

# O ÁTOMO E A TECNOLOGIA

Mario Tolentino  
Romeu C. Rocha-Filho

**A seção “Química e sociedade” apresenta artigos que focalizam aspectos importantes da interface ciência/sociedade, procurando sempre que possível analisar o potencial e as limitações da ciência na solução de problemas sociais.**

**A tendência moderna no ensino da química é relacionar seu conteúdo com o que ocorre no dia-a-dia. Isso vem sendo chamado de “o cotidiano no ensino de química” e, por vezes, de “química aplicada ao setor produtivo”. Este artigo apresenta o ensino da estrutura do átomo como um rico manancial de fatos que resultaram em aplicações importantes ou explicaram fenômenos do dia-a-dia.**

► átomo, elétrons, estrutura atômica, tecnologia ◀

4

**A**o cunhar o conceito de átomo, os filósofos da antiga Grécia tentavam explicar a natureza do mundo em que viviam, criando uma base lógica para a existência das coisas. Por portentoso que fosse já esse primeiro objetivo, acabou tornando-se acanhado frente às descobertas e invenções tecnológicas que esse conceito possibilitou nos últimos séculos.

## Nós e os elétrons

O modelo atômico evoluiu, indo em um enorme salto de Rutherford para as idéias de Bohr, concepções complementadas mais tarde pelas de Sommerfeld. O elétron torna-se uma entidade que ora comporta-se como partícula ora como onda, e os trabalhos de Pauli, Heisenberg, Dirac, Schrödinger e muitos outros acabaram tornando quase indefinível a nuvem eletrônica dos átomos. Mas não importa

o que realmente sejam os elétrons e de que maneira eles se disponham no átomo. Em certo momento, os conhecimentos sobre o comportamento dos elétrons transferiram-se dos laboratórios para as fábricas, e o que era an-

tes uma curiosidade de laboratório transformou-se em instrumento da tecnologia.

## Os elétrons emitem radiações

O fato fundamental do modelo de Bohr, a quantização, implica na absorção ou emissão de energia pelos elétrons, conforme eles saltem de uma órbita de energia mais baixa para outra mais elevada (absorção) ou vice-versa, retornando a órbitas de menor energia e emitindo radiação eletromagnética — luz de determinada frequência, isto é, monocromática.

A cor (frequência) da luz emitida depende dos átomos cujos elétrons são excitados. Essa é a essência do colorido dos fogos de artifício, já conhecidos pelos chineses há séculos. No século 19, a descoberta das descargas elétricas em gases rare-

feitos levou à observação de que os gases iluminavam-se com cores variadas. Imediatamente, a tecnologia desenvolveu as fontes de luz emitidas por lâmpadas contendo gases rarefeitos, excitados pela eletricidade. Entre

**A essência do colorido dos fogos de artifício, já conhecidos pelos chineses há séculos, é a excitação de diferentes átomos, que emitem luz de frequências diferentes**

elas estão as lâmpadas de vapor de mercúrio ou de sódio e as lâmpadas de gases raros ou de halogênios. Estas últimas emitem luz intensa e são usadas, por exemplo, em faróis de automóveis e na iluminação de aeroportos, edifícios, monumentos etc.

A excitação dos elétrons de certas substâncias produz emissão de luz por fluorescência ou por fosforescência. São as substâncias usadas no revestimento interno dos tubos de vidro das lâmpadas chamadas fluorescentes, ou adicionadas a plásticos usados na confecção de interruptores e tomadas elétricas.

A pesquisa de dispositivos especiais para excitação elétrica em cristais ou gases levou à produção da luz laser (*light amplification by stimulated emission of radiation*, ou seja, amplificação de luz por emissão estimulada de radiação). Uma tecnologia que até pouco tempo atrás era limitada a universidades e centros de pesquisa, o laser hoje já é comum, usado em aparelhos de *compact discs* (CDs). Esse sistema de ‘leitura’ de dados armazenados por meio de um feixe de luz laser já avançou para a informática (CD-ROM), a medicina, a indústria etc.

Mas não é só luz que pode ser produzida pelos ‘saltos’ dos elétrons. Se um feixe de elétrons acelerado por um intenso campo elétrico incidir sobre átomos de metais pesados (multieletrônicos), a decorrente excitação pode dar origem aos raios X, descobertos por Röntgen, hoje com aplicações inestimáveis na indústria e, sobretudo, na medicina. Neste caso, a versão mais avançada desta técnica de diagnóstico é a chamada tomografia, que consiste na obtenção de várias imagens radiográficas, melhoradas posteriormente por técnicas de computação.

O uso de raios X em laboratórios de pesquisa de materiais levou à

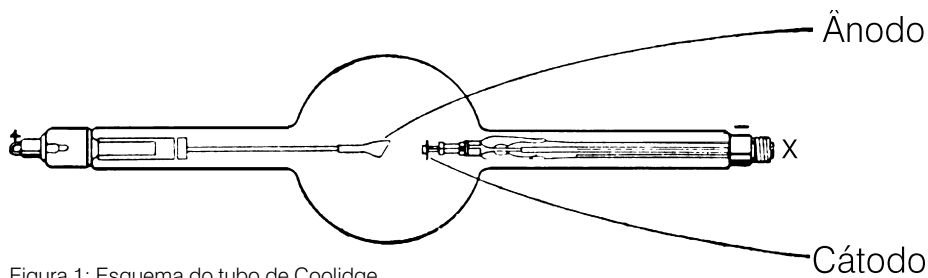


Figura 1: Esquema do tubo de Coolidge.

construção das microsondas eletrônicas, cuja essência de funcionamento consiste na emissão de raios X típicos (frequência específica) por átomos de materiais. A análise das frequências dos raios X emitidos permite identificar os elementos existentes no material. Por outro lado, a difração de raios X provocada por substâncias cristalinas é um método rotineiro para a análise de minerais, ligas metálicas e materiais em geral.

Por fim, os elétrons existentes nos metais, quando excitados por energia de alta frequência, emitem radiação eletromagnética na faixa das onipresentes ondas de rádio, portadoras dos sinais de radiotelegrafia, radiotelefonias (telefones celulares e sem fio, por exemplo), rádio e televisão.

### Os elétrons são arrancados dos metais

Sabe-se que os metais possuem uma estrutura singular formada por íons dispostos numa rede cristalina (ou retículo cristalino). Nos espaços vazios dessa rede agitam-se os elétrons periféricos que abandonaram os átomos e que passam a constituir um verdadeiro gás de elétrons.

Alguns efeitos de importância tecnológica resultam da existência desse 'gás de elétrons': se um fio metálico é aquecido, a intensa agitação dos elétrons faz com que eles escapem da rede cristalina e formem uma nuvem de elétrons ao redor do fio. Esse efeito, chamado *termoiônico*, é tão mais intenso quanto mais alta for a temperatura do metal. Assim, só certos metais de alto ponto de fusão (platina, tungstênio etc.) são usados para esse tipo de filamento. Essa excitação múltipla dos elétrons determina a emissão de luz branca (isto é, policromática), como ocorre nas lâmpadas chamadas incandescentes. Nas lâmpadas elétricas comuns, o filamento é geralmente consti-

tuído de tungstênio, sendo o sistema mantido dentro de uma ampola de vidro que contém um gás raro (geralmente argônio) sob pressão reduzida.

O efeito termoiônico permitiu que um físico americano, Lee De Forest, inventasse em 1906 um dispositivo chamado válvula eletrônica, posteriormente muito aperfeiçoada. Essas válvulas permitiram o desenvolvimento da radiotelegrafia e da radiofonia, sendo ainda hoje usadas na retificação de corrente elétrica (passagem de corrente alternada a contínua) em fornos de microondas, em emissoras de rádio e televisão etc.

O efeito termoiônico deu origem ainda a outras aplicações tecnológicas, como os cinescópios. Neles, feixes de elétrons oriundos de um filamento aquecido são modulados por campos elétricos e/ou magnéticos. Quando esses feixes atingem um anteparo de vidro revestido de material fluorescente, produzem o desenho de símbolos e imagens movimentadas. Descendentes dos antigos tubos de raios catódicos, esses dispositivos constituem o equipamento essencial de aparelhos de televisão, monitores de computador, osciloscópios etc.

Feixes de elétrons também gerados por efeito termoiônico podem ser refratados por campos eletromagnéticos (enrolamentos ou bobinas, funcionando como verdadeiras lentes) e, ao incidir sobre materiais devidamente preparados, geram imagens muito ampliadas — milhares de vezes mais do que as produzidas por um microscópio óptico. Esse dispositivo é o microscópio eletrônico, de que existem versões altamente sofisticadas.

Outro fenômeno associado aos

elétrons de certos metais (alcalinos, alumínio etc.) é o chamado *efeito fotoelétrico*, que consiste na expulsão de elétrons de certos metais quando sua superfície é atingida por fótons de frequência muito elevada (geralmente luz ultravioleta). Esse efeito é usado na construção de células fotoelétricas, nas quais os elétrons são acelerados por campos elétricos, dando origem a correntes elétricas que podem acionar alarmes, motores, campainhas etc.

Outros dispositivos podem gerar energia elétrica pela excitação de elétrons provocada pela incidência da luz. Esses *geradores* ou *pilhas fotovoltaicas* representam uma maneira interessante de se aproveitar a energia da luz solar para o acionamento de aparelhos elétricos ou eletrônicos. Seu uso já é comum em satélites artificiais e sondas espaciais.

**Feixes de elétrons gerados por efeito termoiônico podem ser refratados por campos eletromagnéticos e, ao incidir sobre materiais devidamente preparados, geram imagens ampliadas milhares de vezes. É o microscópio eletrônico**

### A corrente elétrica e os elétrons

O conhecimento da estrutura dos metais e da natureza dos elétrons livres no interior do retículo cristalino (arranjo ordenado dos átomos do metal) permitiu entender a corrente elétrica: um fluxo de elétrons dentro da rede cristalina

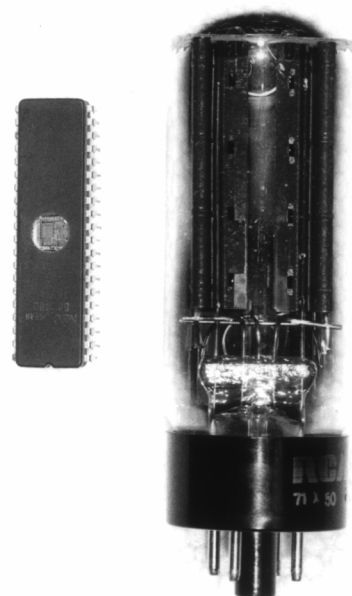


Figura 2: Diferentes fronteiras da tecnologia: o chip e a válvula eletrônica.

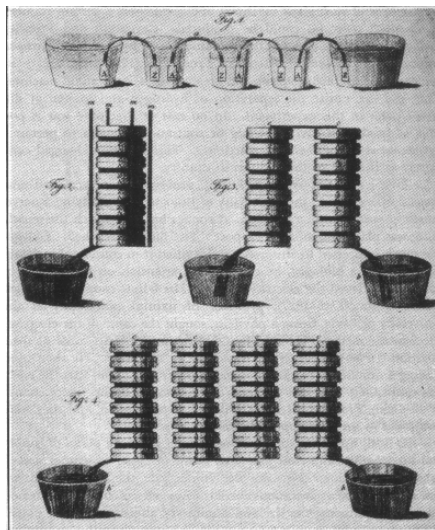


Figura 3: Em ilustração de 1800, as Pilhas de Volta (Alessandro Volta, 1743-1820), as primeiras baterias dignas desse nome.

metálica, provocado pela ação de um campo elétrico ou magnético.

Não é preciso entrar em grandes detalhes para perceber o valor tecnológico da corrente elétrica. Os condutores elétricos estão presentes em todos os equipamentos eletrodomésticos, residências, casas de comércio, edifícios industriais etc. Isto permite que haja iluminação artificial, que sejam acionados os motores elétricos que impulsionam máquinas, ônibus e trens, que funcionem os dispositivos de comunicação e toda a parafernália elétrica, desde brinquedos até aparelhos médico-hospitalares.

### Os elétrons transferem-se de um átomo a outro

É sabido que nas reações de oxirredução ocorrem transferências de elétrons que passam de um átomo (ou íon) para outro átomo (ou íon). Essa movimentação de elétrons também pode resultar em aplicações tecnológicas de grande importância. A indústria metalúrgica utiliza esse tipo de reação para obter metais de interesse para o setor produtivo, como insumos para a fabricação de máquinas e utensílios. O ferro, o alumínio e o estanho são exemplos de metais obtidos a partir de óxidos reduzidos por agentes (adequados) que fornecem elétrons aos cátions metálicos, transformando-os nos átomos que vão constituir os respectivos metais.

Em alguns casos, a transferência de elétrons é feita por intermédio de um

circuito elétrico. A eletrólise que resulta daí é usada tecnologicamente para a produção de alguns metais, de substâncias de uso industrial e de revestimentos protetores ou embelezadores (niquelação, cromeação, anodização do alumínio etc.).

Essa transferência de elétrons dá origem também aos geradores eletroquímicos (pilhas), cujo protótipo foi desenvolvido por Volta. Desde essa época (início do século XIX), as pilhas elétricas evoluíram para as sofisticadas baterias hoje utilizadas em aparelhos como marcapassos, aparelhos eletrônicos, relógios e computadores.

Mas também pode ocorrer o transporte de elétrons de um metal a outro diferente sem que isso possa ser classificado como uma reação de oxirredução. O aquecimento de dois metais adequados unidos por um ponto de solda ocasiona a passagem de elétrons de um metal para outro. Esses *pares termoelétricos* são usados para medidas de temperaturas em fornos e em outros ambientes aquecidos, funcionando como um termômetro elétrico.

### O núcleo atômico e a tecnologia nuclear

Sabe-se que o núcleo é extremamente pequeno em relação ao átomo em si. Ele é estruturado e formado por prótons e nêutrons e estes, por sua vez, por quarks. A coesão do núcleo é resultado da atuação sobre os prótons e nêutrons de uma força que veio a ser chamada força forte. Em situações especiais, que dizem respeito principalmente à relação entre o número de prótons e o de nêutrons, o núcleo torna-se instável e passa a ser radioativo. Os elementos naturalmente radioativos emitem basicamente três tipos de radiação: alfa, beta e gama. As duas primeiras são corpusculares e a terceira é de natureza eletromagnética.

### O homem produz a radioatividade artificial

Em 1934, o casal Irène e Frédéric Joliot Curie, bombardeando lâminas finas de alumínio por partículas alfa, conseguiu produzir átomos radioativos de fósforo 30. No ano seguinte, ganharam o Prêmio Nobel de Química por sua "síntese de novos elementos radioati-

vos". Seguiu-se uma longa série de experimentos que levaria à produção de radioisótopos de novos elementos, isto é, com número atômico acima de 92. Atualmente, grande número de isótopos radioativos é produzido em reatores nucleares, expondo os elementos ao bombardeio de intensos feixes de nêutrons.

A princípio mera curiosidade científica, os radioisótopos logo passaram a ser usados pela indústria, pela medicina e pela própria pesquisa científica. Na indústria, são usados radioisótopos emissores de radiação gama de alta energia que em muitas ocasiões substituem os raios X. São, então, empregados para examinar junções e soldas de estruturas metálicas (gamagrafia), controlar a espessura de chapas metálicas em laminadores da indústria metalúrgica etc. Radioisótopos gasosos podem ser usados na detecção de vazamentos em tubulações subterrâneas, cabos condutores de eletricidade, gasodutos etc.

Em medicina, os radioisótopos são usados na detecção de anomalias, por exemplo, na glândula tireóide, no cérebro e no pâncreas. Nesses casos, os radioisótopos devem atender a certas condições especiais, em especial a absorção seletiva da radiação por determinados órgãos e meia-vida curta.

Na pesquisa científica, os radioisótopos são usados em fisiologia animal e vegetal, para indicar o caminho seguido e as regiões de acumulação de nutrientes, o volume de sangue de um animal etc. Na chamada medicina nuclear, as radiações gama de alta energia (do cobalto 60 e do césio 137) têm sido usadas em radioterapia para o trata-

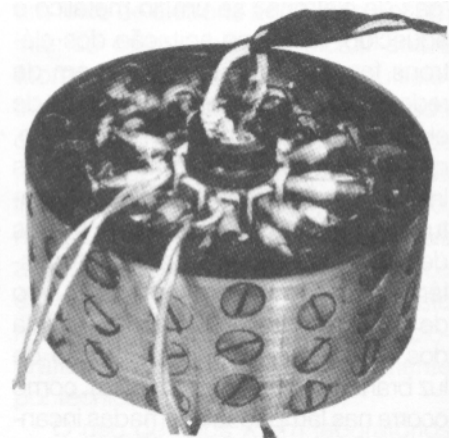


Figura 4: Pilha nuclear

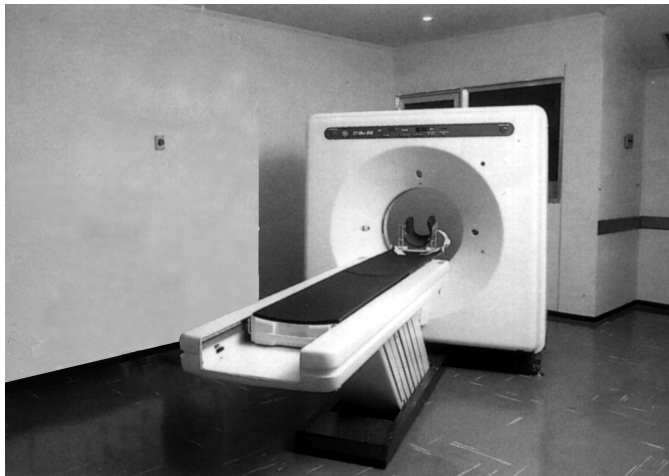


Figura 5: RNM em uso na medicina.

mento de tumores cancerígenos. O uso de tais fontes fortemente radioativas exige blindagens especiais e manipulação cuidadosa para que a radioatividade não provoque danos irreversíveis aos pacientes. Descuidos podem levar a conseqüências sérias, como ocorreu em Goiânia, em setembro de 1987, quando uma fonte de céσιο abandonada teve a sua blindagem destruída e o material radioativo foi indevidamente manipulado.

Alguns empregos menos comuns ainda podem ser citados:

- esterilização de alimentos por radiação gama, o que favorece a conservação dos mesmos;
- análise por ativação com nêutrons, que consiste em bombardear o material com intenso feixe de nêutrons e em seguida analisar o espectro da radioatividade induzida, o que permite caracterizar quais os elementos constituintes do material;
- geradores de energia elétrica baseados no calor produzido naturalmente por substâncias radioativas — o calor liberado serve para aquecer séries de termopares que então geram corrente elétrica. Tais geradores são usados em estações meteorológicas isoladas, em sondas espaciais e satélites artificiais.

Em 1934, o físico italiano Enrico Fermi mostrou que o bombardeio de átomos de urânio por nêutrons provocava a fissão dos átomos — os núcleos eram partidos, gerando novos nêutrons e libertando energia (fenômeno que também pode ocorrer com o plutônio 239). Iniciava-se a era nuclear. A fissão dos átomos de urânio, em especial do isótopo 235, deu origem

aos reatores nucleares — a grande quantidade de energia liberada sob a forma de calor movimenta turbinas e geradores elétricos. A operação desses reatores exige tecnologia refinada e equipamentos pesados e precisos, além de um rígido esquema de segurança, para evitar acidentes como os de Chernobyl.

Outra fonte de energia nuclear é a fusão de átomos leves, que leva à produção de outros mais pesados (por exemplo, dois átomos de deutério resultando em um de hélio), com liberação de enormes quantidades de energia. A fusão, entretanto, exige temperaturas e pressões muito altas, que ainda não se conseguiu controlar; assim, ela ocorre apenas na forma explosiva (bomba de hidrogênio), usando como detonador as condições geradas pela explosão de uma bomba de urânio ou plutônio.

### Uma aplicação *sui generis*

Uma aplicação tecnológica de fenômenos nucleares é a ressonância

nuclear magnética (RNM). Esse fenômeno é baseado no fato de alguns núcleos atômicos serem magnéticos (por exemplo,  $^1\text{H}$ ,  $^{13}\text{C}$  e  $^{31}\text{P}$ ) e em seu comportamento quando submetidos à ação de radiação hertziana e de um campo magnético bastante intenso. Inicialmente, a ressonância nuclear magnética foi empregada em análise química, mas desenvolvimentos posteriores transformaram esse processo em instrumento de diagnóstico médico por imagens, fornecendo-as com extraordinário poder de resolução.

Não são necessários mais exemplos para mostrar como podem ser amplas as aplicações científicas e tecnológicas, nos mais variados campos, de assuntos eventualmente tratados sob um ponto de vista puramente teórico. Não causará surpresa se alguma teoria hoje incipiente revelar-se fértil em aplicações tecnológicas, bastando para isso que alguém se aventure a pesquisá-la.

**Mario Tolentino** é doutor *honoris causa* pela Universidade Federal de São Carlos, da qual é aposentado como professor titular do Departamento de Química.

**Romeu C. Rocha-Filho** é licenciado em química, doutor em ciências (área de físico-química) pela USP e docente do Departamento de Química da Universidade Federal de São Carlos, São Carlos - SP.

### Para saber mais

BARROS, F.S. Luminescência: da alquimia à época moderna. *Ciência Hoje*, v. 1, n. 2, p. 50-55, set./out. 1982.

BIASI, R. de. *A energia nuclear no Brasil*. Rio de Janeiro: Atlântida, 1979.

CHASSOT, A. Raios X e radioatividade. *Química Nova na Escola*, São Paulo, n. 2, p. 19-22, nov. 1995.

CLOSE, F. *A cebola cósmica*. Tradução por Paula Vitória. Lisboa: Edições 70, 1983.

GOMES, A.S.L. Lasers sem cavidades: pesquisas ampliam as possibilidades de utilização do Laser. *Ciência Hoje*, v. 18, n. 107, p. 68-69, mar. 1995.

PANEPUCCI, H., DONOSO, J.P., TANNÚS, A., BECKMAN, N., BONA-GAMBA, T. Novas imagens do corpo: tomografia por ressonância nuclear magnética. *Ciência Hoje*, v. 4, n. 20, p. 46-56, set./out. 1985.

SANTIN FILHO, O. Breve histórico dos cem anos da descoberta dos raios X: 1895-1995. *Química Nova*, v. 18, n. 6, p. 574-583, nov./dez. 1995.

SANTOS, C.A. dos. Raios X: descoberta casual ou criterioso experimento. *Ciência Hoje*, v. 19, n. 114, p. 26-35, out. 1995.

SILVA, A.G. da. Radioisótopos para medicina. *Ciência Hoje*, v. 3, n. 16, p. 12-14, jan./fev. 1985.

SILVA, H.T. da. OLIVERIA, C.E.T. de. Circuito integrado para rede de computadores. *Ciência Hoje*, v. 2, n. 8, p. 33-42, set./out. 1983.

SIMON, D. Como funciona o reator de Angra. *Ciência Hoje*, v. 2, n. 8, p. 54-57, set./out. 1983.

TOLENTINO, M., ROCHA-FILHO, R.C. A nucleossintese dos elementos transurânicos. *Química Nova*, v. 18, n. 4, p. 384-395, jul./ago. 1995.

CIÊNCIA HOJE. Autos de Goiânia, v. 7, n. 40, mar. 1988. Suplemento.