da razão, uma representação deste mundo, digo então que estou fazendo química.

Volto então aos meus caminhos, às minhas escolhas, nas quais misturei os odores da cidade, com os átomos do "Sr. Bohr", a tabela do "Sr. Mendeleev", com corantes do "Sr. Perkin", e vejo-os todos através da minha janela, ou simplesmente, nesta folha de papel.

**BIBLIOGRAFIA**

- ABRAMO, C. W. Lavoisier. In: Os Cientistas. São Paulo, Abril Cultural, 1972.
- ALLINGER, N. L. e outros. Química orgânica. Trad. Ricardo B. de Alencastro, Jossyl de Souza Peixoto e Luiz Renan Neves de Pinho. 2. ed. Rio de Janeiro, Guanabara Dois, 1978.
- ARIÈS, P. História da vida privada. São Paulo, Companhia das Letras, 1991. v. 4.
- BACHELARD, G. A epistemologia. Trad. Fátima Lourenço Godinho e Mário Carmino Oliveira. Lisboa, Edições 70, 1984.
- \_\_\_\_\_. Epistemologia - trechos escolhidos. Rio de Janeiro, Zahar, 1977a.
- \_\_\_\_\_. O novo espírito científico; a poética do espaço. Trad. Remberto Francisco Kuhnen, Antônio da Costa Leal e Lídia do Valle Santos Leal. São Paulo, Nova Cultural, 1988. (Os Pensadores).
- \_\_\_\_\_. O racionalismo aplicado. Rio de Janeiro, Zahar, 1977b.
- BEN-DAVID, J. O papel do cientista na sociedade. São Paulo, Edusp, 1974.
- BERNAL, J. D. Ciência na História. Trad. António Pedro Neves. Lisboa, Livros Horizonte, 1976. 7 v. (Movimento)
- \_\_\_\_\_. Ciencia e industria en el siglo XIX. Barcelona, Ediciones Martinez Roca, 1973a.
- \_\_\_\_\_. História social de la Ciência. 3. ed. Barcelona, Península, 1973b.
- BRANNIGAN, A. A base social das descobertas científicas. Rio de Janeiro, Zahar, 1984.

- BRAVERMAN, H. Trabalho e capital monopolista - a degradação do trabalho no século XX. Trad. Nathanael C. Caixeiro. Rio de Janeiro, Zahar, 1973.
- BRESCIANI, M. S. M. Londres e Paris no século XIX: o espetáculo da pobreza. 7. ed. São Paulo, Brasiliense, 1992.
- BROCKMAN, J. Einstein, Gertrude Stein, Wittgenstein e Frankenstein : reinventando o universo. Trad. Valter Pontes. São Paulo, Companhia das Letras, 1988.
- BRYAN, N. Fibras poliamídicas (nylon). Campinas, s.d.(mimeo.).
- CANÊDO, L. B. A revolução industrial. 10. ed. São Paulo, Atual/ Editora da Unicamp, 1987.
- CHESTER, M. Estrutura atômicas. In: CISCATO, C. A. M. & BELTRAN, N. O. Química. São Paulo, Cortez, 1991. (Magistério 2º grau. Série Formação Geral).
- CISCATO, C. A. M. & BELTRAN, N. O. Química. São Paulo, Cortez, 1991. (Magistério 2º grau. Série Formação Geral).
- COHEN, I. B. A vida científica nos Estados Unidos no século XIX. In: TANTON, R. (org.). História geral das Ciências - a Ciência contemporânea - o século XIX. São Paulo, Difusão Européia do Livro, 1969. T. III, v. 3.
- COMMELIN, P. Mitologia grega e romana. Trad. Eduardo Brandão. São Paulo, Martins Fontes, 1993.
- CORBIN, A. Saberes e odores: o olfato e o imaginário social nos séculos XVIII e XIX. Trad. Ligia Watanabe. São Paulo, Companhia das Letras, 1987.
- CURIE, J. & CAVEING, M. (org.). Problemática da Ciência. Porto, Rés Editora Limitada, 1976.
- DAUMAS, M. O progresso da Química. In: TANTON, R. (org.). História geral das Ciências - a Ciência contemporânea - o século XIX. São Paulo, Difusão Européia do Livro, 1967. T. III, v. 2.
- DAVIS, H. M. Os elementos químicos. Trad. Alfredo Margarido. São Paulo, Ibrasa, 1962.
- DOBB, M. A revolução industrial e o século XIX. In: MARQUES, A. M. História contemporânea através de textos. São Paulo, Contexto, 1990. (Textos e documentos, 5).

- EPICURO/LUCRÉCIO/CÍCERO/SÊNECA. Traduções e notas Agostinho da Silva, Amador Cisneiros, Giulio Davide Leoni; estudos introdutórios de E. Joyau e G. Ribbeck. São Paulo, Nova Cultural, 1988. (Os Pensadores).
- ESPERIDIÃO, Y. M. & LIMA, N. C. S. A De. Química: dos experimentos às teorias. São Paulo, Companhia Editora Nacional, 1977.
- FILGUEIRAS, C. A. L. Newton e a Alquimia. Belo Horizonte, UFMG, s.d. 9 p.
- FOUCAULT, M. Microfísica do poder. Trad. Roberto Machado. 8. ed. Rio de Janeiro, Edições Graal, 1979.
- FRIEDMANN, G. 7 Estudos sobre o homem e a técnica. Trad. Eduardo Vieira de Almeida e Eduardo de Oliveira e Oliveira. São Paulo, Difusão Européia do Livro, 1968.
- GABEL, J. A falsa consciência. Trad. Alfredo Margarido. Lisboa, Guimarães, 1979.
- GAMA, R. História da técnica e da tecnologia. São Paulo, Edusp, 1985.
- \_\_\_\_\_. A tecnologia e o trabalho na história. São Paulo, Nobel/Edusp, 1986.
- GEYMONANT, L. Elementos de Filosofia da Ciência. Lisboa, Gradiva, s.d.
- GINZBURG, C. Mitos, emblemas, sinais: morfologia e história. Trad. Federico Carotti. São Paulo, Companhia das Letras, 1989.
- GOLDFARB, A. M. A. Da Alquimia à Química. São Paulo, Nova Stella/Edusp, 1987.
- \_\_\_\_\_. Por uma reoxigenação do ensino de Ciências: a utilização da História e Filosofia da Ciência na Química do 2º grau. In: São Paulo (Estado) Secretaria da Educação. Coordenadoria de Estudos e Normas Pedagógicas. Ensino de Química: dos fundamentos à prática. 2. ed. São Paulo, SE/CENP, 1990.
- GOLDMANN, L. Ciências Humanas e Filosofia. Que é a Sociologia. Trad. Lupe Contrim Garaude e José Arthur Giannotti. 10. ed. São Paulo, Difel, 1986.

- GOLDMANN, L. *Dialética e cultura*. Rio de Janeiro, Paz e Terra, 1979.
- . *A criação cultural na sociedade moderna*. São Paulo, Difusão Européia do Livro, 1972.
- HABERMAS, J. *Teoria analítica da Ciência e dialética/Conhecimento e interesse/ Técnica e Ciência enquanto "ideologia"*. 2. ed. São Paulo, Abril Cultural, 1980. (Os Pensadores).
- HELLER, A. *A Filosofia radical*. Trad. Carlos Nelson Coutinho. São Paulo, Brasiliense, 1983.
- HOBSBAWN, E. J. *A era das revoluções (1789-1848)*. Rio de Janeiro Paz e Terra, 1977.
- . *Da Revolução Industrial Inglesa ao imperialismo*. 3. ed. Rio de Janeiro, Forense-Universitária, 1983.
- KEYNES, J. M. Newton, the man. In: FILGUEIRAS, C. A. L. *Newton e a Alquimia*. Belo Horizonte, UFMG, s.d. 9 p.
- KUHN, T. S. *A estrutura das revoluções científicas*. 2. ed. São Paulo, Perspectiva, 1978.
- LEFÈVRE, H. *Lógica formal e lógica dialética*. Rio de Janeiro, Civilização Brasileira, 1975.
- LENOIR, T. *Balas mágicas: as pesquisas dirigidas para o aproveitamento e o progresso do conhecimento por volta de 1900*. In: *Cadernos de História e Filosofia da Ciência*. Campinas, 2 (1): 49-83, jan-jun. 1992.
- LUTFI, M. *Os aditivos em alimentos como proposta para o ensino de segundo grau*. Dissertação de Mestrado, Campinas, Universidade Estadual de Campinas, 1982.
- MANACORDA, M. A. *História da Educação: da Antigüidade aos nossos dias*. Trad. Gaetano Lo Monaco. São Paulo, Cortez/Autores Associados, 1989 (Educação contemporânea. Série memória da educação).
- MARCUSE, H. *A ideologia da sociedade industrial - o homem unidimensional*. Trad. Giasone Rebuá. 6. ed. Rio de Janeiro, Zahar, 1982.
- MARQUES, A. M. *História contemporânea através de textos*. São Paulo, Contexto, 1990. (Textos e documentos, 5).

- MARX, K. **O Capital. Crítica da Economia Política. O Processo de Produção do Capital.** Trad. Reginaldo Sant'Anna. 7. ed. São Paulo, Difel, 1982.
- MASON, I. F. **História da Ciência; As principais correntes do pensamento científico.** Trad. Flávio e José Vellinho Lacerda. Rio de Janeiro, Globo, 1962.
- MONROE, P. **História da Educação.** São Paulo, Companhia Editora Nacional, 1968.
- PETRIANOV, I. V. & TRIFONOV, D. N. A lei grandiosa. In: CISCATO, C. A. M. & BELTRAN, N. O. **Química.** São Paulo, Cortez, 1991. (Magistério 2º grau. Série Formação Geral).
- REUBEN, B. G. & BURSTALL, M. L. **The Chemical Economy.** London, Ed. Longman Group Limited, 1973.
- RHEINBOLDT, H. **História da balança: a vida de J. J. Berzelius.** São Paulo, Nova Stella/Edusp, 1988.
- ROSMORDUC, J. **Uma História da Física e da Química, de Tales a Einstein.** Trad. Leila Velho Castro Faria. Rio de Janeiro, Zahar, 1988.
- SERRES, M. As Ciências. In: Le Goff (comp.). **História: novas abordagens.** Trad. Henrique Mesquita. 3. ed. Rio de Janeiro, Francisco Alves, 1988.
- SHREVE, R. N. & BRINK JR, J. A. **A indústria de processos químicos.** Trad. Horácio Macedo. 4. ed. Rio de Janeiro, Guanabara Dois, 1980.
- SIENKO, M. J. **Química.** Trad. Ernesto Giesbrecht, Lélia Mennucci e Astréa Mennucci Giesbrecht. 6. ed. São Paulo, Companhia Editora Nacional, 1978.
- SMITH, W. B. Chemistry and the Holocaust. In: **Journal of Chemical Education**, 59 (10): 836-838, october 1982.
- TOSI, L. Lavoisier: uma revolução na Química. In: **Química nova**, Campinas, 12 (1): 33-56, janeiro 1989
- VALVERDE, J. M. **História do Pensamento. Das origens à Idade Média.** Trad. Kazumi Munakata. São Paulo. Nova Cultural, 1987. v. 1.