

UMA BREVE  
HISTÓRIA DA  
QUÍMICA

Da Alquimia às Ciências Moleculares Modernas

Arthur Greenberg



Uma breve  
**HISTÓRIA DA QUÍMICA**  
da alquimia às ciências moleculares modernas

**Blucher**

ARTHUR GREENBERG

Uma breve  
**HISTÓRIA DA QUÍMICA**  
da alquimia às ciências moleculares modernas

Tradução:

*Henrique Eisi Toma*

*Paola Corio*

*Viktoria Klara Lakatos Osório*

A Chemical History Tour  
Picturing chemistry from alchemy to modern  
molecular science  
copyright © 2009 by John Wiley & Sons, Inc.

*Uma breve História da Química* – da alquimia  
às ciências moleculares modernas  
© 2009, Editora Edgard Blücher Ltda.  
1ª reimpressão – 2013

---

# Blucher

Rua Pedroso Alvarenga, 1245, 4º andar  
04531-012 – São Paulo – SP – Brasil  
Tel 55 11 3078-5366  
**contato@blucher.com.br**  
**www.blucher.com.br**

Segundo Novo Acordo Ortográfico, conforme 5. ed.  
do *Vocabulário Ortográfico da Língua Portuguesa*,  
Academia Brasileira de Letras, março de 2009.

É proibida a reprodução total ou parcial por quaisquer  
meios, sem autorização escrita da Editora.

Todos os direitos reservados pela Editora Edgard Blücher Ltda.

---

## FICHA CATALOGRÁFICA

Greenberg, Arthur  
Uma breve HISTÓRIA DA QUÍMICA – da alquimia  
às ciências moleculares modernas / Arthur Greenberg;  
tradução da primeira edição inglesa: Henrique Eisi Toma;  
Paola Corio; Viktoria Klara Lakatos Osório. – São Paulo:  
Blucher, 2009.

Título original: A chemical history tour: Picturing  
chemistry from alchemy to modern molecular science

### Bibliografia.

ISBN 978-85-212-0491-6

1. Química I. Greenberg, Arthur. II. Toma, Henrique  
Eisi. III. Título.

04-5936

CDD-621.402

---

### Índices para catálogo sistemático:

1. Química: História 621.402

## AGRADECIMENTOS

Acredito que minha ideia para este livro foi estimulada pelo livro *Chemistry imagined* (Smithsonian, 1993), escrito por Roald Hoffmann em colaboração com a artista Vivian Torrence. Sou grato ao Professor Roald Hoffmann por sua gentil resposta a meu manuscrito parcial, e por suas generosas atividades em seu favor, bem como ao Doutor Jeffrey Sturchio pelo encorajamento inicial a este projeto. Agradeço a minha filha, Rachel, por escanear meticulosamente a maioria das figuras deste livro, e por seu saudável ceticismo que colaborou para minha própria motivação. Os esforços artísticos de meu filho David foram outro estímulo, e eu agradeço a minha amorosa esposa Susan por uma vida de apoio e indulgência, e pelos comentários nas leituras matinais dos meus ensaios. Sou grato pelos comentários e sugestões do meu colega e amigo de longa data, Professor Joel F. Liebman, e do meu novo colega do Departamento de Química da Universidade da Carolina do Norte em Charlotte, Professor Daniel Rabinovich; e também pelos comentários e sugestões de meu pai, Murray Greenberg, que teve uma longa e produtiva carreira na química industrial. A colega do Departamento de Artes, Rita L. Shumaker, forneceu dois trabalhos de arte interpretativa originais para este livro, e também fez proveitosas leituras. A Professora Susan Gardner, do Departamento de Inglês, renovou minha confiança neste projeto, e foi a leitora que eu tinha em mente ao escrever. Ela gentilmente encorajou minhas tentativas de escrever de maneira criativa, fez acréscimos à perspectiva multicultural deste livro, editou meus manuscritos de maneira gentil, porém firme, alertou-me para erros e neologismos não-intencionais em inglês e francês, e foi coautora do ensaio “Lavoisier apaixonado”. Também sou grato à Doutora Barbara Goldman, da John Wiley and Sons, pelas sugestões iniciais a este projeto e por sua fé nele; bem como a Jill Roter, da Wiley, e Ron Lewis, da Universidade da Carolina do Norte em Charlotte, com quem foi uma alegria trabalhar. A menos que haja uma observação em contrário, as figuras são de livros ou obras de arte de minha própria coleção.

## SUGESTÕES PARA LEITURAS ADICIONAIS

Eu não sou um historiador químico. Felizmente, há muitos livros verdadeiramente maravilhosos que tratam da história química. O principal deles é a inspiradora obra de referência em quatro volumes, *A history of chemistry* (McMillan, 1961, 1964), de James R. Partington. Trata-se de uma obra rigorosa, amplamente referenciada, escrita de forma atraente, e agradavelmente ilustrada; foi uma grande fonte de informação e de ideias para mim. Também me baseei bastante no livro de Aaron J. Ihde, *The development of modern chemistry* (Harper & Row, 1964), e no livro, mais recente, de William H. Brock, *The Norton history of chemistry* (Norton, 1993). Estes dois livros são muito apropriados como livros-texto em um curso de história da química, embora o livro de Ihde tenha mais de 35 anos. Gosto muito do livro de 1927 *Old chemistries* (Van Nostrand, 1927) escrito por Edgar Fahs Smith. Sinto-me como se estivesse no gabinete do Professor Smith em uma noite fria de inverno, com ele me mostrando sua coleção de livros antigos e amavelmente lendo passagens selecionadas, enquanto a lareira nos aquece. Eu gostaria muito de ter conhecido o erudito e entusiástico John Read. Sua trilogia, *A prelude to chemistry* (McMillan, 1937), *Humour and humanism in chemistry* (G. Bell, 1947) e *The alchemist in life, literature and art* (Thomas Nelson and Sons, 1947), fornece ao leitor saudáveis doses de risos e aprendizagem. Em *Humour and humanism*, Read nos dá o placar de um Jogo de Críquete Alquímico das estrelas de todos os tempos: da *Bíblia* (Noé, Moisés), mitologia greco-romana (Júpiter, Netuno, Afrodite), culturas antigas (Cleópatra, Aristóteles), Renascimento (Paracelso, Maier), e do início da história de nossa ciência (Boyle, Lavoisier). Os trocadilhos são deliciosamente infames. Ele também escreve uma peça em um ato, *The Nobel prize* (“A chemic drama in one act”), e nos brinda com os momentos mais indecentes da peça de 1610 de Ben Jonson, *The alchemist*. O Professor Read também incentivou a primeira apresentação da música alquímica seiscentista de Michael Maier (pelo “Coral Chimico” do *St. Andrews College*, em 1935). Recomendo também dois outros livros recentes: *Women in chemistry: their changing roles from alchemical times to the mid-twentieth century*, de M. Rayner-Canham e G. Rayner-Canham (American Chemical Society e Chemical Heritage Foundation, 1998); e *A dictionary of alchemical imagery*, de Lyndy Abraham (Cambridge University Press, 1998). As omissões desta minha sucinta lista não devem ser entendidas como críticas, elas apenas refletem a limitação de meus próprios estudos.

## PREFÁCIO À EDIÇÃO BRASILEIRA

A história da Química está intrinsecamente ligada à história do desenvolvimento da humanidade – e vice-versa. Química e desenvolvimento são indissociáveis. Para qualquer momento da história que se olhe, lá está presente a Química, permitindo avanços nos processos produtivos, proporcionando descobertas para a medicina ou oferecendo mais segurança e conforto para a sociedade.

*Uma breve História da Química: da alquimia às ciências moleculares modernas*, do Professor Arthur Greenberg, traz esta rica coleção de experiências, iniciada com a alquimia e os remotos estudos sobre os quatro elementos fundamentais da natureza – água, fogo, terra e ar – chegando às descobertas mais recentes, que tornam esta ciência um verdadeiro vetor de qualidade e duração da vida, bem como da democratização do consumo.

É uma obra de extrema importância para o meio acadêmico de todos os países de língua portuguesa. E também capaz de atrair a atenção de leigos interessados em encontrar respostas ou fazer novos questionamentos, fatores essenciais para o aperfeiçoamento do conhecimento humano. Neste sentido, é um repositório de curiosas histórias seculares sobre os mistérios da natureza que fascinaram o Homem em sua trajetória pelo universo, desde a pré-história até os tempos modernos.

Para a Braskem, poder contribuir para difundir todo esse conhecimento é consequência natural de sua visão sobre a importância do relacionamento entre as empresas e o meio acadêmico, fazendo convergir senso prático e rigor científico com benefício para ambas as partes. Nesse contexto, a Braskem tem larga tradição de parceria com escolas e centros de pesquisas, incluídos aqueles dedicados à Engenharia Química e à Química, orgulhando-se de ter contribuído para o avanço do conhecimento nessas áreas por meio de projetos conjuntos de pesquisa, seminários e pela promoção de prêmios para reconhecimento dos melhores talentos.



A inovação, confirma a leitura das próximas páginas, move a história e molda o futuro. A Braskem, por sua vez, tem sua trajetória estreitamente ligada à inovação e agora, com o Plástico Verde, está prestes a desencadear uma evolução em seu setor melhorando a vida das pessoas – e a Química é mais uma vez ator importante nesse enredo. Mas esse é um novo capítulo para fazer parte de um futuro livro sobre a história da Química.

Boa leitura.

*Bernardo Gradin*  
Presidente da Braskem

## PREFÁCIO À EDIÇÃO AMERICANA

Amigo leitor, o objetivo deste livro é oferecer a você um descompromissado passeio por momentos selecionados da história da química. Espero fornecer um recurso divertido e atraente, porém informativo, para professores de química, profissionais da ciência e da medicina, bem como para o público leigo que se interessa pela ciência e aprecia trabalhos de arte e ilustrações. Este livro foi planejado como um livro de imagens, com texto suficiente para explicar detalhes e contexto. Como qualquer passeio, ele é idiossincrático na escolha das atrações que mostra aos turistas.

Nossa intenção é que *Uma breve História da Química: da alquimia às ciências moleculares modernas* seja tanto folheado como lido. Ele começa com as raízes práticas, médicas e místicas da química, e traça em imagens e palavras a evolução da química até se tornar uma ciência moderna. O passeio começa com o metafórico frontispício da edição de 1738 de *Physica subterranea*, a última edição do texto de Becher que introduziu o conceito de flogístico, e termina com um “curral quântico” formado por 48 átomos de ferro dispostos um a um por meio de um microscópio de força atômica. O pós-escrito do livro consiste nas imagens contidas em três obras curtas do poeta moderno Seamus Heaney. Acompanhamos a evolução dos conceitos alquímicos até se transformarem na ideia de flogístico, e examinamos passagens críticas para o desenvolvimento da química moderna. Nossa abrangência torna-se mais limitada no século XIX e, intencionalmente, menor ainda ao tratar do século XX.

Um tema importante desse passeio reflete nossa necessidade muito humana de pictorializar a matéria: quatro elementos, três princípios, sólidos platônicos como o cubo, corpúsculos de átomos com e sem ganchos, aglomerados bidimensionais de átomos, moléculas bidimensionais, moléculas tridimensionais, fadas dando-se os braços, modelos de “bolas e palitos” e de “preenchimento

espacial”, átomos como sistema solar, átomos cúbicos com elétrons nos vértices, estruturas de ressonância, átomos ligados por molas, orbitais atômicos e moleculares, contornos de densidade eletrônica em telas de computador. Tais imagens serão recorrentes ao longo do livro.

A química tem a história mais interessante entre todas as ciências. Suas origens são tanto místicas como práticas. Qual é a origem da matéria? Ela surgiu do “nada”, ou de partículas subatômicas, ou de alguma matéria primitiva fundamental (*Prima Materia*)? O que dizer da estrutura subjacente à matéria? Ela é infinitamente divisível? Sua divisão atinge limites fundamentais? Ainda hoje, pode-se perguntar se um único átomo de ouro é realmente ouro. Quantos átomos de ouro são necessários para fazer um agregado submicroscópico que conduza eletricidade e que tenha brilho? “Átomos” de ácido têm pontas afiadas? “Corpúsculos” de água são lisos e escorregadios? A matéria evolui? O que é o Elixir da Vida? E a Fonte da Juventude? Combatemos um veneno (e a doença) com um veneno mais forte, ou tentamos neutralizá-lo? Por um lado, a acidez estomacal pode ser neutralizada com o bicarbonato de sódio, que é alcalino. Por outro lado, doenças venéreas podem ser tratadas com substâncias metálicas tóxicas, da mesma forma como tratamos câncer com medicamentos tóxicos que atacam nosso DNA.

A abordagem superficial do século XX certamente chamará a atenção de alguns críticos menos cordiais. Eu justifico essa reconhecida fraqueza observando que a explosão exponencial de informações nos tempos modernos faria transbordar os conteúdos deste livro. Além disso, as descobertas modernas que se destacam estão incluídas nos livros de química atuais. *Uma breve História da Química: da alquimia às ciências moleculares modernas* pretende complementar e estimular a abordagem de um curso moderno. Este livro não tem a pretensão de ser completo. Entretanto, incluímos as descobertas da estrutura subatômica, a cristalografia de raios X, a representação de Kossel-Lewis-Langmuir da ligação química baseada na regra do octeto, o desenvolvimento da mecânica quântica – a base subjacente à Tabela Periódica –, e a teoria da ressonância. A dupla hélice do DNA foi incluída porque é uma conquista da química estrutural, e sua estrutura imediatamente explicou sua função. De fato, a função do DNA – a duplicação – implicava que sua estrutura provavelmente teria “duplicidade”.

Concluimos o passeio pictórico com dois exemplos da química estrutural do *fin-de-millennium*. Um deles é a síntese de poliedros nanoscópicos usando-se “peças de montar” pré-construídas (moléculas bifuncionais lineares ou dobradas; moléculas trifuncionais trigonais planares ou trigonais piramidais). Basta misturá-las na proporção certa para formar os poliedros com quase 100% de rendimento,

em cerca de 10 minutos. O truque consiste em copiar a natureza, recorrendo a ligações fracas que se formam – se quebram – se reformam, até que o sistema se autoarranja na estrutura desejada. Um dodecaedro nanoscópico assim obtido lembra a visão dos pitagóricos do elemento celeste, ou quinto elemento (“éter”), postulada há 2.500 anos. O outro exemplo é o uso do microscópio de varredura por tunelamento (STM\* e suas modificações) para ver átomos individuais, e até mesmo para pinçá-los e movê-los um por um. A esse respeito, outro tema do nosso passeio é a relutância em relação à realidade dos átomos, que prosseguiu por mais de cem anos depois que a teoria de Dalton foi enunciada em 1803. De fato, nos “minutos” que antecederam a aceitação universal dessa teoria, pouco depois de iniciado o século XX, Ludwig Boltzmann cometeu suicídio – acredita-se que, em parte, devido a seu fracasso em convencer a todos os físicos e químicos da realidade dos átomos. Os 48 átomos individuais de ferro que foram “enlaçados” pelo microscópio de força atômica para formar o “curral quântico” fornecem mesmo uma imagem STM direta da dualidade onda-partícula.

Antecipo as justificadas críticas a este passeio idiossincrático por não visitar numerosos lugares. Sinceramente, admito que existem inúmeros outros caminhos que atravessam a história da química, e peço antecipadas desculpas pelas descobertas que foram omitidas ou tratadas rapidamente. Contudo, quero que este livro seja útil; e para cumprir essa missão, ele deve ser lido e apreciado pelos não-especialistas. Uma abordagem mais completa ou enciclopédica não ajudaria a alcançar esse objetivo. Embora eu tenha tentado dar reconhecimento às contribuições vindas de fora da cultura ocidental, estou ciente da fraca cobertura às antigas ciências das culturas chinesa, indiana, africana, muçulmana, e outras – e peço desculpas. Isso, na verdade, é mais um resultado da disponibilidade de livros impressos do que da intenção.

Embora nosso passeio pretenda ser tanto despreocupado como fácil de ler, ele lida com alguns aspectos importantes que, muitas vezes, são abordados de maneira muito superficial ou confusa em cursos introdutórios, e que são difíceis de ensinar. Nós, porém, tentamos usar o humor e um pouco da mundanidade tão evidentes nos trabalhos renascentistas de Chaucer e Rabelais. Por que não incluir a receita de Van Helmont para punir os “desleixados” anônimos que deixam excrementos na porta de entrada dos outros? Ao fornecer tais ornamentos, espero envolver novamente os químicos e outros cientistas com a história do nosso campo, sua maneira de se expressar e se ilustrar, e seu entrosamento com a cultura mais ampla. Espero

\* ■ N.T.: Esta sigla é comumente usada também por cientistas brasileiros, e se refere ao nome em inglês: *scanning tunneling microscope*.

fornecer aos professores de cursos introdutórios de química alguma orientação em áreas difíceis de ensinar, e algumas anedotas que animem uma aula eventualmente cansativa. E se alguns estudantes forem flagrados rindo de uma página de saber químico rabelaisiano, ou de algum trocadilho infame, isso será assim tão ruim?

*Arthur Greenberg*  
Charlotte, Carolina do Norte, EU\*

## LEGENDAS DAS PRANCHAS COLORIDAS

**Figura 32** ■ Reprodução em preto-e-branco de fotografia colorida da tela pintada a óleo “O alquimista” (1671), de Hendrick Heerschop, pertencente à Coleção de Isabel e Alfred Bader. O autor expressa sua gratidão ao Doutor Bader pela permissão de reproduzir a imagem, e também por sua valiosa discussão do desenho de Bush (vide Fig. 30).

**Figura 112** ■ Essa bela figura colorida à mão (vide pranchas em cores) é da edição de 1857 do livro de Edward Youmans, *Chemical atlas* (Nova York, primeira edição em 1854).

**Figura 114** ■ Prancha do *Chemical atlas*, de Youmans (Fig. 112). A organização da “Floresta Primitiva” da química orgânica, feita por Laurent e Gerhardt, incluía o conceito de homologia. As unidades de homologia são  $\text{CH}_2$ , e não  $\text{C}_2\text{H}_2$ , como é mostrado. A confusão resultou de discrepâncias nos pesos atômicos dos elementos, e nas fórmulas postuladas. Essas discrepâncias seriam esclarecidas em breve, no Congresso de Karlsruhe em 1860.

**Figura 115** ■ Prancha do *Chemical atlas*, de Youmans. Embora Wöhler e Liebig tivesse descoberto que o fulminato de prata e o cianato de prata eram isômeros (termo criado por Berzelius em 1830), e se suspeitasse de que a origem desse fenômeno fosse o diferente arranjo dos átomos, o conceito de valência ainda viria a ser descoberto. Nesta prancha, Youmans representa os isômeros como diferentes arranjos de átomos. Porém, ele postula que sua história química tem sentido. Por exemplo, como os arranjos atômicos nos alótropos de carbono, grafite e diamante, são diferentes (presumivelmente, diferentes tipos de carvão seriam também alótropos), então isômeros de hidrocarbonetos (butano e isobutano, por exemplo) manteriam os diferentes arranjos de átomos de carbono dos alótropos dos quais eles (presumivelmente) se derivavam.

**Figura 116** ■ Ilustração do *Chemical atlas* de Youmans (original em cores) retratando as três principais teorias estruturais da química orgânica aplicadas à reatividade, anteriores a Karlsruhe.

**Figura 129** ■ Uma ardente chama da edição de 1857 do *Chemical atlas* de Youman (vide Fig. 112; os erros nas fórmulas, como HO para a água, são discutidos no texto).

**Figura 136** ■ Páginas do primeiro caderno de anotações de Maxfield Parrish. Cortesia da Coleção Quacre, Biblioteca de Haverford College.

**Ilustração da capa** ■ A ilustração da capa deste livro é de uma pintura a têmpera de ovo (original colorido; coleção particular do autor), assinada em 1845, sendo uma versão do trabalho seiscentista de Davied Teniers, o Jovem (J. Read, *Prelude to chemistry*, Nova York, The MacMillan Co., Prancha 29; J. Read, *The alchemist in life, literature and art*, Londres, Thomas Nelson and Sons Ltd., 1947, Prancha 21 e p. 72-79). Há uma travessura aí: a perna da mesa tem uma boca e um olho, que lembram os de uma tartaruga ou dragão – ambos poderosos símbolos alquímicos. A pintura é assinada “las voy” (“les noy”, ou algo parecido) com alguns símbolos, e desconhecemos a identidade do artista.

# CONTEÚDO

## SEÇÃO I

### **QUÍMICA PRÁTICA, MINERAÇÃO E METALURGIA 1**

- Que diabos é isso? 1
- A essência da matéria: quatro elementos (ou cinco); três princípios (ou dois); ou três partículas subatômicas (ou mais) 4
- Unificando o infinito e o infinitesimal 8
- Semeando a terra com metais 10
- Caracteres químicos 12
- Química prática: mineração, análise e refino 15

## SEÇÃO II

### **ALQUIMIA ESPIRITUAL E ALEGÓRICA 20**

- A pedra filosofal não pode mais ser protegida por patente 20
- As doze chaves de Basílio Valentim: Primeira Chave, o lobo dos metais e o rei impuro 28
- Ratso Rizzo e o poeta Virgílio como agentes da transmutação? 31
- Cerâmica dos índios catawba: quatro cores e um milagre de sobrevivência 37
- Dragões, serpentes, e ordem a partir do caos 40
- Os especiais de hoje: óleo de escorpião e creme “pró-manchas” para senhoras 44
- “Erros grosseiros e comuns” 49
- O que há de errado nesta imagem? 50
- Protegendo as divisas do Império Romano contra a arte negra 52
- Geber e Razes: alquimistas das terras bíblicas 56
- Os alquimistas como temas de artistas 57
- Alegorias, mitos e metáforas 60
- O livro mudo 67



## SEÇÃO III

**A IATROQUÍMICA E AS PREPARAÇÕES ESPAGÍRICAS 77**

- Paracelso 77  
 O time dos sonhos da alquimia 80  
 Destilação pelo fogo, água quente, areia ou esterco de javali cozido no vapor 81

## SEÇÃO IV

**A QUÍMICA COMEÇA A EMERGIR COMO UMA CIÊNCIA 89**

- O primeiro livro de química pesava cinco quilos 89  
 Uma árvore cresce em Bruxelas 95  
 Curando ferimentos pelo tratamento da espada com pó de simpatia 97  
 Um transeunte anônimo defecou na sua porta? Eis uma solução 98  
 Uma casa não é um lar sem uma banheira e um destilador 99  
 Boyle contra Aristóteles e Paracelso 101  
 A atmosfera é pesada 102  
 A Lei de Boyle 107  
 Quem iria querer um antielixir? 108  
 A carruagem triunfal do antimônio 111  
 Uma conversa picante 113  
 O alquimista na boca do meu estômago 116  
 Um alquimista formado em Harvard 118  
 Flogístico: a primeira teoria científica abrangente da química 120  
 Pólvora, raios e trovões, e o espírito nitroaéreo 124  
 O “moderno” conceito de flogístico 126  
 O que são “eflúvios”? 129  
 Belos textos de química do século XVII 132  
 Afinidade química 139  
 Copelas com fundo falso, baguetas ocas e outras fraudes 143  
 As ervilhas produzem bastante gás 144  
 A magia de Black 148  
 Cavendish pesou a Terra, mas pensava que havia prendido o flogístico em uma garrafa 149  
 Produzindo água com gás 154  
 Se você *realmente* encontrar a Pdra Filosofal: “Trate de perdê-la novamente”  
 – Benjamin Franklin 156  
 Salitre, Abigail. *Alfinetes*, John 158

## SEÇÃO V

**NASCE A QUÍMICA MODERNA 159**

- Air ígneo (oxigênio): quem soube o quê, e quando eles souberam? 159  
 Bom para os camundongos dele 162  
 Onde está a injúria de antigamente? 165

Começa <i>la revolution chimique</i>	166
Simplificando a Torre de Babel química	170
Hidrogênio + oxigênio → água    Água → oxigênio + hidrogênio	173
A cobaia como um motor de combustão interna	179
Uma atração eletiva simples (deslocamento simples)	182
Uma atração eletiva dupla (deslocamento duplo)	185
A fênix era fêmea?	185
A química no cano de uma espingarda	189
Um experimento sem furos	191
Gás hilariante para todos!	194
Lavoisier apaixonado	198
Alguns problemas de última hora antes da alvorada da Teoria Atômica	201
O paradigma atômico	203
“Estamos aqui! Estamos aqui! Estamos <i>aquí!</i> ”	207
A Hipótese de Avogadro foi uma descoberta prematura?	211
A química <i>não é</i> física aplicada	213

## SEÇÃO VI

**A QUÍMICA COMEÇA A SE ESPECIALIZAR E AUXILIA A AGRICULTURA E A INDÚSTRIA** 217

A eletricidade como um bisturi químico	217
Os bisturis químicos ao longo das eras	220
Davy salva a Revolução Industrial	221
A teoria dualística da química	225
Adams se opõe aos átomos	227
O poder químico de uma corrente elétrica	230
Uma floresta tropical primitiva	233
Dominando a floresta primitiva	236
O peso atômico do carbono e confusões relacionadas	240
Por que o átomo de nitrogênio é azul, mamãe?	242
Não posso reter minha água – eu posso fazer ureia	242
Duas correntes na floresta primitiva	246
Quer uma grande teoria química? Deixe Kekulé adormecer sobre ela	249
“Meus pais foram a Karlsruhe e tudo que eu ganhei foi esta camiseta imprestável”	255
O ícone na parede	257
A química do povo	261
Tinta de amendoins e o melhor açúcar do sul	264

## SEÇÃO VII

**ENSINANDO QUÍMICA PARA AS MASSAS** 267

A primeira professora de química de Michael Faraday	267
“Química sem mistério”	271

História química de uma vela	274
No coração da chama	277
Poof! Agora você sente o cheiro! Agora não!	279
Fadas cloro?	285
O “traçoeiro” flúor: uma fada com presas?	288
Sonho de uma noite do meio do semestre	289
E agora volte à página 3 do nosso livro de salmos de química	291
Por favor, sentem-se	293
Mecânica molecular no ano 1866	294

## SEÇÃO VIII

**TRATAMENTOS MODERNOS DA LIGAÇÃO QUÍMICA** 297

Cavalgando Pégasus para visitar a química no espaço	297
O <i>Archeus</i> é canhoto?	301
John read: estereoquímico	302
Encontrando uma agulha invisível num monte de feno invisível	303
Mas o argônio é um gás monoatômico – e existem outros!	307
Quantas substâncias diferentes existem de fato no ar atmosférico?	309
Átomos do éter celestial	310
Non-atomus	313
Cristais podem difratar raios x	314
Dois prêmios Nobel? Que bom para a academia de ciências!	316
É o <i>número</i> atômico, Dmitry!	321
Os raios x medem a distância entre os átomos ou íons	323
De onde desenterramos o mol?	325
Xenônio é ligeiramente ignóbil e criptônio não é invencível	327
O átomo como sistema solar	331
É uma dádiva ser simples	334
Transmutando mecânica quântica em química	335
Merúrio pode ser transmutado em ouro	338
Os alquimistas modernos procuram Atlantis	340
A química do ouro é nobre, mas não é simples	344
O “princípio biológico perfeito”	345
“Paraísos” nanoscópicos	349
Movendo a matéria átomo-por-átomo	355

## SEÇÃO IX

**PÓS-ESCRITO** 361

Terminando em fantasia	361
------------------------	-----

<b>ÍNDICE REMISSIVO</b>	362
-------------------------	-----

# QUÍMICA PRÁTICA, MINERAÇÃO E METALURGIA

### QUE DIABOS É ISSO?<sup>1</sup>

O que esta figura alegórica (Fig. 1) representa? Esta figura calva e musculosa tem os símbolos dos sete metais originais arranjados em torno da cabeça (e, possivelmente, incluindo-a no arranjo). A cabeça, perfeitamente redonda, parece remeter ao círculo perfeito que corresponde ao ouro.

Os elementos, que incluem o antimônio e o enxofre, também se encontram enterrados nos intestinos da figura – literalmente, suas entranhas – e, assim, temos uma pista sobre sua natureza. Quaisquer tentativas de interpretações mais aprofundadas encontram-se mais no reino da psicologia do que no reino da ciência. De fato, o famoso psicólogo C. G. Jung possuía uma valiosa coleção de livros e manuscritos alquímicos, e escreveu extensamente sobre esse assunto.<sup>2</sup>

Em seu cerne, a alquimia postulava uma matéria ou estado fundamental, a *Prima Materia*, base para a formação de todas as substâncias. As definições<sup>2</sup> de *Prima Materia* são amplas, em parte químicas, em parte mitológicas: azougue, ferro, ouro, chumbo, sal, enxofre, água, ar, fogo, terra, mãe, lua, dragão, orvalho. Em um nível mais filosófico, foi definida como Hades ou como Terra. Outra figura de um livro alquímico do século XVII foi identificada por Jung como a *Prima Materia* – uma Terra também musculosa sendo amamentada pelo “filho dos filósofos”.<sup>2</sup> Esta figura também tem os seios de uma mulher; tal ser hermafrodita remete à criação de Eva a partir de Adão, e à subsequente semeadura da espécie humana.

Voltemo-nos à analogia com a Terra, pois ela parece nos ajudar a entender a presença dos elementos em suas entranhas. A pequena figura na parte superior

do abdômen pode ser considerada como um tipo de Espírito da Terra, acalentando o crescimento dos seres vivos (vide vegetação abaixo dele) e a “multiplicação” dos metais. As posições de destaque do ouro (a cabeça, bem como o nível mais elevado nos intestinos) implicam a *transmutação* – a conversão dos metais comuns em metais nobres. A figura segura uma harpa, que representa a harmonia, e um triângulo isósceles, que representa a simetria. Trata-se de uma metáfora para a unidade que os verdadeiros alquimistas notavam entre sua arte e a natureza.

Esta prancha é o frontispício do livro *Physica subterranea*, editado pelo químico e físico alemão Georg Ernst Stahl em 1738.<sup>3</sup> É a última edição do famoso livro publicado por Johann Joachim Becher em 1669. Becher desenvolveu a primeira teoria unificadora da química, a Teoria do Flogístico, a partir de conceitos alquímicos, e que posteriormente tornou-se útil pelas mãos de Stahl. Assim, nesta prancha encontram-se temas de transmutação alquímica, crenças espirituais, e ciência química antiga, que darão início ao nosso passeio.

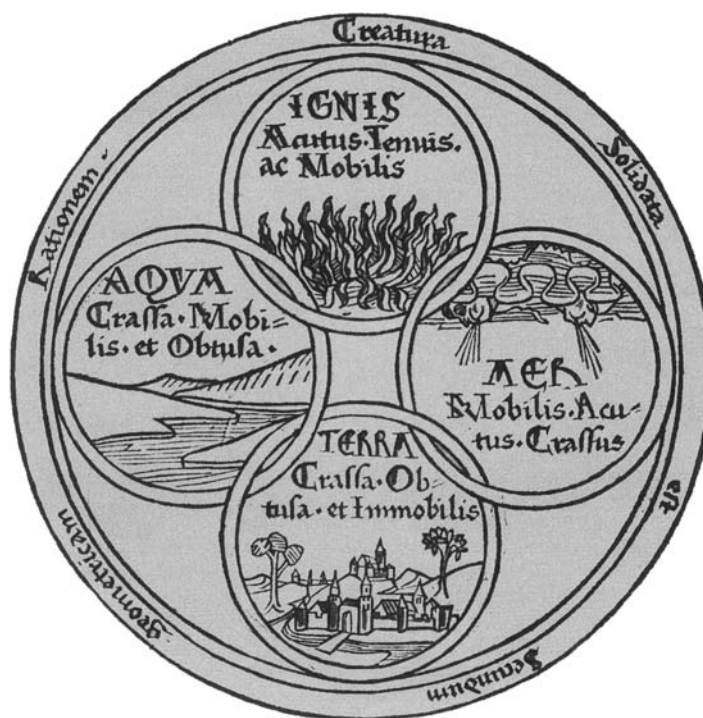
- <sup>1</sup> ■ Pedindo desculpas à escritora Dorothy Parker. [N.T.: O título original desta seção, em inglês, é: “What fresh hell is *this*?”. Essa é uma expressão de descontentamento criada pela escritora norte-americana Dorothy Parker (1893-1967), e que deu título a sua biografia, escrita por Marion Meade.]
- <sup>2</sup> ■ N. Schwartz-Salant, *Jung on alchemy*, Princeton, NJ, Princeton University Press, 1995, p. 25-30; 44-49.
- <sup>3</sup> ■ Uma interpretação diferente para esta figura, como Saturno, pode ser vista em C. A. Reichen, *A history of chemistry*, Nova York, Hawthorne Books, 1963, p. 8.



**Figura 1** ■ Frontispício da última edição de *Physica subterranea*, de Johann Joachim Becher (Leipzig, 1738). A figura pode representar a Matéria Fundamental (*Prima Materia*).

## A ESSÊNCIA DA MATÉRIA: QUATRO ELEMENTOS (OU CINCO); TRÊS PRINCÍPIOS (OU DOIS); OU TRÊS PARTÍCULAS SUBATÔMICAS (OU MAIS)

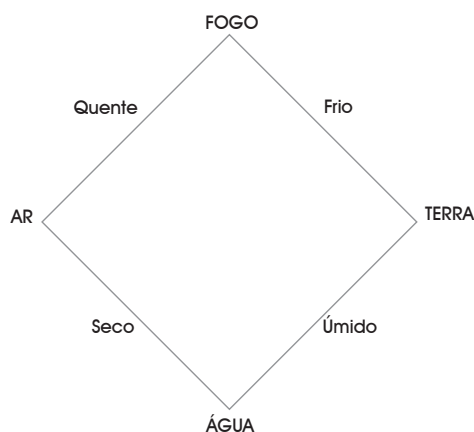
Os antigos filósofos gregos não eram cientistas. Eram, entretanto, pensadores originais, que tentaram explicar a natureza sobre uma base lógica, em vez de recorrer aos caprichos de deuses e deusas. Considera-se que o pai desse movimento foi Tales de Mileto, que, no século VI a.C., concebeu que a água seria a essência de toda a matéria. (Observaremos mais adiante que, em meados do século XVII, Van Helmont teve uma opinião até certo ponto semelhante.) Tales tem a fama de haver previsto o eclipse solar total de 585 a.C., que consta ter ocorrido durante uma batalha naval – embora não haja evidências de que ele tivesse o conhecimento necessário para fazer tal previsão.<sup>1</sup> Um dos seus sucessores na Escola de Mileto foi Empédocles de Agrigento (ca. 490-430 a.C.).<sup>1</sup> Empédocles teria sido o primeiro a propor que toda a matéria seria composta de quatro elementos primordiais de igual importância,<sup>2,3</sup> embora ideias semelhantes tenham surgido no Egito, na Índia e na China (cinco elementos) por volta de 1500 a.C.<sup>2</sup> A Figura 2 representa os quatro elementos terrestres. Ela aparece em *De responsione mundi et astrorum ordinatione* (Augsburgo, 1472), um livro baseado nos escritos de Santo Isidoro, bispo de Sevilha durante o século VII d.C.<sup>4</sup>



**Figura 2** ■ Os quatro elementos dos antigos: Fogo, Ar, Terra e Água. Imagem reproduzida de Santo Isidoro, *De responsione mundi et astrorum ordinatione* (Augsburgo, 1472) (cortesia de The Beinecke Rare Book and Manuscript Library, Universidade Yale).

Embora Empédocles tenha escrito sobre a estrutura física real da matéria, foi somente no século V a.C. que dois filósofos da Escola de Mileto enunciaram uma cosmologia atômica coerente. Nenhum dos escritos de Leucipo chegou até nós, mas é amplamente aceito que ele existiu; e alguns dos escritos de seu aluno Demócrito (ca. 460-ca. 370 a.C.) são conhecidos. Para esses pensadores, existiriam duas realidades na natureza: Átomos (do grego *atomos*, que significa não-divisível) e Vácuo (derivado de *vacuus*, que significa vazio).<sup>3</sup> Considerava-se que o Vácuo seria tão real quanto os Átomos. Pensava-se que os átomos de água eram lisos e escorregadios, e que átomos de ferro eram providos de ganchos.

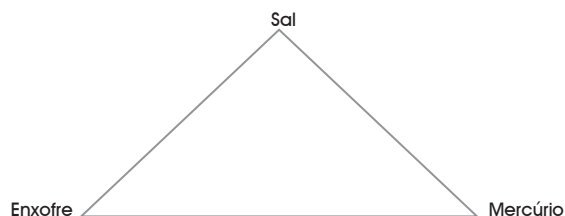
Aristóteles (384-322 a.C.) é considerado como um dos dois maiores pensadores da Antiguidade, ao lado de Platão.<sup>1</sup> Aristóteles propôs a existência de uma espécie de elemento celeste primordial, o “éter”, e a cada um dos quatro elementos terrestres atribuiu um par de “qualidades” opostas ou contrárias (úmido *versus* seco; quente *versus* frio). As relações entre os elementos e suas qualidades podem ser representadas por um quadrado, no qual as qualidades contrárias encontram-se elegantemente situadas em arestas opostas. O quadrado é um dos símbolos fundamentais que aparecem com frequência em manuscritos e livros alquímicos, avançando mesmo pelo século XVIII. Assim, um líquido (rico em água) é frio e úmido, enquanto seu vapor (rico em ar) é quente e úmido. Para vaporizar um líquido, basta adicionar calor – deslocar-se da aresta frio para a aresta quente do quadrado. Para dissolver um sólido (rico em terra), adicione úmido; para queimar o sólido, adicione quente. O fogo não seria sólido, líquido nem gás, mas uma forma de energia interna – semelhante, talvez, ao conceito setecentista de “calórico” proposto por Lavoisier.<sup>2</sup>



Aristóteles era antiatomista, em parte por não acreditar que o espaço pudesse ser vazio. Essa visão foi adotada pelo grande matemático e filósofo Rene Descartes (1596-1650), que propunha apenas dois princípios na matéria (extensão e movimento), e rejeitava as quatro qualidades aristotélicas. A ideia de *extensão* o levou a rejeitar a ideia de átomos finitos, e ele considerava ridículo



o conceito de vácuo (“A natureza tem horror ao vácuo”).<sup>5</sup> Assim, nos séculos XVII e XVIII houve conflito intelectual entre os cartesianos (a escola de Descartes) e a escola corpuscular (corpúsculos seriam conceitualmente similares aos átomos), que incluía Robert Boyle e Isaac Newton.<sup>6</sup>



Durante o Renascimento, as concepções gregas clássicas sobre a natureza foram finalmente contestadas por pessoas como Paracelso.<sup>7</sup> Paracelso expandiu uma antiga concepção de matéria segundo a qual esta seria uma união entre um sublime enxofre dos filósofos (“Enxofre Sáfico” – frequentemente caracterizado como masculino) e um sublime mercúrio dos filósofos (“Mercúrio Sáfico” – frequentemente caracterizado como feminino). Estes não estão relacionados com os elementos químicos que hoje reconhecemos como enxofre e mercúrio. A eles Paracelso juntou o Sal como o terceiro Princípio. Assim, o Mercúrio é o Espírito, o Enxofre é a Alma, e o Sal é o Corpo Material. A relação entre eles é representada por um triângulo – outra grande metáfora encontrada em manuscritos e livros alquímicos até o século XVIII.

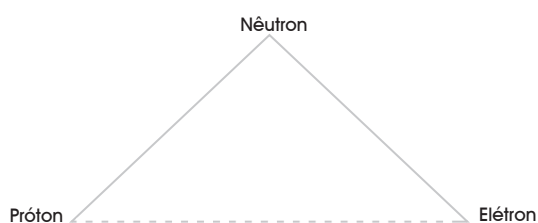
Toda a matéria seria composta desses três princípios em proporções variadas. Mais adiante (Fig. 43) veremos dois triângulos simbólicos como esse na *Basilica chymica* de Oswald Croll. Croll apresentou a alquimia paracelsista: o triângulo de baixo apresenta Vida, Espírito e Corpo (ou Fogo, Ar e Água; ou ainda, Animal, Vegetal e Mineral). Símbolos de triângulos e quadrados são abundantes na alquimia. Os Sioux\* viam o círculo como seu mais elevado ideal: “o círculo da Vida”, o *tipi*\*\* a fogueira.<sup>8</sup> Em sua sátira *Flatland*, escrita no século XIX, Edwin Abbot retrata o crescente aperfeiçoamento através das sucessivas gerações à medida que um triângulo gera um quadrado, que gera um pentágono, e assim por diante. Um *megágon* se aproxima da perfeição de um círculo – uma espécie de transmutação geracional.

A visão moderna do átomo é de que ele é divisível, e que as partículas fundamentais constituintes de todos os átomos de todos os elementos são: os prótons (carga positiva), os nêutrons (carga zero) – em um núcleo inimaginavelmente denso, que ocupa uma fração minúscula do volume do átomo – e os elétrons (carga negativa).<sup>9</sup> O núcleo positivo e os elétrons negativos são nos-

\* ■ N.T.: Nação indígena da América do Norte.

\*\* ■ N.T.: Tendas de forma cônica, usadas pelos índios nômades das Grandes Planícies da América do Norte.

sos “contrários” modernos. (Aliás, foi Benjamim Franklin quem introduziu a nomenclatura positivo-negativo no contexto da eletricidade.)<sup>10</sup> Os elétrons são considerados partículas fundamentais com tempo de vida infinito, e de fato são uma das seis partículas subatômicas chamadas léptons. Prótons e nêutrons não são consideradas fundamentais, e pertencem a uma classe muito complexa de partículas subatômicas chamadas de hádrons. Fora do núcleo, um nêutron livre tem meia-vida de apenas 17 minutos, e decai em um próton, um elétron (partícula  $\beta$ ) e um antineutrino – outro lépton.<sup>9</sup> Assim, com base nessa visão moderna, podemos desenhar um triângulo no estilo paracelsista – mas não um triângulo equilátero, na medida que o nêutron pode dar origem aos outros dois. A *Prima Materia* moderna poderia ser uma densa estrela de nêutrons.



<sup>1</sup> ■ *Encyclopedia Britannica*, 15. ed. Chicago, 1986, v. 11, p. 670.

<sup>2</sup> ■ J. Read, *Prelude to chemistry*, Nova York, MacMillan, 1937, p. 8-11.

<sup>3</sup> ■ B. Pullman, *The atom in the history of human thought*, Nova York, Oxford University Press, 1998, p. 2-47.

<sup>4</sup> ■ I. MacPhail, *Alchemy and the occult*, New Haven, Yale University Library, 1968, v. 1, p. 3-4.

<sup>5</sup> ■ Duas fontes de citações simplesmente registram esta frase (*Natura abhorret vacuum*) como sendo um provérbio latino. [B. Evans, *Dictionary of quotations*, Nova York, Delacorte Press, 1968, p. 720; e *Dictionary of foreign quotations*, R. Collison e M. Collison (ed.), Nova York, Facts on File, 1980, p. 241]. Uma fonte a atribui a *Gargantua*, de 1534, mas a partir de uma fonte latina antiga [A. Partington (ed.), *The Oxford dictionary of quotations*, 4. ed., Nova York, Oxford University Press, 1992, p. 534]; *Bartlett's familiar quotations*, 16. ed., J. Kaplan (ed.), Boston, Little, Brown, 1992, p. 277, atribui a frase a Spinoza em 1677. Achei que você iria gostar de saber disso para contar no próximo *happy hour*.

<sup>6</sup> ■ B. Pullman, op. cit., p. 140-142, 157-163.

<sup>7</sup> ■ J. Read, op. cit., p. 21-30.

<sup>8</sup> ■ J. Lame Deer e R. Erdoes, *Lame Deer seeker of visions*, Nova York, Simon and Schuster, 1972, p. 108-118.

<sup>9</sup> ■ B. Pullman, op. cit., p. 343-353.

<sup>10</sup> ■ J. R. Partington, *A history of chemistry*, Londres, MacMillan, 1962, v. 3, p. 66.

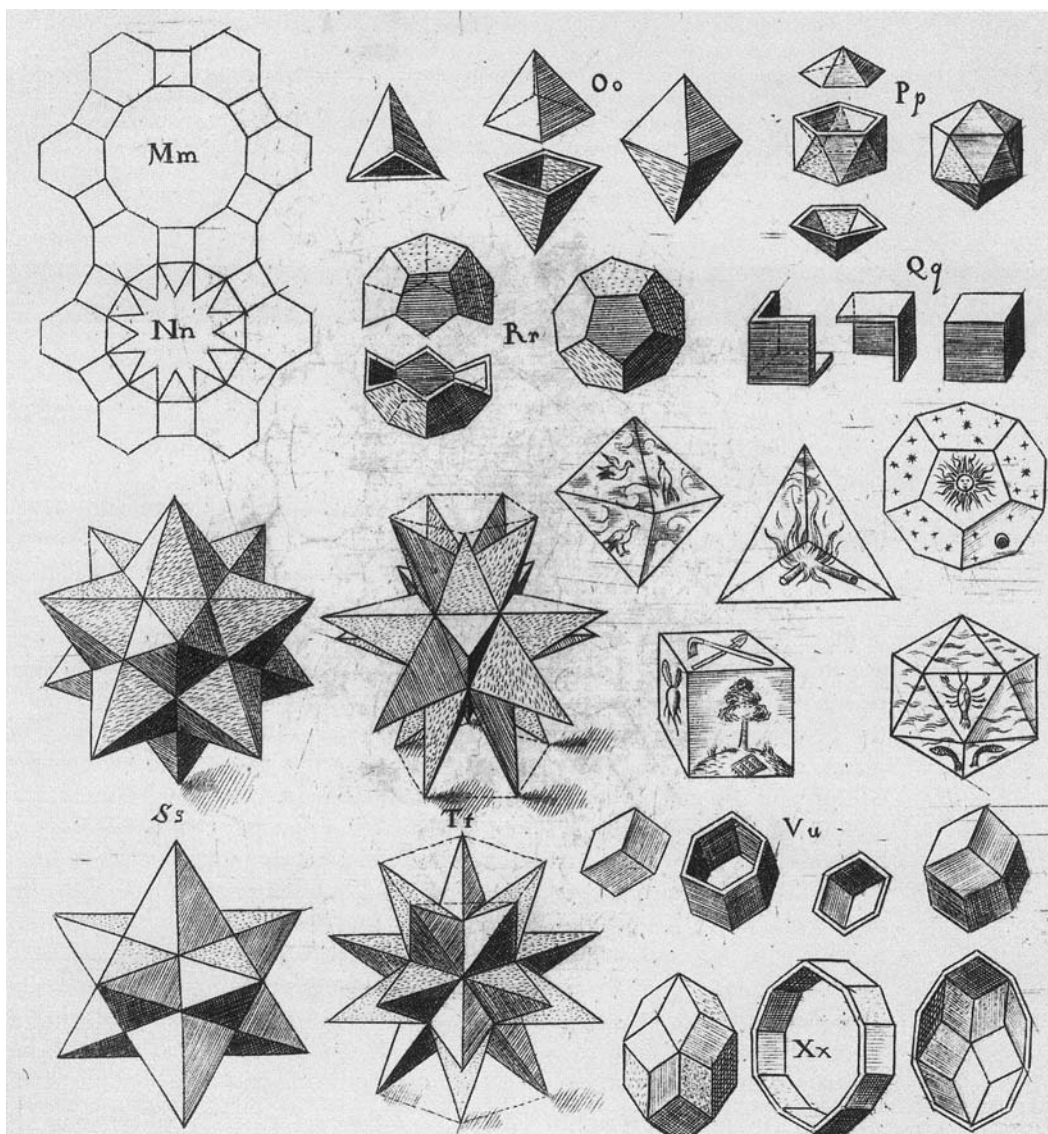
## UNIFICANDO O INFINITO E O INFINITESIMAL

Faz parte da natureza humana tentar harmonizar nosso universo – tentar unificar o infinito com o infinitesimal. Pitágoras e seus seguidores desenvolveram uma concepção puramente matemática do universo. Conforme observado por Pullman:<sup>1</sup> “De fato, os pitagóricos afirmavam que os números eram a essência de todas as coisas. Os números seriam a fonte do real; eles próprios constituiriam as coisas do mundo”.

Mendeleev desenvolveu a Tabela Periódica cerca de 2.400 anos após a morte de Pitágoras. Ele jamais poderia compreender a origem de seu ordenamento. Porém, em 1926, a nova mecânica quântica de Schrödinger explicou a Tabela Periódica recorrendo a apenas quatro números quânticos ( $n$ ,  $l$ ,  $m_l$  e  $m_s$ ), que hoje os estudantes aprendem no ensino médio. Pitágoras teria ficado satisfeito, mas não surpreso.

A Figura 3 é de *Harmonices mundi* (1619), de Johannes Kepler. Os extravagantes desenhos no centro, à direita, representam os cinco sólidos platônicos – poliedros cujas faces são constituídas uniformemente por triângulos, quadrados ou pentágonos. Geralmente se atribui ao pitagórico Filolau de Tarento (480 a.C.-?) a correlação dos quatro elementos terrestres a esses poliedros.<sup>1</sup> A partir do centro e do alto, e no sentido anti-horário, temos o tetraedro (fogo), o octaedro (ar), o cubo (terra) e o icosaedro (água). Platão acrescentou o quinto sólido, o dodecaedro, para representar o universo (semelhante ao éter de Aristóteles). O tetraedro é o mais pontudo desses poliedros, e o fogo é, portanto, o elemento “mais penetrante”. O dodecaedro é o mais parecido com uma esfera, o mais perfeito. Seus pentágonos são também peculiares – não se pode ladrilhar um piso com pentágonos como se pode fazer com triângulos, quadrados e hexágonos. Além disso, Platão imaginou que os próprios quatro elementos terrestres seriam constituídos de triângulos fundamentais: um triângulo retângulo isósceles A (obtido dividindo-se ao meio a face quadrada do cubo) e um triângulo retângulo B (obtido dividindo-se a face triangular equilátera do tetraedro, octaedro ou icosaedro). A terra seria constituída pelo triângulo A. O ar, o fogo e a água seriam constituídos pelo triângulo B e, portanto, poderiam ser interconvertidos.<sup>1</sup>

Em seu livro de 1596, *Mysterium cosmographicum*, Kepler propôs um sistema solar no qual as órbitas dos seis planetas conhecidos estavam localizadas em esferas concêntricas inscritas e circunscritas nesses cinco poliedros, organizados concentricamente.<sup>2</sup> Nas palavras de Jacob Bronowski:<sup>3</sup> “Toda ciência é a busca pela unidade nas semelhanças ocultas”. Ele também afirmou: “Para nós, as analogias pelas quais Kepler ouviu o movimento dos planetas na música das esferas são forçadas. Contudo, seriam elas mais forçadas do que o arrojado salto por meio do qual Rutherford e Bohr, em nosso próprio século, fundaram um modelo para o átomo baseado não em outra coisa, mas no sistema planetário?”



**Figura 3** ■ Os poliedros no livro *Harmonices mundi* (Linz, 1619), de Johannes Kepler. Observe os cinco sólidos platônicos no centro dessa figura, à direita, representando os quatro elementos terrestres: Ar, Fogo, Água e Terra, e também o quinto (celestial) elemento Éter (cortesia da Divisão de Coleções Raras e Manuscritas, Biblioteca Carl A. Kroch, Cornell University).

- <sup>1</sup> ■ B. Pullman, *The atom in the history of human thought*, Nova York, Oxford University Press, 1998, p. 25-27, 49-57.
- <sup>2</sup> ■ O modelo poliédrico de Kepler é belamente ilustrado e descrito na página 95 do livro de Istvan e Magdolna Hargittai, *Symmetry – a unifying concept*, Bolinas, CA, Shelter, 1994. Este livro também me inspirou o uso dos poliedros de *Harmonices mundi*, de Kepler.
- <sup>3</sup> ■ J. Bronowski, *Science and human values*, edição revista, Nova York, Perennial Library Harper & Row, 1965, p. 12-13.

## SEMEANDO A TERRA COM METAIS

A química começou a emergir como uma ciência no início do século XVII. Suas raízes incluíam a química prática (mineração e purificação de metais, criação de jóias, cerâmica e armas de fogo), a química médica (uso de ervas e de vários preparados feitos a partir delas), e crenças místicas (busca pela Pedra Filosofal ou Elixir Universal).

A Figura 4 é o frontispício da última edição alemã (1736) do livro de Lazarus Ercker, *Aula subterranea...*, publicado pela primeira vez em Praga, em 1574. Diferentemente de tantos outros livros do século XVI, esse importante tratado sobre minérios, análises e química mineral foi escrito de maneira simples e clara por um indivíduo que tinha experiência própria nas artes da mineração. Por esse motivo (e por sua beleza), o livro foi reeditado muitas vezes por um período de mais de 160 anos. As pranchas da edição de 1736 foram feitas com os mesmos blocos de impressão usados na edição de 1574; a gradual, porém ligeira e acumulativa, deterioração dos blocos é evidente nas várias edições.<sup>1</sup> Imagine o valor atribuído a esse trabalho para fazer com que os impressores conservassem cuidadosamente os blocos por séculos.

Esta bela prancha representa a semeadura dos metais na terra (onde se acreditava que eles se multiplicassem) feita por Deus, e o árduo trabalho humano de minerá-los, purificá-los e analisá-los. Embora reconheçamos sete metais (ouro, prata, mercúrio, cobre, chumbo, estanho e ferro), além de arsênico e enxofre, como os nove elementos conhecidos pelos antigos, eles certamente não eram reconhecidos na época como elementos no sentido moderno. Em vez disso, eram considerados combinações místicas de, por exemplo, sal, mercúrio sófico e enxofre sófico.

<sup>1</sup> ■ A. G. Sisco e C. S. Smith, *Lazarus Ercker's treatise on ores and assaying* (traduzido da edição alemã de 1580), Chicago: The University of Chicago Press, 1951.



**Figura 4** ■ Frontispício da última edição de *Aula subterranea...* de Lazarus Ercker (Frankfurt, 1736), representando Deus semeando a terra com metais, e sua colheita e refinação pelas pessoas. (A primeira edição desse livro foi publicada em 1574; os blocos de impressão originais foram utilizados para imprimir as pranchas em todas as edições subsequentes.)

## CARACTERES QUÍMICOS

A tabela de símbolos químicos da Figura 5 pertence ao livro intitulado *The royal pharmacopoea, galenical and chymical, according to the practice of the most eminent and learned phisicians of France, and publish'd with their several approbations*, edição inglesa publicada em 1678. O autor, Moses Charas, fugiu da perseguição religiosa na França para encontrar o culto ambiente intelectual da Inglaterra de Carlos II, que estabeleceu a Royal Society. Entre os membros dessa sociedade estavam Robert Boyle, Robert Hooke e Isaac Newton.

Os elementos listados na tabela incluem os nove elementos antigos, descritos anteriormente, e uns outros poucos que são facilmente separáveis. É claro que o ouro, por ser “inerte”, é encontrado comumente em estado não combinado, e sua alta densidade (o ouro é cerca de 8 vezes mais denso que a areia) permite que seja bateado. De fato, hoje sabemos que os gases inertes, como hélio, neônio, argônio, criptônio e xenônio, também são encontrados não combinados na natureza, mas eles são incolores e inodoros. Em todo caso, de repente avançamos mais de duzentos anos no tempo, e pedimos desculpas ao leitor se nos deixamos levar pelo nosso entusiasmo.

A associação dos elementos com os planetas e seus símbolos, evidente na Figura 5, parece ter sido adotada a partir de ideias das culturas árabes na Idade Média. A associação do ouro com o sol é muito óbvia. As outras são mais sutis. Por exemplo, entre os planetas, Mercúrio parecia aos antigos mover-se mais rapidamente no céu, sendo o mais apropriado como mensageiro. As asas de Mercúrio representavam bem a volatilidade do metal. Em contraste, Saturno era o mais distante dos planetas observados pelos antigos (Urano, Netuno e Plutão foram descobertos nos séculos XVIII, XIX e XX, respectivamente). O movimento aparentemente lento desse planeta pelo céu foi comparado a Saturno, o deus da semeadura ou da agricultura, que às vezes é representado com uma perna de madeira. O chumbo era denso, lento... plúmbeo. Uma pessoa *saturnina* é preguiçosa ou triste (não devendo ser confundida com uma pessoa *saturnal* – dissolutamente alegre ou orgiaca, em referência às festas romanas denominadas *saturnais*).

Mas, voltemos a um uso moderno da metáfora, com base no tóxico elemento chumbo, e visitemos o livro *A tabela periódica*, de Primo Levi,<sup>1</sup> que usou 21 elementos como metáforas em 21 histórias. Por exemplo:

Meu pai e todos nós Rodmund em linha paterna exercemos desde sempre este ofício, que consiste em reconhecer uma certa e pesada pedra, encontrá-la em países distantes, aquecê-la num certo modo que nós conhecemos e dela extrair o chumbo negro. Perto de minha aldeia havia uma jazida grande: dizem que fora descoberta por um meu antepassado, que chamavam Rodmund Dentes Azuis. É uma aldeia de operários do chumbo: todos o sabem fundir e trabalhar, mas

somente nós Rodmund sabemos encontrar a pedra e garantir que é a verdadeira pedra de chumbo, não uma das tantas pedras pesadas que os deuses semearam pelas montanhas para enganar o homem. São os deuses que fazem crescer sob a terra os veios dos metais, mas os mantêm secretos, ocultos; quem os encontra é quase igual a eles e, por isso, os deuses não o amam e tentam confundi-lo. Não nos amam a nós, Rodmund: mas não nos preocupamos com isso.

Todos os homens retomaram os velhos misteres, mas eu não: assim como o chumbo, sem nós, não vê a luz, nós sem o chumbo não podemos viver. Nossa arte faz enriquecer, mas faz morrer na juventude. Alguns dizem que isso ocorre porque o metal entra no sangue e o debilita pouco a pouco; outros pensam ser uma vingança dos deuses, mas, de todo modo, a nós Rodmund importa pouco que nossa vida seja curta, porque somos ricos, respeitados e corremos o mundo.

Assim, depois de seis gerações de descanso, recomecei a viajar em busca de pedras para fundir ou para outras pessoas fundirem, ensinando-lhes a arte em troca de ouro; aí está, nós Rodmund somos nigromantes: mudamos o chumbo em ouro.

Com a vista desarmada, as pessoas na Antiguidade eram capazes de discernir que o planeta Marte é vermelho, assim como a cal de ferro (“ferrugem”). É intuitivamente razoável associar Marte – o deus da guerra – com o ferro, o material de que são feitas as armas, e também com o sangue. Executivos de empresas do final do século XX usavam “gravatas do poder” vermelhas em reuniões. Em uma confirmação (quase maravilhosa demais) da intuição antiga, os achados da Missão Viking da Nasa – que fez pousar duas sondas espaciais em Marte em 1976 – indicaram uma superfície vermelha composta de óxidos de ferro. Ou seja: os antigos fizeram uma análise química a olho nu a mais de 50 milhões de quilômetros – nada mau!

Mas vamos levar a ironia mais um ou dois passos adiante. No momento em que este texto foi escrito, parece que Marte enviou seu próprio mensageiro para a Antártica há 13 mil anos, na forma do meteorito ALH84001.<sup>2</sup> A comparação do conteúdo de isótopos de carbono nos glóbulos de carbonato existentes no meteorito com os dados das sondas Viking indica sua origem marciana. Entre os fragmentos de evidências químicas, a identificação de sulfeto de ferro (II), juntamente com óxidos de ferro, sugere uma origem biogênica – pois esses dois compostos são essencialmente incompatíveis sob condições abióticas. A eletrizante, ainda que talvez prematura, conclusão dos cientistas é a seguinte:<sup>2</sup>

Embora haja explicações alternativas para cada um desses fenômenos considerados individualmente, quando considerados em conjunto – em particular, devido a sua associação geográfica –, concluímos que eles constituem evidência de vida primitiva no passado marciano.



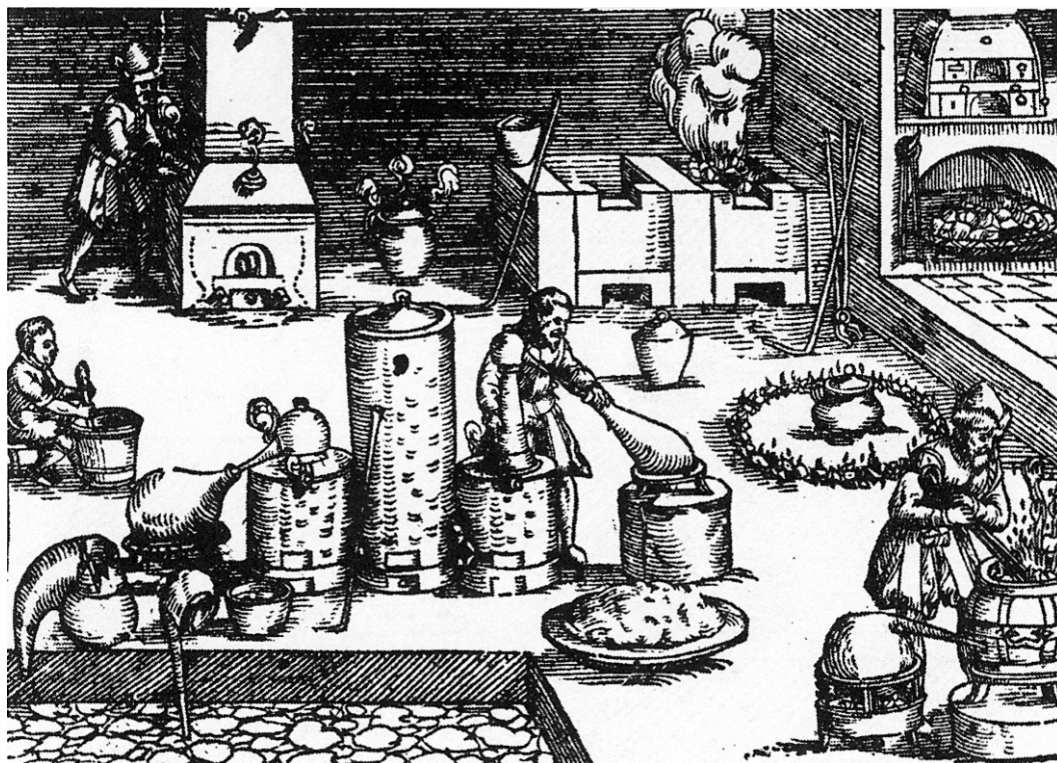
CHYMICALL CHARACTERS	
<p><i>Notes of Metalls</i></p> <p>Saturne, Lead. — ♄</p> <p>Jupiter, Tinne. — ♃</p> <p>Mars, Iron. — ♂ ♀</p> <p>Sol, the Sun, Gould. — ☉</p> <p>Venus, Copper, Braſſe. — ♀</p> <p>Mercury, Quickſilver. — ☿</p> <p>Luna, the Moon, Silver. — ☾</p>	
<p><i>Notes of Minerall and other Chymicall things</i></p> <p>Antimony. — ♂ ⬠ ⬠</p> <p>Aſenick. — ○ ○ ♂</p> <p>Auripigment. — ♂ ♂</p> <p>Alliun. — ○ ⬠</p> <p>Aurichalcum. — ⬠ ⬠ ⬠</p> <p>Inke. — ⬠</p> <p>Vinegar. — †</p> <p>Diſtilld vinegar. — † †</p> <p>Analuma. — a a a E # #</p> <p>Aqua Vitæ. — ♂</p> <p>Aqua fortis, or ſepa- ratory water. — ▽</p> <p>Aqua Regis or Stygian water. — ▽</p> <p>Alembeck. — XX</p> <p>Borax. — 7 ⬠</p> <p>Crocus Martis. — ♂ ⬠</p> <p>Cinnabar. — † ⬠</p> <p>Wax. — ⬠</p> <p>Crocus of Copper or burnt Bruiſt. — ♂ ♂ ♂ ♂ ♂</p> <p>Aſhes. — H</p> <p>Aſhes of Harts eaſe. — H</p> <p>Calx. — H</p> <p>Caput Mortuum. — ⬠</p> <p>Gumme. — ♂ ♂</p> <p>Sifted Tiles or Flower of Tiles. — □</p> <p>Lithon ſapientie. — ℘</p> <p>Marcaſite. — ♂ ♂ ♂ ♂</p> <p>Sublimatæ Mercurij. — † †</p>	
<p><i>Notes of Minerall and other Chymicall things</i></p> <p>Mercury of Saturne. — ♂</p> <p>Baſeum Mariae. — MB</p> <p>Magnet. — ♂ ♂</p> <p>Oyle. — ♂ ♂ ♂ ♂</p> <p>To purifye. — ♂</p> <p>Reaſar. — ♂ ♂ ♂</p> <p>Salt Peter. — ♂</p> <p>Common Salt. — ♂ ♂</p> <p>Salt Gemme. — ♂ ⬠</p> <p>Salt Armoniack. — * *</p> <p>Salt of Kali. — ♂ ⬠</p> <p>Sulphur. — ♁ ♁</p> <p>Sulphur of Philoſophers. — ♁</p> <p>Black Sulphur. — ♁</p> <p>Soape. — ⬠</p> <p>Spirit. — ♂</p> <p>Spirit of wine. — ♂ ♂</p> <p>To ſublime. — ♂ ♂</p> <p>Stratum ſuper ſtratum or Lay upon lay. — S S S</p> <p>Tattar. — ⬠ ⬠</p> <p>Tidia. — ⬠</p> <p>Talck. — X</p> <p>A Covered pot. — ▽</p> <p>Vitriol. — ♂</p> <p>Glas. — ⬠</p> <p>Drine. — □</p>	
<p><i>Notes of the ſoure Elements</i></p> <p>Fire. — △</p> <p>Aire. — △</p> <p>Water. — ▽</p> <p>Earth. — ▽</p> <p>Day. — ♂</p> <p>Night. — ♁</p>	
FINIS.	

Figura 5 ■ Símbolos químicos do livro *The royal pharmacopoea*, de Moses Charas (Londres, 1678).

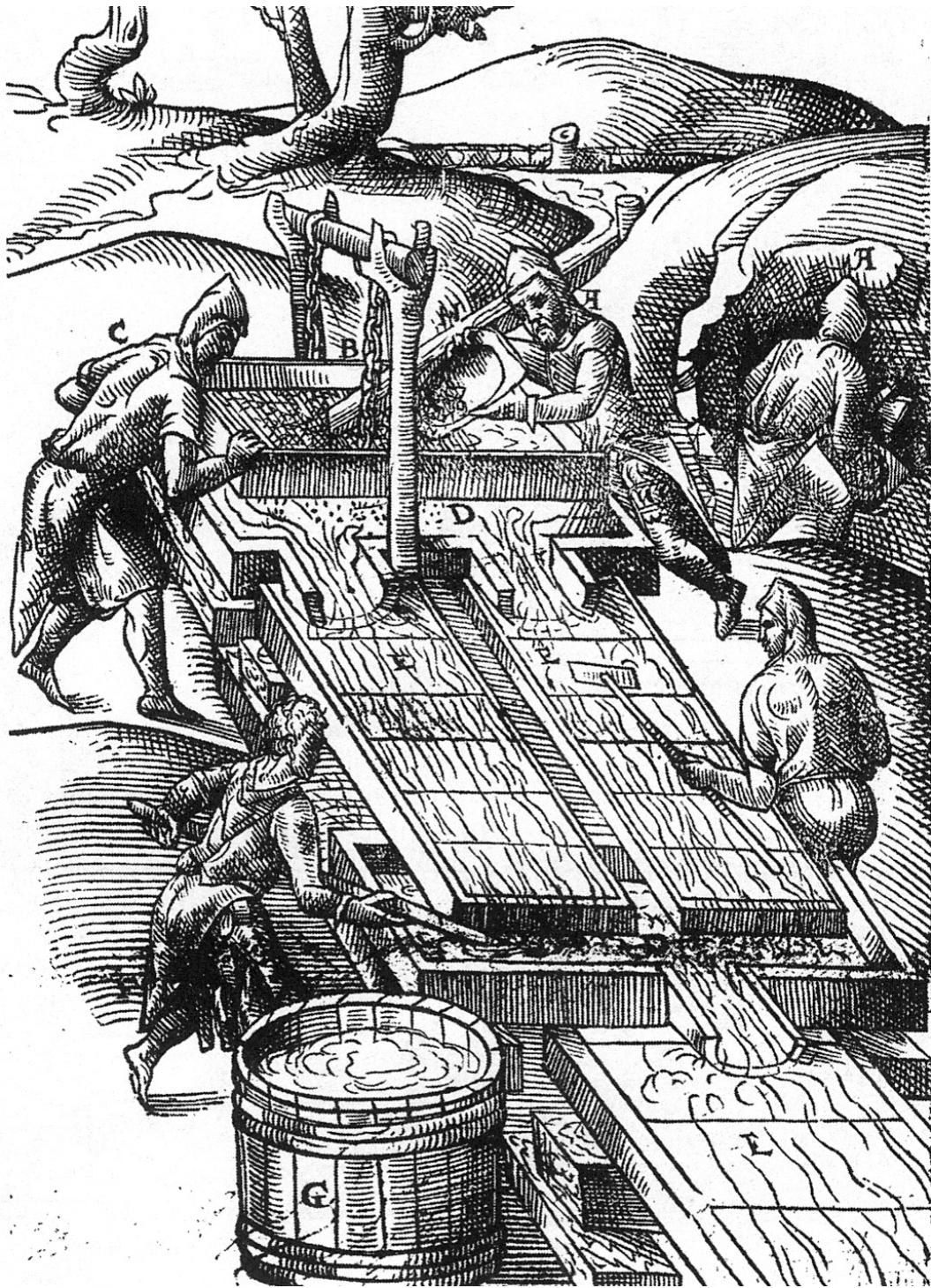
- <sup>1</sup> ■ P. Levi, *A tabela periódica* (tradução brasileira do original italiano, por Luiz Sérgio Henriques), Rio de Janeiro, Relume-Dumará, 2001 (vide p. 85-86 para as duas citações feitas aqui).
- <sup>2</sup> ■ D. S. McKay, E. K. Gibson Jr., K. L. Thomas-Keprta, H. Vali, C. S. Romanek, S. J. Clemett, X. D., F. Chillier, C. R. Maechling, e R. N. Zare, *Science*, 273(5277):924-930, 1996.

## QUÍMICA PRÁTICA: MINERAÇÃO, ANÁLISE E REFINO<sup>1</sup>

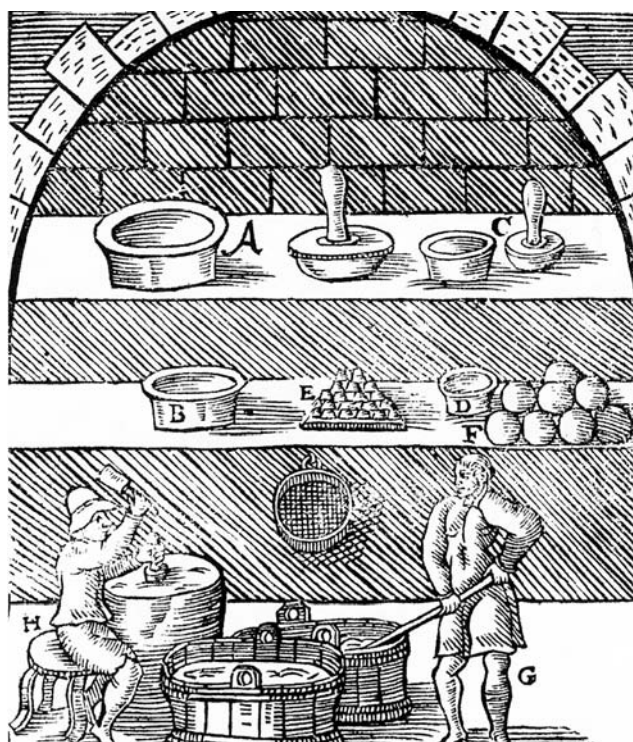
A Figura 6 representa uma vista do interior de um laboratório de análise de minerais do final do século XVI. As Figuras de 6 a 16, assim como a Figura 4, são da edição de 1736 do livro *Aula subterranea...* de Ercker, e foram impressas utilizando as pranchas da edição de 1574. A Figura 7 representa uma máquina para lavar minérios de ouro aluvial. A elevada densidade do ouro,  $19,3 \text{ g/cm}^3$  (a densidade da água é de  $1,0 \text{ g/cm}^3$ , e a do mercúrio é de “apenas”  $13,6 \text{ g/cm}^3$ ), permite que ele seja facilmente separado da areia e de outros minerais.



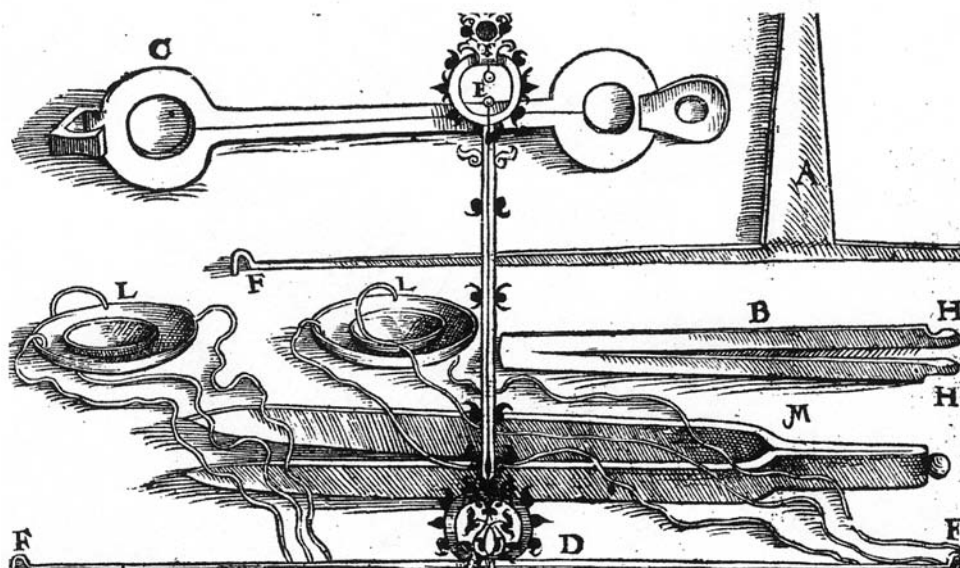
**Figura 6** ■ Um laboratório de análise de minerais do século XVI (Ercker; vide Fig. 4).



**Figura 7** ■ Uma máquina quinhentista para a lavagem de minérios de ouro aluvial (Ercker, vide Fig. 4). A grande densidade do ouro ( $19,3 \text{ g/cm}^3$ ) permite sua rápida separação de outros minerais mais leves.



**Figura 8** ■ Produção de copelas a partir de ossos triturados e calcinados, misturados em seguida com cerveja, e moldando-se a pasta resultante. Os óxidos dos metais menos nobres, como o ferro, são absorvidos pela copela, enquanto o ouro ou a prata derretidos permanecem na superfície (Ercker, vide Fig. 4).



**Figura 9** ■ Uma balança do século XVI para análise de minerais (vide texto; Ercker, vide Fig. 4).



**Figura 10** ■ Uso do mercúrio para dissolver o ouro contido no concentrado do minério. O amálgama de ouro é aquecido em seguida, e o mercúrio é destilado (Ercker, vide Fig. 4).

A Figura 8 representa as operações para produzir copelas. A copelação era uma técnica para purificar ouro ou prata dos minérios. As copelas eram objetos em forma de copo, feitas de ossos moídos, nas quais se colocavam os minérios triturados. Os minérios eram, em sua maioria, sulfetos; seu aquecimento, em contato com o ar, levava à calcinação dos sulfetos e à formação de óxidos dos metais menos nobres (isto é, mais reativos), enquanto o ouro ou a prata eram derretidos. Os óxidos eram absorvidos pela copela, permanecendo em sua superfície uma gota de ouro ou prata.

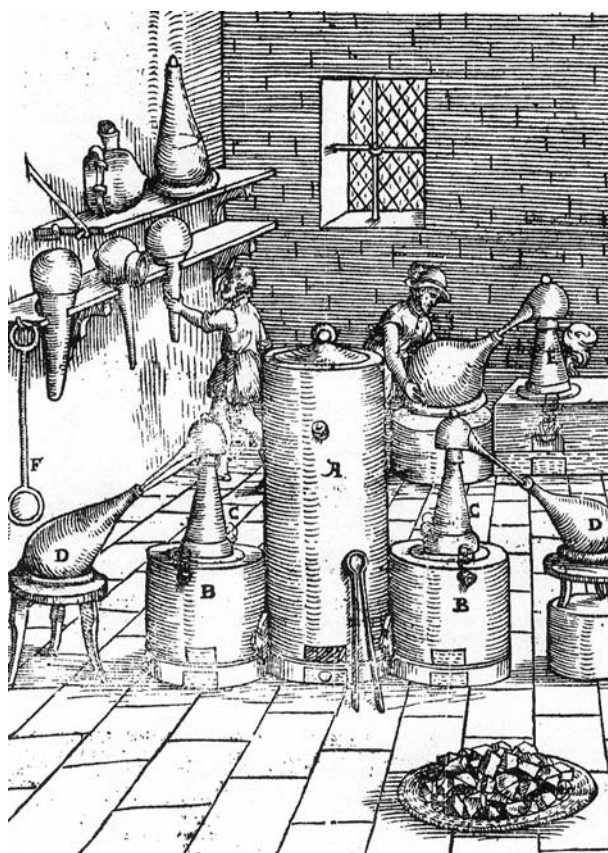
Para produzir copelas, ossos de bezerro ou carneiro são calcinados (aquecidos em recipiente aberto), esmagados e triturados até ficarem com aspecto de farinha. Essa “cinza” é umedecida com cerveja de elevado teor alcoólico. A cinza é então colocada em moldes de copelas (vide *A* e *C*, Fig. 8), e recoberta com cinzas apropriadas – as melhores, segundo Ercker, seriam obtidas da parte frontal de crânios de bezerros. A cinza nos moldes é em seguida prensada para adquirir o formato adequado (vide *H*, um homem prensando copelas), removida dos moldes (vide *B* e *D*, e o monte de copelas *E*), e as copelas são colocadas para secar. Na Figura 8, *G* representa um homem lavando as cinzas e *F* são bolas de cinzas lavadas.

A Figura 9 representa uma balança utilizada na análise de minerais, e inclui: (*A*) balancim de metal forjado, (*B*) manilha, (*C*) meia manilha, (*D*) braço da amostra com meia manilha, (*E*) duas pequenas contas – extremidade superior da manilha e fiel, (*F*) pivôs, (*G*) como o braço é suspenso, (*H*) casquilhos da manilha, (*K*) nós para pendurar os cordões, (*L*) pratos da balança e (*M*) fórceps para amostras.

A Figura 10 representa a amalgamação de concentrados de ouro, e a recuperação do mercúrio pela destilação do amálgama. Um dos mais antigos preceitos da química é *semelhante dissolve semelhante*, que explica por que o óleo flutua sobre a água enquanto o álcool se mistura totalmente com ela. O mercúrio, sendo um metal líquido, dissolve outros metais puros formando ligas chamadas de amálgamas. O aquecimento relativamente brando do amálgama volatiliza o mercúrio, separando-o do metal de interesse. Entretanto, o mercúrio não dissolve sais (sales, ou óxidos ou sulfetos) dos metais. Assim, o minério triturado era tratado com vinagre por dois ou três dias por Ercker, em seguida lavado, e esfregado com mercúrio – primeiro manualmente, depois com um pilão de madeira, pelo amalgamador representado na Figura 10 (*F*). (*Observação*: O mercúrio elementar é muito tóxico. Ele provocava danos ao sistema nervoso dos trabalhadores que faziam chapéus na Inglaterra durante o século XIX: era a “Doença do Chapeleiro Louco” – a fonte da loucura na hora do chá da história de Alice no País das Maravilhas. Houve preocupação, já no século XX, de que os amálgamas usados para fazer obturações nos dentes poderiam liberar um fluxo contínuo de vapor de mercúrio.) O mercúrio era purificado ao ser colocado dentro de um saco de couro, que era espremido para que o mercúrio o atravessasse [vide (*L*) e (*G*) na Fig. 10]. A destilação para separar o mercúrio do amálgama empregava: um grande forno chamado atanor (*A*), o qual fornecia calor uniforme e constante, câmaras laterais (*B*), um recipiente de argila (*C*), e uma cabeça de destilação (*D*), uma cabeça fechada na qual se podia colocar água para resfriamento (*E*), e um pote de ferro [parte inferior (*H*); parte superior (*K*)] para armazenar o amálgama que seria aquecido. Também está representado (*M*) um homem que refunde o ouro usando um fole.

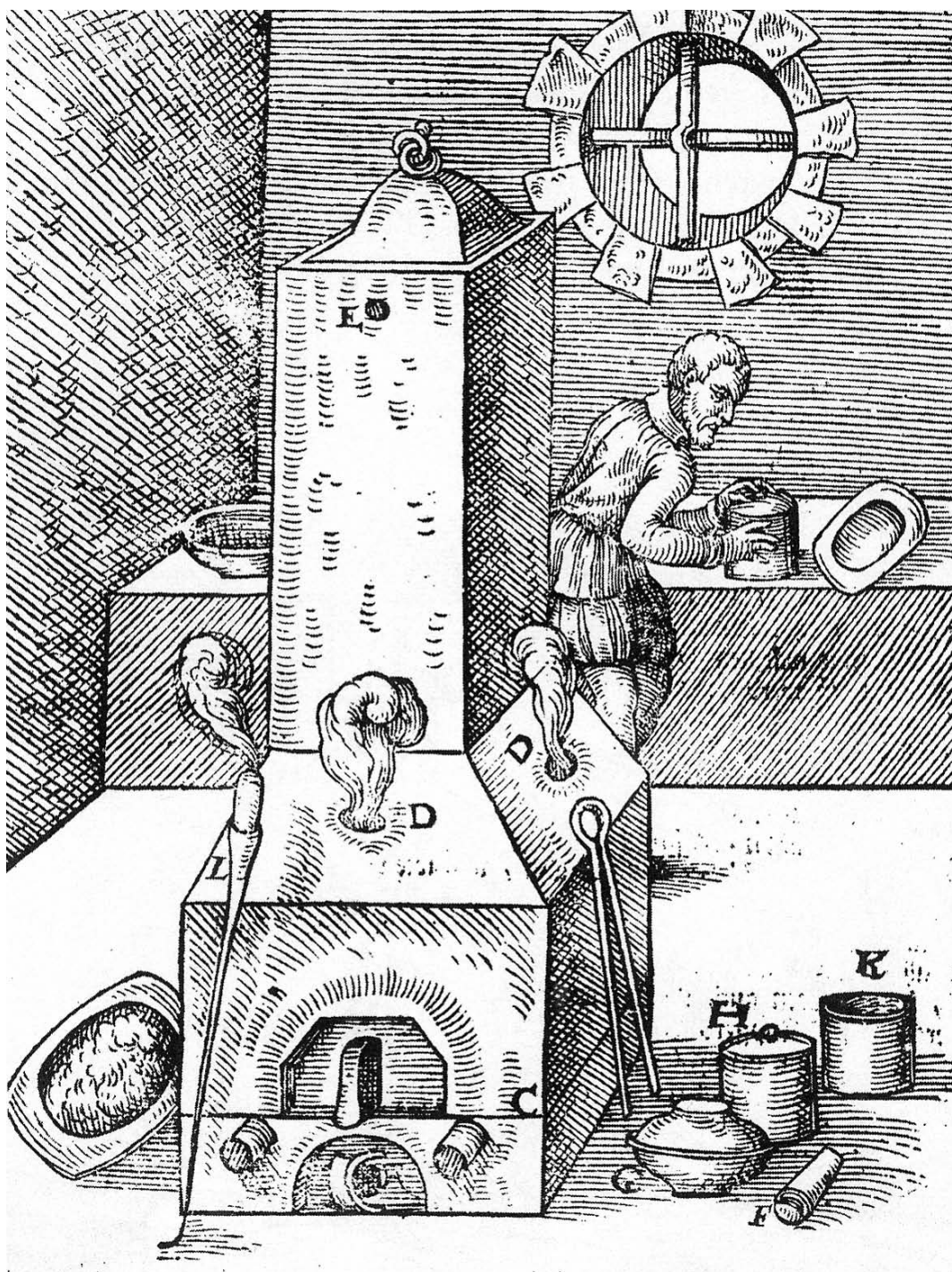


**Figura 11** ■ Destilação de *aqua regia*\* (mistura 3:1 de HCl e HNO<sub>3</sub>) (Ercker, vide Fig. 4). Essa “água real” é capaz de dissolver o ouro. (Vide, na Seção VIII, o ensaio “A química do ouro é nobre, mas não é simples”.)



**Figura 12** ■ O uso do “ácido de partição” (principalmente HNO<sub>3</sub>) para separar a prata do ouro. A prata é solúvel nesse ácido, mas o ouro não (Ercker, vide Fig. 4).

\* ■ N.T.: Chamada, em português, de “água régia”.



**Figura 13** ■ Um forno autoalimentado para cementação, do século XVI (vide texto; Ercker, vide Fig. 4).





**Figura 14** ■ Redução de minério de bismuto a céu aberto; o bismuto fundido recém-formado flui para os recipientes (Ercker, vide Fig. 4).

*Aqua regia* (três partes de ácido clorídrico e uma parte de ácido nítrico) tinha a valiosa propriedade de dissolver o ouro e permitir a sua pronta recuperação (vide nossa discussão mais adiante, a respeito da sutil química que está envolvida). A Figura 11 mostra a destilação de *aqua regia* envolvendo: o atanor (A) e uma câmara (B) para o frasco, colocado como se sugere em (C). (D) é a cabeça de destilação feita de vidro, e (E) é o frasco para recolher o produto.



**Figura 15** ■ Etapas da lixiviação e concentração (por ebulição) do salitre, obtido de esterco envelhecido de carneiro (Ercker, vide Fig. 4).

A Figura 12 representa o uso do ácido de partição para separar a prata do ouro. O ácido de partição (essencialmente ácido nítrico) “dissolve” a prata, mas não o ouro. É obtido fundindo-se salitre puro (nitrato de potássio,  $\text{KNO}_3$ ) com vitríolo,  $\text{FeSO}_4$ , adicionando-se pequena quantidade de água e destilando-se.

A Figura 13 mostra um forno autoalimentado para cementação – um processo que tem algumas semelhanças com a copelação para purificar o ouro. O “cimento” é feito com quatro partes de pó de tijolos, duas partes de sal e uma parte de vitríolo branco (sulfato de zinco,  $\text{ZnSO}_4$ ). Tritura-se essa mistura sólida e umedece-se o pó com urina ou vinagre branco concentrado. Cobre-se o fundo do pote com uma camada de um dedo de espessura desse cimento, e sobre esta colocam-se tiras de ouro impuro, marteladas até ficarem bem finas. Umedece-se então com urina, para posterior purificação. Seguem-se camadas alternadas de cimento e de fitas de ouro, finalizando com uma camada superior de cimento de meio dedo de espessura. Aquece-se no forno por 24 horas, a uma temperatura inferior à do ponto de fusão do ouro. Ao final, o pó é removido, deixando um ouro de 23 quilates. Ouro puro é 24 quilates.



**Figura 16** ■ Tinhas e barris de lixívia concentradas de salitre (vide Fig. 15). Cem libras do concentrado produzem cerca de 70 libras de salitre (Ercker; vide Fig. 4).

A Figura 14 representa a redução do bismuto a céu aberto, com a ajuda de um vento muito estilizado. Colocam-se pedaços de minério do tamanho de nozes em tachos, de maneira que o fogo, alimentado pelo vento, provoque a redução do minério e faça o bismuto líquido fluir pelos tachos.

Embora o salitre fosse usado para preparar ácido nítrico (para pesquisa?) em pequena escala, sua maior demanda era para a manufatura da pólvora. A Figura 15 representa etapas da lixiviação e concentração, por ebulição, do salitre. Em primeiro lugar, a melhor “terra” para a obtenção de salitre era, de acordo com Ercker, aquela proveniente de antigos currais de carneiros (contendo restos de excrementos e materiais de construção apodrecidos). A parte (A) representa a “terra” a ser lixiviada, e (B) mostra os canos contendo água que irá fluir para as tinas. As tinas são drenadas continuamente para as calhas (C), que conduzem a lixívia para um reservatório (D). A parte (E) representa uma pequena tina, de onde a lixívia flui para uma caldeira; de (F) a (L) são representadas partes do forno. As caldeiras evaporam considerável parte da água, produzindo um “licor” concentrado.

A Figura 16 mostra tachos (F) e vasilhas (G) para a cristalização da lixívia concentrada. Cem libras deste concentrado produzem, após a cristalização, cerca de 70 libras de salitre.

<sup>1</sup> ■ As traduções e interpretações feitas aqui foram baseadas em A. G. Sisco e C. S. Smith, *Lazarus Ercker's treatise on ores and assaying* (traduzido da edição alemã de 1580), Chicago, The University of Chicago Press, 1951.

