

Uma celebração operática da Tabela Periódica no sesquicentenário da sua criação

João Paulo André

Centro/Departamento de Química, Escola de Ciências da Universidade do Minho, 4710-057 Braga, Portugal

jandre@quimica.uminho.pt

Resumo

Este artigo resultou de uma palestra proferida em várias instituições nacionais ao longo de 2019*, no âmbito das comemorações dos 150 anos da Tabela Periódica. Trata-se de uma homenagem musical à genial criação de Dmitri Mendeleiev. Após uma breve nota histórica sobre os quatro elementos da Antiguidade, faz-se um percurso pela Tabela Periódica em que vários elementos químicos são ilustrados com óperas.

Introdução

O teatro, enquanto espelho da sociedade, desde relativamente cedo ilustrou o mundo da ciência ou formas precursoras desta, como é o caso da alquimia, exemplarmente retratada em peças como *A trágica história do Doutor Fausto* (c. 1592) de Christopher Marlowe ou *O alquimista* (1610) de Ben Jonson. Na actualidade, as luzes da ribalta incidem sobre os mais diversos domínios científicos, tendo obras como *Copenhaga* (1998), de Michael Frayn, obtido grande sucesso, tanto junto do público como da crítica [1]. Por sua vez, a ópera, uma forma de teatro musical (*dramma per musica*, na sua génese), já no século XVIII ilustrava o mundo da farmácia e os personagens que o habitavam [2,3]. Mais recentemente, e noutros campos científicos, poderão citar-se *Einstein on the Beach* (1976) de Philip Glass e *The man who mistook his wife for a hat* (1986) de Michael Nyman (inspirada num *case study* do neurologista Oliver Sacks [4]). Como tantas outras formas de arte, a ópera pode também ser explorada como recurso pedagógico, inclusivamente na área das ciências naturais e das tecnologias [2,3].

Apogeu e crepúsculo dos elementos primordiais

Para Aristóteles, que rejeitou o atomismo proposto por Leucipo e Demócrito no século V a.C., existiria uma matéria pri-

mordial única, constituída pelos quatro elementos (fig. 1) de Empédocles de Agrigento - água, fogo, terra e ar -, combinados em proporções variáveis. Defendeu igualmente que as substâncias se podiam transformar umas nas outras, ideia essa que iria alimentar até ao século XVIII o grande sonho alquímico da transmutação dos metais comuns em ouro.

No palco cénico, Demócrito surge em pelo menos três óperas (tabela 1), tendo os quatro elementos da cosmogonia aparecido pela primeira vez em *La Pierre Philosophale*, uma peça cómica musicada por Marc-Antoine Charpentier. O enredo desta obra inclui os elementais, entidades da alquimia paracelsiana correspondentes aos espíritos de cada um dos quatro elementos da natureza: ondinas (espíritos da água), gnomos (espíritos da terra), salamandras (espíritos do fogo) e silfos (espíritos do ar).

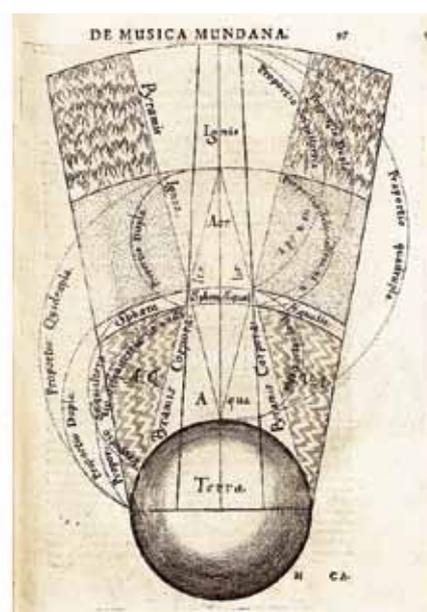


Figura 1 - Os quatro elementos - terra, água, ar e fogo - representados numa obra do início do século XVII da autoria do médico, alquimista, astrólogo e matemático inglês Robert Fludd.

* FCT NOVA, Universidade de Évora (7º Encontro de Professores de Física e Química), Rómulo - Centro Ciência Viva da Universidade de Coimbra, Escola Sá de Miranda (Braga), Fábrica Centro Ciência Viva de Aveiro e Escola Secundária de Amares

Muito ao gosto do Barroco, ao longo do século XVIII surgiram diversos *ballets* e óperas-*ballet* inspirados nos elementos e nos seus espíritos (tabela 1) [3]. O tema da Pedra Filosofal voltaria a ser parodiado na ópera *Der Alchymist* (1778) de Joseph Schuster. Por seu turno, em *Der Alchymist* (1830) Ludwig Spohr mostra como nem todos os alquimistas eram charlatões.

Não obstante a concepção aristotélica do cosmos há muito ter sido descartada, na sua Tetralogia *O anel do Nibelungo* (1869-1876), Richard Wagner deixou-nos uma visão do mundo dominada pelos quatro elementos primordiais. A saga do ouro roubado do rio Reno é uma alegoria de exaltação da vida e de denúncia da sociedade emergente da Revolução Industrial, dominada por uma ambição desmesurada por poder e riqueza. Curiosamente, *O ouro do Reno*, a primeira ópera da Tetralogia, estreou no mesmo ano em que Mendeleiev apresentou a sua Tabela Periódica (TP). As próprias Donzelas do Reno (as distraídas guardiãs do ouro de *O anel do Nibelungo*) têm ressonâncias alquímicas: o que são elas senão ondinas [5]? Foram entidades aquáticas desta natureza que também inspiraram óperas como *Undine* (a de E. T. A. Hoffmann (1816) e a de Albert Lortzing (1845)), *Loreley* (1890) de Alfredo Catalani e *Rusalka* (1901) de Antonín Dvořák.

Tabela 1 - Óperas dos filósofos e dos quatro elementos da Antiguidade

Ópera	Compositor e ano de estreia
<i>Der lachende Democritus</i>	Georg Philipp Telemann (1703)
<i>Der gebesserte Demokrit</i>	Carl Ditters von Dittersdorf (1787)
<i>Eraclito e Democrito</i>	Antonio Salieri (1795)
<i>La Pierre Philosophale</i> ^a	Marc-Antoine Charpentier (1681)
<i>Los Elementos</i>	Antonio de Literes (1718)
<i>Les Éléments</i> ^b	André-Cardinal Destouches (1721)
<i>Les Génies</i> ^c	Mademoiselle Duval (1736)
<i>Les Éléments</i> ^b	Jean-Féry Rebel (1737)
<i>Zaïs</i>	Jean-Philippe Rameau (1748)

^a Música de cena

^b ballet

^c ópera-ballet

Os elementos químicos e os seus heróis

Comece-se pelo elemento mais leve e mais abundante do Universo: o hidrogénio. Foi Robert Boyle, em 1671, que descobriu que a partir da reacção da limalha de ferro com alguns ácidos diluídos se obtinha um gás, o qual, em 1781, Henry Cavendish verificou que, ao arder, produzia água. Por essa razão, dois anos depois, Antoine Lavoisier viria a designá-lo por hidrogénio (que etimologicamente significa “gerador de água”).

Dado ser da fusão nuclear de hidrogénio em hélio que

ocorre no Sol que provém a energia que este astro irradia, e na qual toda a nossa existência se baseia, é com a ópera *Iris* (1898) de Pietro Mascagni, cuja acção decorre no Japão, o Império do Sol Nascente, que se celebra o primeiro elemento da TP. Esta obra começa justamente com o “Hino ao Sol”, constituindo uma magnífica celebração da vida: “*Son lo! Son lo la Vita!*” (“Sou eu! Sou eu a Vida!”).

O primeiro metal da Grupo 1, o lítio, foi detectado pela primeira vez em 1817, no mineral petalita, pelo sueco Johan August Arfwedson. Na altura este encontrava-se a trabalhar com Berzelius, que foi quem baptizou o elemento a partir de *λίθος* (*lithos*), o vocábulo grego que significa pedra. Contudo, só seria isolado quatro anos depois, pelo britânico William Thomas Brande, que recorreu à electrólise do óxido de lítio fundido.

Este metal encontra actualmente diversas aplicações industriais mas, desde o início dos anos noventa do século passado, tem vindo a intensificar-se o seu uso na produção de baterias de ião lítio, que, por serem recarregáveis, têm grande aplicação em equipamentos electrónicos portáteis, nomeadamente em telemóveis. Recorde-se que o Prémio Nobel da Química de 2019 foi atribuído a Akira Yoshino, Michael Stanley Whittingham e John Bannister Goodenough, pioneiros no desenvolvimento destas baterias.

Ao lítio poderá ser associada uma ópera que se tivesse sido composta na actualidade teria inevitavelmente um título diferente. Trata-se de *The telephone* (1947) de Gian Carlo Menotti,

que hoje certamente se chamaria *The mobile phone*, ou *The smartphone*. Nesta ópera cómica, cujo subtítulo é “Amor a três”, sempre que o personagem masculino tenta pedir a namorada em casamento é impedido de o fazer porque ela encontra-se ao telefone. Desesperado, decide ligar-lhe de uma cabine telefónica, sendo de lá que finalmente consegue concretizar o seu desejo.

Continuando nos metais do bloco s da TP, é altura de discorrer um pouco sobre um dos grandes heróis da história da química: Sir Humphry Davy (1778-1829), um dos pioneiros da electrólise (fig. 2). Recorrendo à pilha de Volta como fonte de corrente eléctrica, Davy conseguiu decompor muitos compostos iónicos nos seus constituintes, dando assim a conhecer novos elementos químicos. Só entre 1807 e 1808 isolou os seguintes metais alcalinos e alcalino-terrosos: potássio, sódio, bário, estrôncio, cálcio e magnésio. Em

1818 também isolaria o lítio a partir da electrólise do óxido de lítio fundido, ainda que em quantidades diminutas.

Natural de Penzance, na Cornualha, Davy não foi o único químico da família: o irmão John também era (descobriu o fosfénio), assim como o primo Edmund (descobriu a acetileno e uma forma esponjosa de platina). Dado não existir nenhuma ópera sobre os químicos de Penzance, poderá, em alternativa, pensar-se em *The Pirates of Penzance* (1879), a ópera cómica de Gilbert e Sullivan que inclui no I acto o célebre momento musical “*I am the very model of a modern Major-General*”, cujo texto, repleto de referências históricas e culturais, satirizava a

reduzida formação militar dos oficiais do exército britânico da época vitoriana (fig. 3).



Figura 2 - Humphry Davy (1778-1829).



Figura 3 - Poster de 1880 para uma produção de *The Pirates of Penzance*.

Passando do bloco *s* para o bloco *p*, detenhamo-nos no boro, o primeiro elemento do Grupo 13. Também este semi-metal foi pela primeira vez isolado pelo extraordinário químico de Penzance, que em 1808 utilizou potássio para reduzir o ácido bórico. Já o isolamento do elemento que se lhe segue, o alumínio, é atribuído ao alemão Friedrich Wöhler, o que terá ocorrido em 1827. No entanto, Davy, ao identificar a presença do potássio no alúmen (sulfato duplo de alumínio e potássio), em 1808 já suspeitara que aquele continha outro metal, que designou por *aluminum*.

Avance-se para o Grupo 14, cujo primeiro elemento, o carbono, é o quarto mais abundante no Universo (depois do hidrogénio, do hélio e do oxigénio), sendo conhecido do Homem desde tempos imemoriais. O carbono, quase obrigatoriamente, é festejado com a ária "*Scintille, diamant*", popularmente conhecida como "ária do diamante", do II acto de *Les contes de Hoffmann* (1881) de Jacques Offenbach, uma ópera cheia de reminiscências alquímicas. Nesta ária, o maldoso mágico Dapertutto alude ao diamante do seu anel, que tem o poder de controlar Giulietta, esperando assim capturar Hoffman. Refira-se a talhe de foice que foi Antoine Lavoisier, em 1772, que, ao fazer a combustão do diamante numa fornalha solar (com recurso a lentes convergentes), mostrou tratar-se de uma forma de carbono (fig. 4).

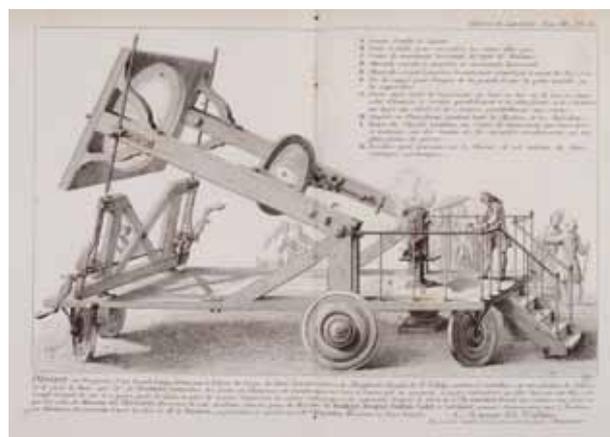


Figura 4 - Antoine Lavoisier e a sua fornalha solar (gravura de 1862).

Prossiga-se para o primeiro elemento do Grupo 15, o nitrogénio. A sua descoberta terá ocorrido em 1772, pela mão do escocês Daniel Rutherford, aluno do célebre Joseph Black na Universidade de Edimburgo. D. Rutherford verificou que o gás em causa (N_2), que designou por "ar flogisticado", não alimentava as combustões, embora não lhe tenha ocorrido poder tratar-se de uma nova substância elementar. Este "ar flogisticado" também foi investigado na época por Carl Scheele, Henry Cavendish e Joseph Priestley. Por sua vez, Lavoisier, sempre atento aos últimos desenvolvimentos científicos, chamou-lhe *azote*, do grego *ἀζωτικός* (*azotikos*), que significa 'sem vida'. Com efeito, cedo se verificou que animais e plantas morriam numa atmosfera deste gás. Em países como a Alemanha, a designação de *azote* não se implantou, apesar de o termo alemão para este elemento, *Stickstoff*, igualmente aludir ao facto de se tratar de um gás sufocante (nesta língua, a palavra para sufocar é *ersticken*). Os ingleses, por sua vez, optaram pela designação de *nitrogen*, apesar de este vocábulo provir de *nitrogène*, sugerido em 1790 pelo químico francês Jean-Antoine Chaptal, a partir de *nitre*, termo usado para designar o salitre (nitrato de potássio).

O nitrogénio forma vários óxidos, entre eles o nítrico, NO, e o nitroso, N_2O , que foram dos primeiros a se-

rem identificados. Ao primeiro foi reconhecido, na década de 80 do século passado, um importante papel biológico como agente vasodilatador. Por sua vez, o óxido nitroso - preparado pela primeira vez em 1772 por Joseph Priestley, por reacção a quente da limalha de ferro com ácido nítrico - tem diversas aplicações industriais, nomeadamente no *chantilly* em *spray* e em motores de combustão interna, assim como medicinais (anestésico e analgésico). Tem também algum uso com fins recreativos, uma vez que ao ser inalado provoca euforia, fenómeno cuja descoberta remonta a 1799 e que desde logo a classe alta inglesa passou a explorar nas célebres *laughing gas parties* (fig. 5a). O médico inglês Thomas Beddoes tinha recentemente criado em Bristol a Instituição Pneumática, destinada à investigação das propriedades terapêuticas dos gases, com vista sobretudo ao tratamento da tuberculose. Humphry Davy, que dirigia o laboratório daquela instituição, experimentou nele próprio o óxido nitroso, tendo-o cognominado de gás hilariante (fig. 5b).



Figura 5 - Gravuras cómicas dos inícios do século XIX. Em cima uma *laughing gas party*; em baixo uma sessão de apresentação das novas descobertas pneumáticas na Royal Institution (Davy, atrás da bancada, segura um fole).

A ária escolhida para ilustrar o nitrogénio pertence à ópera de câmara com que a Escola de Química da Universidade de Edimburgo assinalou, em 2013, os 300 anos da sua fundação. Recorde-se que Joseph Black - descobridor do dióxido de carbono e do conceito de calor latente - leccionou nesta instituição. A ópera em causa é *Breathe Freely*, da autoria do compositor escocês Julian Wagstaff. A acção, que decorre durante a Segunda Guerra Mundial, desenrola-se em

torno da questão da guerra química. A ária em causa bem poderia chamar-se “ária do nitrogénio”, ou melhor, “ária do *Stickstoff*”[§].

Ainda no Grupo 15, detenhamo-nos agora no arsénio, um semi-metal que faz parte dos argumentos de muitas óperas, quer como agente de homicídio quer de suicídio. Descoberto por volta de 1250 por Alberto Magno (um eclesiástico alemão que se dedicou à alquimia), trata-se de um elemento com várias formas alotrópicas, das quais a cinzenta é a mais comum. O seu nome provém do grego *ἀρσενικό* (*arsenikon*), que, por sua vez, tem origem na palavra síriaca para amarelo, que é a cor do auripigmento, um minério que quimicamente é sulfureto de arsénio(III). A toxicidade deste elemento está associada à elevada afinidade que, no estado de oxidação III, tem para biomoléculas com grupos tiol, bem como à possibilidade de, no estado de oxidação V, poder substituir o fósforo no fosfato, inibindo várias enzimas e comprometendo a produção de ATP (trifosfato de adenosina). Uma das muitas óperas que ilustram na perfeição o seu efeito letal é *Lucrezia Borgia* (1834) de Gaetano Donizetti. Frequentemente, os Bórgia adicionavam óxido de arsénio(III) ao vinho que ofereciam a “convidados especiais”.

Passe-se ao Grupo 16 e ao seu primeiro elemento, o oxigénio. Em finais do século XVII, Robert Boyle provou que é necessário ar para que os corpos inflamáveis ardam. Complementando esta conclusão, John Mayow, seu contemporâneo, mostrou que somente uma parte do ar é necessária para as combustões, deduzindo tratar-se da mesma que os animais utilizam na respiração. Outra grande contribuição deste cientista britânico para a descoberta do oxigénio foi o ter concluído que o aumento de massa do antimónio após submetido à acção de uma chama se devia à sua combinação com aquela parte do ar.

Muitos cientistas ao longo dos séculos XVII e XVIII produziram dióxido de oxigénio (O₂) no decurso das suas experiências, sem contudo o terem identificado como uma substância elementar, o que sem dúvida se terá devido à dominante e falaciosa teoria do flogisto, segundo a qual um corpo ao arder libertava o seu flogisto. Originalmente criada na segunda metade do século XVII, pelo alquimista alemão Johann Becher, e estabelecida por Georg Stahl no início do século XVIII, esta intrincada teoria prevaleceu quase até ao final do século XVIII.

Carl Scheele (fig. 6), na Suécia, entre 1771 e 1772, terá sido o primeiro a descobrir o oxigénio gasoso, ao obtê-lo a partir da decomposição térmica do óxido de mercúrio(II) e de vários nitratos. Chamou-lhe “ar do fogo”, por suportar as combustões. Descreveu o seu achado no *Tratado Químico sobre Ar e Fogo*, cujo manuscrito enviou para publicação em 1775 mas que ficou no prelo durante dois anos. Em Inglaterra, em Agosto de 1774, Joseph Priestley (fig. 6) também decompôs o óxido de mercúrio(II), verificando que o gás libertado, a que viria a chamar “ar deflogisticado”, alimentava as combustões e tornava mais activos os ratinhos que o respiravam. Publicou os seus resultados em 1775 num artigo intitulado “An Account of Further Discoveries in Air”. Em Outubro de 1774, Priestley visitou Lavoisier em Paris, a quem relatou as suas experiências e a obtenção de um novo “ar”. Um mês antes, Scheele também

[§] Encontra-se disponível no mercado uma gravação desta ópera.

terá escrito uma carta ao químico francês, descrevendo-lhe a sua descoberta, embora este nunca tenha admitido tê-la recebido. De qualquer modo, Lavoisier (fig. 6) foi o primeiro a interpretar correctamente o fenómeno da combustão e a efectuar um estudo experimental quantitativo da oxidação, provando que o gás em causa correspondia a um novo elemento, como deixou patente no artigo “Mémoire sur la combustion en général”, publicado em 1777, arrasando assim de vez a falaciosa teoria do flogisto. Seguidamente, conjuntamente com Pierre-Simon de Laplace, iniciaria o estudo da relação entre respiração e produção de calor.



Figura 6 - Esquerda: Carl Wilhelm Scheele (1742-1786). Centro: Antoine-Laurent Lavoisier (1743-1794) e a sua mulher, Marie-Anne Pierrette Paulze. Direita: Joseph Priestley (1733-1804).

Lavoisier chamara inicialmente “ar vital” ao novo gás, mas posteriormente designou-o por oxigénio, nome proveniente dos vocábulos gregos *ὀξύς* (*oxys*), que significa ácido, e *γενής* (*genes*), gerador, por acreditar que este elemento estava presente em todos os ácidos. Tal erro iria ser corrigido por químicos como Humphry Davy, mas entretanto o nome já se instalara.

Em termos operáticos não haverá melhor homenagem ao oxigénio do que com *Le docteur Ox* (1877), a ópera cómica de Jacques Offenbach. Baseada na novela homónima de Jules Verne, relata as aventuras de um cientista que resolve investigar os efeitos sobre os seres vivos de um gás secreto, obtido a partir da electrólise da água.

Continue-se ainda no grupo dos calcogénios, designação que significa ‘geradores de minérios’. A descoberta do polónio (e do rádio, este um metal alcalino-terroso) por Marie e Pierre Curie, em 1898, é já lendária. Não isolaram porém o polónio (e o rádio só o seria em 1910), tendo os louros de tal proeza ido para o alemão Willy Marckwald, que o obteve em 1902, embora à época pensasse tratar-se de um novo elemento, a que se chamou radiotelúrio.

O polónio é um metal extremamente raro que no estado sólido apresenta duas formas alotrópicas, a alfa (sistema cristalino cúbico) e a beta (sistema cristalino romboédrico). Possui 41 isótopos, todos instáveis, sendo o de ocorrência natural mais abundante o polónio-210, que é um produto da série de decaimento do urânio natural. Trata-se de um forte emissor alfa que sublima a cerca de 50 °C, formando moléculas diatómicas. De entre as suas aplicações práticas, que são escassas, podem citar-se o uso em dispositivos de eliminação de electricidade estática ou como fonte de energia térmica em equipamentos espaciais; misturado com berílio, ou em ligas com este, constitui uma fonte de neutrões.

Irène Joliot-Curie (fig. 7), filha do casal Curie, terá sido a primeira vítima deste elemento altamente radioactivo e tóxico, cuja dose letal se estima ser inferior a 10 microgramas. Esta cientista francesa morreu com leucemia em 1956, dez anos depois de ter explodido no laboratório, perto de si, uma cápsula selada contendo polónio. Em 2006, o russo Alexander Litvinenko, antigo espião do KGB, morreu de forma horrível escassas semanas após ter tomado um chá a que alguém adicionara este elemento.

Em 2011, Ano Internacional da Química, quando fazia um século que Marie Curie recebera o Prémio Nobel da Química, pela descoberta do polónio e do rádio, estreou em Paris a ópera *Madame Curie*, da autoria da compositora polaca, Elzbieta Sikora, ópera essa que, inevitavelmente, é aqui convocada.

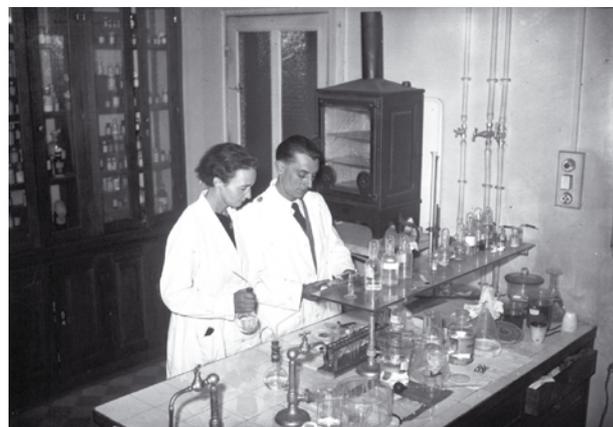


Figura 7 - Irène Joliot-Curie (1897-1956) e o marido, Frédéric Joliot-Curie (1900-1958).

Avance-se para o Grupo 17 (halogénios – ‘geradores de sais’) e em particular para o cloro. O cloreto de sódio, o composto mais comum deste elemento, é desde há muito usado como conservante alimentar. Por sua vez, o cloro gasoso (Cl_2) terá sido obtido pelos alquimistas da idade média, porquanto da reacção da água-régia com o ouro liberta-se este gás amarelo esverdeado. No entanto só seria isolado em 1774, por Carl Scheele, que o obteve a partir da reacção do óxido de manganês(II) com ácido clorídrico. O químico sueco, que verificou várias das suas propriedades, nomeadamente como descolorante, designou-o por “ar de ácido muriático deflogisticado” (ácido muriático era o nome que então se dava ao ácido clorídrico). Como na época se acreditava que todos os ácidos continham oxigénio, foram vários os químicos, entre eles Claude Berthollet, que sugeriram que o gás preparado por Scheele seria um composto de oxigénio e de um outro elemento ainda desconhecido, a que se chamou *muriaticum*. Em 1810, Humphry Davy mostraria tratar-se de uma substância elementar, designando-a pelo nome por que hoje é conhecida, o qual deriva do grego *χλωρος* (*chloros*), que significa ‘verde pálido’.

Davy, cuja investigação também contribuiu para o conhecimento do flúor (só isolado em 1886 por Henri Moissan), teve um papel mais preponderante no caso

do iodo, isolado em 1811 a partir de algas marinhas pelo francês Bernard Courtois, que, todavia, não conseguiu provar tratar-se de um novo elemento. Foram Davy, na Inglaterra, e Gay-Lussac, em França, que, de forma independente, o demonstraram, tendo no entanto ambos reconhecido o justo crédito da descoberta a Courtois.

Por fim, os metais de transição. Comece-se pelo bloco *d* da TP, ao qual pertence o elemento mais cobinado ao longo dos tempos: o ouro. Não só é um dos poucos metais que à superfície terrestre se encontram na forma elementar (consequência de uma baixíssima reactividade), como também é colorido, no que só é igualado pelo cobre. Com uma baixa reflectância para os comprimentos de onda mais curtos do visível, o ouro reflecte sobretudo a luz de comprimentos de onda superiores a 500 nm, ou seja, na região entre o amarelo e o vermelho. A par destas características, o facto de ter um ponto de fusão relativamente baixo (1064 °C) contribuiu para que fosse um dos primeiros metais a ser trabalhado, o que terá acontecido no quarto milénio antes de cristo, no Leste Europeu.

A ânsia por ele gerada levou a que o Homem nutrisse durante longos séculos o desejo de o obter a partir da transmutação de metais inferiores, para, por fim, se resignar à ideia de a sua única fonte ser a crosta terrestre. Das muitas andanças garimpeiras ao longo da História da Humanidade, a Febre do Ouro da Califórnia, entre 1848 e 1855, será a mais célebre, de resto bem retratada na ópera *La Fanciulla del West* (1910) de Giacomo Puccini. No entanto, nenhuma outra ópera ilustra melhor as relações do Homem com o metal amarelo do que *O ouro do Reno*, de Richard Wagner.

O urânio é o elemento escolhido para representar o bloco *f* da TP. Com número atómico 92, era em 1934 o elemento mais pesado que se conhecia. Nesse ano, em Roma, o físico Enrico Fermi deu início a um estudo sistemático de irradiação dos elementos químicos com neutrões lentos. (O neutrão fora descoberto dois anos antes por James Chadwick, em Cambridge.) Apesar de ninguém saber ao certo o que acontecia no decurso da irradiação do urânio, ganhou força a ideia de que quando um neutrão lento colidia com o átomo deste elemento, era absorvido pelo núcleo e convertia-se num protão, gerando assim um novo elemento, mais pesado. Todavia, no final de 1938, a física austríaca Lise Meitner (fig. 8), que tinha vindo a trabalhar em Berlim neste domínio, conjuntamente com o químico alemão Otto Hahn (mas que entretanto se encontrava exilada em Estocolmo devido às suas origens judaicas), veio mostrar que o destino do átomo de urânio era bem diferente. Ao ser atingido por um neutrão lento, o seu núcleo começa a oscilar e a estender-se como uma gota de água, dividindo-se em dois núcleos mais leves, o que é acompanhado pela libertação de uma grande quantidade de energia, e de neutrões. Quanto a es-

tes, cedo se constatou que, sob certas condições, poderiam alimentar uma reacção em cadeia. De qualquer forma, no caso do urânio, só o isótopo 235 (cuja abundância natural é inferior a 1 %) é passível de fissão.

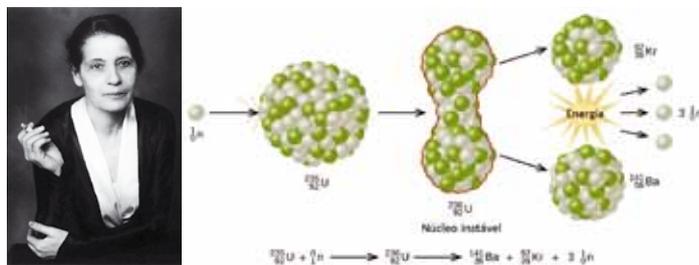


Figura 8 - Lise Meitner (1878-1968) e representação da fissão nuclear do urânio-235.

Escandalosamente, o Prémio Nobel da Química de 1944 foi para Otto Hahn, precisamente pela descoberta da fissão de núcleos pesados. A total omissão da contribuição de Meitner para a compreensão deste fenómeno nuclear é uma das maiores injustiças de sempre na história da atribuição do Prémio Nobel.

No início de Agosto de 1939, temendo que a Alemanha pudesse estar a preparar uma bomba extremamente destrutiva, baseada em urânio, o físico húngaro Leó Szilard, acolitado por outros cientistas, escreveu uma carta ao presidente norte-americano, Franklin Roosevelt, tendo a mesma sido assinada por Albert Einstein, o cientista mais famoso da época. A carta enfatizava a urgência dos EUA desenvolverem um programa nuclear. No dia 1 de Setembro desse ano, a invasão da Polónia pela Alemanha fez irromper a Segunda Guerra Mundial, tendo Roosevelt criado de imediato o Comité Consultivo para o Urânio, o qual deu luz verde à investigação sobre a fissão nuclear e a separação isotópica do urânio.

Com a entrada dos EUA na guerra, após o ataque japonês a Pearl Harbor, a 7 de Dezembro de 1941, afigurava-se mais urgente do que nunca a obtenção da bomba atómica, o que exigia urânio-235 e plutónio-239 em quantidades suficientes para a sustentação de reacções em cadeia nas proporções desejadas. O projecto que veio a corresponder a esse desafio, inicialmente sob a liderança científica de Arthur Compton e Ernest Lawrence, ficou sob a alçada militar do general Leslie Groves. Com algumas mudanças, a partir de 1942 passou a designar-se por Projecto Manhattan, tendo por centro nevrálgico o Laboratório de Los Alamos, no Novo México, e a direcção científica do físico norte-americano Robert Oppenheimer (fig. 9).

A guerra já terminara na Europa no início de Maio de 1945, com a derrota e rendição da Alemanha, quando, a 16 de Julho, a primeira bomba atómica foi testada. O mítico e místico Oppenheimer baptizou o ensaio com o nome de código de *Trinity Test* (mais tarde diria ter-se inspirado num poema do século XVII, de John Donne). O lugar escolhido para o teste atómico foi Jornada del Muerto, no deserto do Novo México, a cerca de 300 quilómetros de Los Alamos. Às 5h30 da manhã, Oppenheimer e muitos outros cientistas e militares, posicionados em abrigos a cerca de 35 km de distância, testemunharam a detonação da primeira bomba atómica (fig. 9).



Figura 9 - Robert Oppenheimer (1904-1967) e detonação do “gadget” do Trinity Test, a 16 de Julho de 1945.

São os factos históricos e humanos em torno do *Trinity Test* que a emocionante ópera *Doctor Atomic* de John Adams retrata. Esta obra estreou em São Francisco em 2005, exactamente sessenta anos após o lançamento das bombas atómicas de Hiroxima e Nagasaki.

Coda

A terminar esta celebração da Tabela Periódica através da ópera, recorde-se a música de “*I am the very model of a modern Major-General*”, da ópera cómica *The Pirates of Penzance*. Não podia ter calhado melhor: foi precisamente essa melodia que Tom Lehrer (fig. 10) escolheu para a sua célebre canção dos elementos químicos (impressionante pela rapidez com que os enuncia!).



Figura 10 - Tom Lehrer (1928-)

Referências

1. J. P. André, “A percepção pública da química através do teatro e da ópera”, *Química - Boletim da SPQ*, 42, 176 (2018)
2. J. P. André, “Opera and Poison: A Secret and Enjoyable Approach to Teaching and Learning Chemistry”, *J. Chem. Educ.* 90, 352 (2013)
3. J. P. André, “Viewing Scenes of the History of Chemistry through the Opera Glass”, *J. Chem. Educ.* 92, 66 (2015)
4. J. P. André, “A doença na ópera”, *Química - Boletim da SPQ*, 43, 199 (2019)
5. J. P. André, “A forja d’*O Anel do Nibelungo*: a contribuição da ciência”, *Química - Boletim da SPQ*, 41, 27 (2017)

Sugestões de leitura

- J. P. André, *Poções e Paixões - Química e Ópera*, Gradiva, Lisboa, 2018
- A. Treener, *The Mercurial Chemist - A life of Sir Humphry*, Methuen, London, 1963
- J. Golinski, “Humphry Davy: The Experimental Self”, *Eighteenth-Century Studies*, 45,15 (2011)
- M. Elvira Weeks, “The discovery of the elements. IX. Three alkali metals: potassium, sodium, and lithium”, *J. Chem. Educ.* 9, 1035 (1932)
- M. Elvira Weeks, “The discovery of the elements. X. The alkaline earth metals and magnesium and cadmium”, *J. Chem. Educ.* 9, 1046 (1932)



João Paulo André, Licenciado em química (ramo educacional) pela Universidade de Coimbra e doutorado em química pela Universidade de Basileia, Suíça. É Professor Auxiliar do Departamento de Química da Universidade do Minho.

Os seus interesses académicos actuais incluem a história da química e a divulgação científica. Entre as suas publicações contam-se uma análise crítica da presença da química e da farmácia na obra de Eça de Queiroz (*in* “Dicionário de Eça de Queiroz”, Imprensa Nacional - Casa da Moeda, 2015) e o livro “*Poções e Paixões - Química e Ópera*” (Gradiva, 2018; 2ª edição, revista e aumentada, 2019).