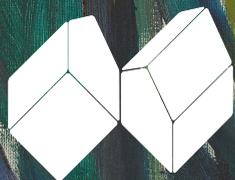


SETEMBRO 2020

V8/03

REVISTA DE CIÊNCIA ELEMENTAR. CASA DAS CIÊNCIAS



REVISTA DE CIÊNCIA ELEMENTAR



FICHA TÉCNICA

Rev. Ciência Elem., V8(03)

Publicação trimestral
da Casa das Ciências

ISSN 2183-9697 (versão impressa)

ISSN 2183-1270 (versão online)

rce.casadasciencias.org

DEPÓSITO LEGAL

425200/17

COORDENAÇÃO EDITORIAL

Alexandra Coelho

DESIGN

Rui Mendonça

PAGINAÇÃO

Raul Seabra

IMPRESSÃO E ACABAMENTO

Uniarte Gráfica S.A.

TIRAGEM

2800 exemplares

IMAGEM NA CAPA

Autorretrato de Edvard Munch
após a gripe espanhola
Museu Munch (Oslo)

© Todo o material publicado nesta revista
pode ser reutilizado para fins não comerciais,
desde que a fonte seja citada.



PROPRIETÁRIO

Casa das Ciências/ICETA

Faculdade de Ciências,

Universidade do Porto

Rua do Campo Alegre, 687

4169-007 Porto

rce@asadasciencias.org

CORPO EDITORIAL DA REVISTA DE CIÊNCIA ELEMENTAR

EDITOR

José Ferreira Gomes (UNIVERSIDADE DO PORTO)

EDITOR CONVIDADO

José Francisco Rodrigues (UNIVERSIDADE DE LISBOA)

CONSELHO EDITORIAL

João Lopes dos Santos (UNIVERSIDADE DO PORTO)

Jorge Manuel Canhoto (UNIVERSIDADE DE COIMBRA)

José Francisco Rodrigues (UNIVERSIDADE DE LISBOA)

Luís Vítor Duarte (UNIVERSIDADE DE COIMBRA)

Maria João Ramos (UNIVERSIDADE DO PORTO)

Paulo Fonseca (UNIVERSIDADE DE LISBOA)

Paulo Ribeiro-Claro (UNIVERSIDADE DE AVEIRO)

PRODUÇÃO E SECRETARIADO

Alexandra Coelho

Guilherme Monteiro

NORMAS DE PUBLICAÇÃO NA RCE

A Revista de Ciência Elementar dirige-se a um público alargado de professores do ensino básico e secundário, aos estudantes de todos os níveis de ensino e a todos aqueles que se interessam pela Ciência. Discutirá conceitos numa linguagem elementar, mas sempre com um rigor superior.

INFORMAÇÃO PARA AUTORES E REVISORES

Convidam-se todos os professores e investigadores a apresentarem os conceitos básicos do seu labor diário numa linguagem que a generalidade da população possa ler e compreender.

Para mais informação sobre o processo de submissão de artigos, consulte a página da revista em rce.casadasciencias.org



**CASA DAS
CIÊNCIAS**

EDULOG · FUNDAÇÃO BELMIRO DE AZEVEDO

SETEMBRO 2020

V8/03

ÍNDICE

- | | | | |
|----|--|----|--|
| 02 | AGENDA | 27 | O lítio na bioquímica Agostinho A. Almeida |
| 03 | NOTÍCIAS | 30 | Imunologia Ana Espada Sousa |
| 05 | EDITORIAL "O que hoje não sabemos, amanhã saberemos" José Francisco Rodrigues | 35 | Coronavírus Pedro José Esteves |
| 07 | BIOGRAFIA Planck Eduardo Lage | 39 | AOS OLHOS DA CIÊNCIA A matemática e as epidemias Luís Mateus |
| 11 | ARTIGOS A radiação térmica Eduardo Lage | 45 | PROJETO DE SUCESSO Plantas e Pessoas na Biblioteca Francisca Maria Fernandes <i>et al.</i> |
| 15 | O lítio e a bateria de ião-Li Maria Helena Braga | 48 | IMAGEM DE DESTAQUE Máscara da Peste Negra Museu da Farmácia, Manuel Valente Alves |
| 19 | Recursos naturais de lítio António Mateus | | |
| 24 | O lítio, um metal para o futuro de Portugal? Alexandre Lima | | |

01/10⁽²⁰²¹⁾

O regresso às atividades presenciais

Findo o confinamento, o ano letivo de 2020/21 começa com o apoio de todas as entidades que apoiam a divulgação da ciência. Estão associados a este número da Revista de Ciência Elementar:

Museu da Farmácia

[HTTPS://WWW.MUSEUDAFARMACIA.PT](https://www.museudafarmacia.pt)

Roteiro de Minas

[HTTP://WWW.ROTEIRODEMINAS.PT](http://www.roteirodeminas.pt)

Consulte os sites para mais informações acerca das atividades disponíveis.

**14/07
a 16/07**⁽²⁰²¹⁾

VII Encontro Internacional da Casa das Ciências

O Encontro Internacional da Casa das Ciências regressa ao Porto em 2021 num formato próximo do que já é bem característico da Casa das Ciências. À componente plenária, juntamos pelo menos 2/3 do tempo de formação em pequenos grupos de cerca de 20 pessoas para melhor contacto com os formadores.

As inscrições abrem em 2021.

PORTO, ISEP-IPORTO

**02/09
e 03/09**⁽²⁰²¹⁾

II Encontro Temático da Casa das Ciências

Água, um tema transversal

Na sequência do sucesso do Encontro Temático realizado em Viana do Castelo em 2019, e depois do adiamento forçado pela pandemia de COVID-19, vamos repetir o evento, agora em Estremoz, com um programa renovado. Serão dois dias de trabalho seguidos de uma saída de campo (opcional) no sábado, 4 de setembro. A ação está acreditada com 15 horas + 6 horas de formação específica. O tema permite tratar a água numa perspetiva multidisciplinar envolvendo a Física, a Química, a Biologia e a Geologia. A saída de campo também focará estas diferentes visões, sendo sempre acompanhada.

CENTRO DE CIÊNCIA VIVA DE ESTREMOZ

WWW.CASADASCIENCIAS.ORG/ESTREMOZ2020



O ano 536 terá sido o pior ano de sempre!



FIGURA 1. Glaciar do pico Gnifetti (fonte: the Analytical Scientist).

A iniciativa da Universidade de Harvard para a ciência do passado humano (<https://sohp.fas.harvard.edu/>) declara 536 como o pior ano de sempre para se ter vivido. Terá sido pior que o ano da Peste Negra (1349) e o da Gripe Espanhola (1918). Em 536 um nevoeiro cobriu a Ásia, o Médio Oriente e a Europa e manteve-as na penumbra por ano e meio. As temperaturas daquele verão baixaram 1,5 a 2,5°C tornando-o o mais frio em mais de 2000 anos. Estudos de anéis de crescimento de árvores e agora o estudo do gelo permanente dos Alpes Suíços dá um registo do ambiente ao longo dos séculos. Um cilindro de 72m de gelo alpino regista dois milénios de história, desde erupções vulcânicas a poeiras do Sáara. A erupção de um vulcão na Islândia terá espalhado cinzas que cobriram de nevoeiro o hemisfério norte. Várias substâncias e partículas lançadas na atmosfera formam um aerossol que reflete a luz do sol e arrefece o ambiente prejudicando ou destruindo as culturas, causando fomes e parando a economia. Depois da

erupção de 536, outras erupções em 540 e em 547 causaram a estagnação na Europa até cerca de 640. A transição da economia imperial romana para a da baixa idade média poderá estar ligada a estas causas e só terá recuperado com a mineração de prata, na França atual, a sul de Poitiers, por meados do século VII.

O sangue azul do limulus e as vacinas



FIGURA 1. Desova do caranguejo-ferradura numa praia atlântica (fonte: Wikipedia).

O limulus ou caranguejo-ferradura não é de facto um caranguejo nem mesmo um crustáceo, pertencendo à outra ordem dos artrópodes. Como alguns outros crustáceos, aracnídeos e moluscos, o transporte do oxigénio é mediado pelo cobre e não pelo ferro. O caranguejo ferradura usa hemocianina para transportar oxigénio no sangue. A hemocianina é uma metaloproteína com dois átomos de cobre que fixam reversivelmente a molécula de oxigénio. A hemocianina está dispersa no sangue, não estando ligado a

células, ao contrário do que acontece com a hemoglobina das hemácias humanas e da maioria dos animais.

Este animal é muito importante em farmacologia e, especialmente, na produção de vacinas porque o seu sangue azul-leitoso é a única fonte natural de uma substância que deteta a endotoxina, um contaminante que pode causar a morte. Os animais são recolhidos quando vão desovar a certas praias. Há alguma preocupação com o aparente decréscimo das populações e pela crescente procura deste produto (DOI: 10.13140/RG.2.2.24616.60164/2).

Baterias biomórficas estruturais

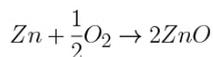
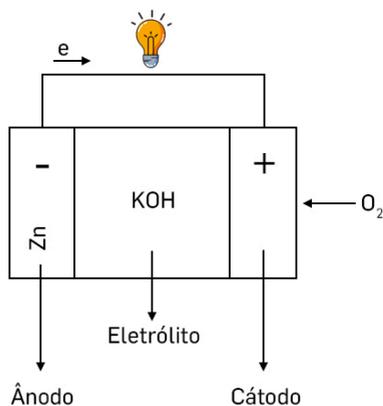


FIGURA 1. Célula eletroquímica zinco-ar primária.

Acaba de ser publicado um artigo (DOI: 10.1126/scirobotics.aba1912) que anuncia a possibilidade de usar os materiais

estruturais, a caixa exterior de um robô, por exemplo, para produzir a energia necessária ao seu funcionamento, evitando o volume atualmente ocupado pelas baterias convencionais. Os autores vão buscar a inspiração à analogia com o armazenamento de energia na gordura dispersa no corpo de um animal. Procuram aqui que o material estrutural do robô tenha, ao mesmo tempo, a função de produção da energia necessária ao seu funcionamento. A caixa exterior do robô é substituída por baterias de zinco-ar. Com a vantagem de usar materiais de baixo custo e com baixo risco ambiental e potencialmente recicláveis.

A bateria de zinco baseia-se na oxidação de zinco metálico por oxigénio atmosférico com aniões hidróxido a atravessar uma membrana de gel polimérico com uma rede de nanofibras, do tipo das fibras de carbono usadas no Kevlar. O esquema na figura é da célula primária de zinco, não recarregável.

“O que hoje não sabemos, amanhã saberemos”

Garcia da Orta (1563)

Em 1919, o pintor norueguês Edvard Munch, então com 55 anos, pintou o “Autorretrato após a gripe espanhola”, escolhido para capa deste número da Revista, onde registou uma expressão séria num ambiente caseiro bem colorido e iluminado, que, no fundo, traduzia um triunfo sobre a doença que havia superado e precedia um quarto de século, tranquilo e profissionalmente realizado, da sua vida.

Com a pandemia da COVID-19 em curso e com o início de um novo ano letivo de desenvolvimento incerto, a Revista de Ciência Elementar prossegue a sua importante missão de transmitir e discutir os conceitos científicos numa linguagem elementar e rigorosa, procurando uma visão crítica da realidade atual, não descurando os projetos escolares de sucesso, como o exemplo das interações culturais entre pessoas e plantas que se apresenta neste número.

Deste modo, prossegue-se com uma biografia de Max Planck (1858-1947), vencedor do Prémio Nobel da Física de 1918 pela descoberta dos *quanta* de energia, e com vários artigos, incluindo um sobre a radiação térmica, fundamental para o aparecimento da teoria quântica, quatro artigos a propósito do lítio – Li – o elemento que nos traz a problemática atual das baterias, dos recursos naturais e do seu impacto económico, bem como da sua utilização terapêutica, e ainda dois artigos muito oportunos, um sobre Imunologia e outro sobre os Coronavírus.

Aos olhos da Ciência, o interessante artigo sobre *A matemática e as epidemias* apresenta-nos um enquadramento dos modelos analíticos da epidemiologia matemática, desde o pioneiro modelo para a propagação da varíola de 1760 de Daniel Bernoulli, o qual desempenhou um importante papel na controvérsia inicial sobre as vantagens da inoculação, ao bem conhecido modelo SIR de Kermack e de McKendrick, do início dos

anos 1930's com as suas múltiplas variantes, que incluem modelos para doenças endémicas, como a do dengue. Novas variações e novos modelos analíticos estão neste momento a ser desenvolvidos e testados a nível mundial com o decorrer da atual pandemia do SARS-CoV2.

Finalmente, tendo em conta que a aplicação do conhecimento científico não dispensa a tecnologia e que, atualmente, para além do distanciamento, a melhor e mais barata tecnologia de combate à COVID-19 ainda é a máscara, a Imagem em Destaque deste número evoca a máscara da peste negra, com um exemplar que pode ser visto na exposição "*Um Mundo de Máscaras*", patente até ao dia 30 de setembro de 2020 no Museu de Farmácia em Lisboa.

José Francisco Rodrigues

Editor Convidado

Planck

Eduardo Lage
Universidade do Porto

Max Karl Ernst Planck nasceu em 23 de abril de 1858 em Kiel, Schleswig (hoje República Federal da Alemanha), onde fez os seus estudos iniciais. Era o 6º filho de Wilhelm Planck, professor de Direito na Universidade de Kiel e a sua mãe descendia de uma longa linhagem de pastores protestantes. Na família, da classe média superior, a educação e a cultura eram objeto de alta consideração, sendo habitual a leitura em comum de romancistas famosos, a representação de pequenas peças teatrais ou a interpretação de peças musicais. Max Planck frequenta o liceu (*Maximiliansgymnasium*) em Munique, onde são apreciadas as suas capacidades intelectuais (como aluno, foi um dos melhores, mas nunca o melhor) e, sobretudo, as suas qualidades sociais, sendo um favorito quer dos colegas quer dos professores. Ao terminar o ensino secundário em 1874, mas sendo um excelente executante de piano e órgão, hesita entre uma carreira musical e uma vida na Ciência. Pedindo conselho a um músico profissional, dele recebe uma resposta decisiva: "*Se tem de perguntar, o melhor é estudar outra coisa qualquer*". Assim, entra para a Universidade de Munique e, mais tarde, para a Universidade de Berlim, tendo decidido estudar Termodinâmica, por ter admirado as lições de Clausius, apesar de Philipp von Jolly (seu professor em Munique) o ter aconselhado contra uma carreira em Física, porque "*a descoberta da Termodinâmica tinha completado a estrutura da Física Teórica*", ao que Planck respondeu, humildemente, que não tinha qualquer intenção de fazer descobertas mas apenas estudar e, talvez, aprofundar os fundamentos da Física!

Em 1879 (FIGURA 1) apresenta a sua tese de doutoramento (em Munique) sobre os Princípios da Termodinâmica, tendo recebido o grau *summa cum laude*. O próprio Planck lembraria que H. von Helmholtz nem sequer a leu e que Kirchhoff a leu, mas não gostou. E até Clausius, que tinha inspirado Planck, não mostrou o mínimo interesse, não se dignando sequer responder ao envio de uma cópia da tese que Planck lhe dedicara pedindo comentários.

Em 1880, Planck é contratado pela Universidade de Munique para ensinar Física Teórica. Aí, conhece Wien, de quem se torna amigo e colaborador e aí permanece até 1885, ano em que se transfere para Kiel, sua terra natal, onde fica até 1889. Kirchhoff morre em

1887 e a sua cátedra, em Berlim, é oferecida, primeiro a Boltzmann, que recusa, depois a Heinrich Herz, que recusa, e finalmente, por influência de Helmholtz, a Planck. Assim, em 1889, é nomeado professor associado e, logo a seguir, professor catedrático da *Friedrich-Wilhelms-Universität* em Berlim onde se manterá até à reforma.

Em 1890, casa com Marie Merck, de quem viria a ter dois filhos (Karl e Erwin) e duas filhas (Emma e Greta).



FIGURA 1. Max Planck em 1879.

Assim, em 1900, com 42 anos e 43 artigos publicados (a maioria, sobre Termodinâmica, nenhum com relevância), respeitado como um cientista cumpridor e trabalhador, apreciado como bom administrador académico, Planck é o homem certo, no momento certo e no sítio certo (FIGURA 2). Berlim era um dos grandes centros científicos da altura e era na sua Universidade que se situavam os grupos experimentais e teóricos que mais marcaram o estudo da radiação do corpo negro. Planck tinha uma sólida formação científica em Termodinâmica e estava determinado em resolver o problema proposto por Kirchhoff a propósito do importante problema do corpo negro. Faltava, apenas, a oportunidade.



FIGURA 2. Max Planck em 1900.

Esta terá chegado na tarde de domingo, dia 7 de outubro de 1900. Os Planck receberam a visita social de Heinrich Rubens, o qual comunica a Planck os últimos resultados experimentais do seu grupo, que sugeriam que a intensidade espectral é proporcional à temperatura (absoluta), para baixas frequências, afastando-se, decisivamente, da fórmula de Wien e aproximando-se da fórmula de Rayleigh. Acabada a visita, Planck medita como deveria ser uma fórmula que interpolasse entre estas duas e encontra uma expressão que parece ajustar-se bem aos resultados experimentais. No mesmo dia, escreve um postal a Rubens, apresentando-lhe a fórmula obtida. O artigo de Rubens, com os resultados experimentais, já estava pronto, mas ainda foi possível juntar uma nota indicando que Planck havia obtido uma fórmula que se ajustava perfeitamente aos dados experimentais. Em 19 de outubro de 1900, Planck apresenta a sua fórmula numa reunião da Sociedade Alemã de Física. Parecia ter sido, finalmente, encontrada a solução do desafio colocado por Kirchhoff – mas não se percebia qual a origem daquela expressão. Como deduzir a fórmula de Planck?

O próprio Planck confessa, na sua autobiografia (escrita quando já tinha perto de 90 anos) que tentou todas as hipóteses que a Física Clássica permitia. Conservador, por natureza, não havia aceite a interpretação estatística de Boltzmann – mas, em desespero (*sic*), volta-se para essa interpretação e vai introduzir uma hipótese de enorme audácia, ainda mais arrojada vinda de um homem de 42 anos, respeitador das regras e leis em que havia sido educado. A contradição entre o carácter revolucionário da hipótese de Planck e o carácter conservador do seu autor, mostra-nos bem uma mentalidade científica em ação: aceitar os dados experimentais e propor uma interpretação, mesmo que esta desafie toda a formação científica estabelecida.

Vejamos, então, o que fez Planck. Tendo ao seu dispor uma boa fórmula para a intensidade espectral, Planck imediatamente usou o resultado, por si obtido, relacionando aquela intensidade com a energia média de um oscilador harmónico responsável por absorver a energia electromagnética, deduzindo, assim, a energia média do oscilador. Em seguida, considera uma coleção de N tais osciladores e deriva a entropia (termodinâmica) de tal sistema como função da sua energia. Como deduzir esta entropia a partir dos princípios fundamentais da Física Estatística? Planck vai socorrer-se da interpretação estatística de Boltzmann (que antes não aceitava): a entropia é o logaritmo (multiplicado pela constante de Boltzmann) do número de maneiras de distribuir a energia pelos N osciladores. E faz duas hipóteses, ambas ao arrepio de qualquer interpretação clássica. Primeiro, admite que a energia é constituída por um certo número de “grãos” finitos de energia, todos iguais, a que Planck deu o nome de *elemento de energia* (mais tarde, chamou-lhe *quantum* de energia). Isto é, Planck considera a energia disponível como se tivesse uma “estrutura atómica”, atribuindo a cada oscilador um certo número destes elementos de energia. Segundo, embora os osciladores sejam distinguíveis, estes elementos de energia são indistinguíveis, um conceito totalmente ao arrepio da Física Clássica. Calcula, então, o número de ma-

neiras de distribuir os elementos de energia pelos N osciladores, criando, desta maneira, uma nova distribuição estatística (a distribuição de Planck, como passou a ser conhecida) e deriva a entropia (estatística) do sistema, igual ao logaritmo deste número (Boltzmann). Comparando as duas expressões para a entropia, conclui, finalmente, que o elemento de energia para um oscilador harmónico é simplesmente proporcional à sua frequência natural: $\varepsilon = h\nu$. Deste modo, um oscilador só pode ter energias que são múltiplos deste elemento. Ficou resolvido o desafio de Kirchhoff, mas a que custo? A quantificação da energia de um oscilador harmónico vai contra tudo o que nos ensina a mecânica de Newton; a indistinguibilidade dos “elementos” de energia vai contra tudo o que nos ensina Maxwell e Boltzmann nas suas formulações estatísticas da teoria cinética. E, contudo, o acordo da fórmula de Planck com os dados experimentais é perfeito!

Estes resultados são comunicados em 14 de dezembro de 1900 à Sociedade Alemã de Física. Foram recebidos com enorme cepticismo, tendo sido considerados, apenas, como uma maneira hábil, mas não convincente, de resolver o problema da radiação do corpo negro. O próprio Planck tentou deduzir a sua expressão, para o elemento de energia, a partir de princípios clássicos. Em vão. A teoria só viria a ser aceite após Einstein (em 1905) ter utilizado o *quantum* (e a fórmula de Wien) para conceber o fotão, o *quantum* da luz. Nesse ano, os principais físicos reconheceram que a fórmula de Planck não era apenas uma maneira conveniente de representar dados experimentais – ela abria uma profunda crise na Física. A aceitação definitiva deu-se com Bohr (em 1913), que a incorporou na sua teoria do espectro do átomo de hidrogénio. São de Einstein, em 1913, as seguintes palavras: “*O trabalho de Planck entusiasma e ao mesmo tempo torna tão difícil a existência dos físicos. Seria revelador poder pesar a quantidade de matéria cerebral que foi sacrificada pelos físicos no altar da função de Kirchhoff; e o fim destes cruéis sacrifícios ainda não está à vista*”.

Tinha razão Einstein. Tinha a razão de um físico clássico (um dos maiores), para quem a Física é uma aventura intelectual que nos ajuda a ver como a Natureza se comporta. Mas como ver o que é um *quantum* de energia? Como conceber que essas parcelas de energia são indistinguíveis? São noções muito estranhas, alheias à nossa experiência comum, mas é assim que a Natureza se apresenta. Até Planck, os conceitos eram visualizáveis; a partir de Planck, deixam de o ser. Podemos imaginá-los, se isso ajuda – mas a imagem serve, apenas, como analogia.

A radiação térmica

Eduardo Lage
Universidade do Porto

A radiação térmica é a energia electromagnética emitida por um corpo a uma dada temperatura. Neste artigo, esta radiação é caracterizada e analisado o equilíbrio termodinâmico que se estabelece quando o corpo, encerrado num domínio limitado por paredes totalmente refletoras, absorve a energia que emite, concluindo-se que, no vazio, a intensidade da radiação só depende da sua frequência e da temperatura, relação conhecida por função de Kirchhoff. Para a sua determinação, introduz-se o importante conceito de corpo negro, um sistema ideal que absorve toda a radiação que nele incida e que, portanto, no equilíbrio é o corpo que mais radia para uma dada temperatura. O estudo mais detalhado da radiação do corpo negro é prosseguido noutro artigo e originou um enorme desafio para a Física só vindo a ser resolvido com o aparecimento da teoria quântica.

Em 1859, Kirchhoff (FIGURA 1) verificou que as riscas D, escuras, do espectro solar, ainda se tornam mais escuras por interposição de uma chama de vapores de sódio. Ficava, assim, evidente que, se o sódio, no laboratório, absorve energia da radiação solar, então deveria, também, haver sódio na atmosfera do Sol para originar aquelas riscas escuras, as quais já denotam existir absorção destas frequências. Esta observação por Kirchhoff marca o início da Astrofísica, mas, mais importante para o que se segue, tê-lo-á levado a inquirir sobre a natureza e caracterização da radiação originada por um corpo a uma certa temperatura. Estas questões tornavam-se, ainda, mais pertinentes quando havia sido Kirchhoff que, pouco tempo antes, havia verificado experimentalmente que as riscas escuras (absorção) do sódio coincidiam com as brilhantes riscas amarelas do seu espectro de emissão.

Kirchhoff imaginou uma cavidade, onde se fez o vazio, rodeada por paredes que refletem totalmente qualquer radiação que nelas incida. No interior da cavidade, coloque-se um corpo qualquer, a uma certa temperatura inicial. Ao fim de algum tempo, atingir-se-á o equilíbrio termodinâmico, ficando o corpo com uma temperatura final inferior à inicial. O corpo arrefece e perde, portanto, energia. Para onde foi essa energia?

Nada mais havendo no interior da cavidade, é evidente que a energia perdida pelo corpo aparecerá como radiação e, não podendo esta sair através das paredes (totalmente refletoras), então esta mesma radiação estará em equilíbrio térmico com o corpo que a originou.

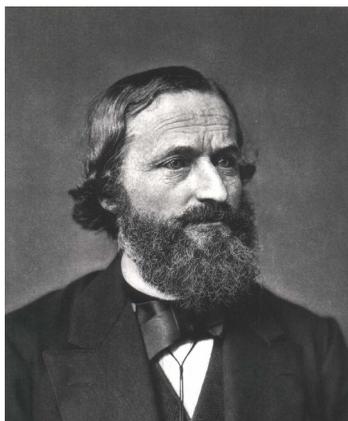


FIGURA 1. Gustav Robert Kirchhoff (1824-1887) (fonte: Wikipedia).

Como se caracteriza esta radiação? Kirchhoff introduziu vários conceitos fundamentais que auxiliam esta caracterização – o leitor notará que, em 1860, ainda não se sabia que o campo de radiação é um campo electromagnético. Só em 1864, James Clerk Maxwell estabelecerá as equações básicas deste campo, que levam o seu nome, e só no ano seguinte mostraria que a luz é radiação electromagnética. Estas observações servem para melhor apreciarmos a intuição física de Kirchhoff – os conceitos que introduziu viriam a receber uma interpretação electromagnética precisa, mas a sua utilidade e generalidade permanecem válidas. A este facto não será estranho que Kirchhoff se tenha socorrido sistematicamente da Termodinâmica a qual, em 1860, estava, praticamente, formulada na sua forma atual.

Voltemos ao nosso sistema constituído pelo corpo e pela radiação em equilíbrio térmico. Admitamos que o corpo é homogéneo e isotrópico (não distingue direções); assim, é de esperar que também a radiação seja isotrópica. Kirchhoff vai caracterizar o estado da radiação – ele considera, em analogia com o que já se sabia para a luz visível, que a radiação é constituída por ondas (não se sabia, ainda, de quê!) com várias frequências (ν), que se propagam com a velocidade da luz no vázuo (c). Introduce, então, um conceito fundamental – a *intensidade espectral* (I_ν), i.e., $I_\nu d\nu$ é a energia que, na unidade de tempo, atravessa a unidade de área (colocada perpendicularmente à propagação da radiação) e transportada por ondas de frequências no intervalo $[\nu, \nu + d\nu]$. Em termos simples, é a intensidade de um raio luminoso com uma dada cor.

O equilíbrio térmico do sistema vai ter uma consequência importante: não podendo haver qualquer transporte de energia e comportando-se, no vácuo, as radiações de frequências diferentes de forma independente, então I_ν não pode depender nem da direção de propagação (isotropia) nem do ponto, no vácuo, onde é definida (homogeneidade). Consideremos, agora, um elemento de área na superfície do corpo: que se passa, neste elemento,

durante um curto intervalo de tempo? Seguramente, há incidência de radiação, a qual é parcialmente refletida e parcialmente absorvida. Designando por a_ν a fração de energia absorvida, então $a_\nu I_\nu d\nu$ é a energia absorvida pela unidade de área, na unidade de tempo, para radiações com frequências no intervalo atrás definido. A quantidade a_ν , designada por absorvidade (ou poder absorvente) da superfície, depende da natureza do corpo e da forma e tipo de superfície – mas, por definição, é sempre um número entre 0 e 1.

Mas a superfície também radia e definimos o seu poder emissivo (p_ν): $p_\nu d\nu$ é a energia emitida por unidade de área e por unidade de tempo, transportada pelas radiações com frequência no intervalo referido. No equilíbrio, cada elemento de área absorve, por segundo, tanta energia quanto a que emite, pelo que:

$$a_\nu I_\nu d\nu = p_\nu d\nu \rightarrow I_\nu = \frac{p_\nu}{a_\nu}$$

Esta é a *lei de Kirchhoff* e é tal a sua importância que vale a pena analisarmos um pouco melhor alguns detalhes mais relevantes.

Em primeiro lugar, o leitor sabe que a absorção de radiação não é um fenómeno de superfície – ela ocorre em todo o volume atravessado pelo feixe de radiação. Mas se o corpo for suficientemente extenso, essa radiação acaba por ser toda absorvida no seu interior. Assim, para corpos extensos, podemos atribuir a absorção – que se dá em volume – à superfície, onde penetra a radiação. Esta análise mostra-nos, também, que não temos de nos preocupar com uma possível fração da energia incidente que, não sendo absorvida nem refletida, tivesse atravessado o corpo e saído pela superfície oposta. Para corpos absorventes suficientemente extensos, esta energia transmitida através do corpo é nula – toda é absorvida. O corpo é opaco!

Em segundo lugar, o leitor poderá interrogar-se sobre o que acontece com um meio transparente (pelo menos, numa certa gama de frequências da radiação). Se é transparente, então $a_\nu = 0$. Tem sentido a lei de Kirchhoff? Ela diz-nos que, neste caso, deverá ser $p_\nu = 0$, isto é, um corpo que não absorve uma dada radiação, também não a emite – dito de outro modo, só absorve o que pode emitir, o que traduz bem a observação experimental de Kirchhoff atrás referida.

Em terceiro lugar, e de forma análoga à absorção, também a emissão de energia ocorre em qualquer parte do corpo. Parte desta energia é absorvida pelo próprio corpo e, da que chega à superfície, parte é refletida para o interior. Mas se estivermos interessados, apenas, na parcela que sai para o exterior, então podemos definir, como o fizemos, a emissão como uma propriedade da superfície. Afinal é esta que é “visível”!

Uma última conclusão importante é obtida, agora, considerando vários corpos diferentes em equilíbrio com a radiação. Apesar de cada corpo apresentar um poder emissivo e uma absorvidade que dependem da sua natureza e, até, da forma e tipo da sua superfície,

a razão $\frac{p_\nu}{a_\nu}$ é sempre a mesma, pois caracteriza a intensidade da radiação no vazio. Assim, I_ν é independente da natureza dos corpos que produzem a radiação. Existindo equilíbrio térmico, então I_ν só pode depender, para além da frequência, da temperatura do sistema. Daí o desafio proposto por Kirchhoff em 1860 – qual a forma da função $I_\nu(T)$?

A intensidade espectral no vazio, $I_\nu(T)$, é independente da natureza ou forma do corpo que a produziu. A lei de Kirchhoff apenas exige que tal corpo absorva a radiação, para a poder emitir. O corpo é, assim, um catalisador que, por absorção e emissão, redistribui a energia das diferentes radiações que, no vazio, se comportam independentemente umas das outras. Atingido o equilíbrio térmico, essa distribuição de energia fica estacionária e o corpo pode, mesmo, ser removido, se se desejar. Deste modo, somos livres de escolher o corpo que mais facilmente nos permita calcular a intensidade espectral. Imaginemos, então, um corpo tal que $a_\nu = 1$ para todas as frequências. Tal corpo absorve completamente toda e qualquer radiação que nele incida. No equilíbrio térmico, esse mesmo corpo emite exatamente a mesma energia que absorve – assim o exige a lei de Kirchhoff. A um tal corpo damos o nome de corpo negro (Kirchhoff, 1860), designação infeliz pela seguinte razão. Considere-se um outro corpo com absorvidade $a_\nu < 1$, em equilíbrio térmico com o corpo negro. O campo de radiação que se estabelece é caracterizado pela intensidade espectral I_ν (no vazio) – ora a lei de Kirchhoff, aplicada aos dois corpos, mostra que o corpo negro emite mais energia radiante que este segundo corpo. Isto é, de todos os corpos à mesma temperatura, o corpo negro é aquele que mais radiação emite. O corpo negro é o mais brilhante de todos os corpos, a uma dada temperatura. Porque se designa, então, por corpo negro? Porque à temperatura ambiente ($T = 300K$), a maior parte dessa radiação situa-se, como veremos, no infravermelho – tal corpo aparecer-nos-ia como negro. Mas existe um corpo negro? Como o podemos construir? Uma última intervenção de Kirchhoff: *“Dado um espaço rodeado por corpos a igual temperatura, através dos quais nenhuma radiação pode penetrar, então qualquer feixe de radiação neste espaço (Hohlraumstrahlung) é constituído, no que respeita à sua qualidade e intensidade, como se se originasse num corpo perfeitamente negro à mesma temperatura”*.

A resposta final à questão colocada por Kirchhoff só seria encontrada quarenta anos depois, um período de tempo durante o qual grandes progressos foram obtidos, mas que acabavam por esbarrar em dificuldades intransponíveis para a Física Clássica.

O lítio e a bateria de ião-Li

Maria Helena Braga

INEGI/ Universidade do Porto

O lítio está a proporcionar uma nova revolução: a eletrificação do planeta. A bateria de ião-Li é a grande protagonista desta mudança de paradigma, uma vez que lhe está associada uma elevada densidade de potência e energia e, com isso, uma maior autonomia para o mesmo volume. Quase todas as marcas de automóveis usam baterias de ião-Li com um cátodo muito semelhante; isto apesar de toda a investigação que tem vindo a ser desenvolvida desde os anos 80 até os dias de hoje. Qual será o futuro das baterias de ião-Li? Quão longe estão do limite teórico da energia que podem armazenar? É necessário perceber os conceitos que unem as baterias a outros dispositivos de recolha e armazenamento de energia para procurar alternativas realmente disruptivas. O lítio, chegou para ficar... As baterias de ião-Li talvez não...



FIGURA 1. Salina de lítio no Deserto do Atacama, Chile, 2018 (ao fundo, os Andes).

Talvez a mais importante aplicação atual do lítio seja em baterias de íão-Li, mas o lítio também se utiliza na indústria vidreira, em lubrificantes, purificação do ar e até fármacos, por exemplo, para tratar a doença bipolar.

As baterias de íão-Li

As baterias de íão-lítio foram inventadas na década de 1980. Em 2019, John B. Goodenough, Stanley Whittingham e Akira Yoshino receberam o prémio Nobel da Química pelo seu trabalho no desenvolvimento das baterias de íão-Li (FIGURA 2).

Uma bateria é composta por células iguais associadas em série (aumentando a diferença de potencial da bateria) e/ou paralelo (aumentando a capacidade ou carga total da bateria Q , diminuindo a sua resistência interna R_i e, portanto, aumentando a corrente elétrica de saída I).

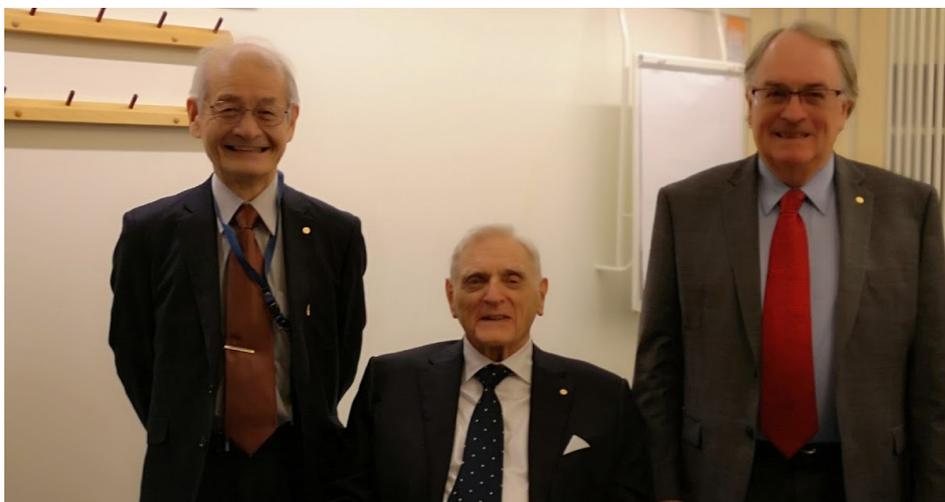


FIGURA 2. Prémio Nobel da Química 2019 (dezembro 2019, Estocolmo, Suécia). Yoshino, Goodenough e Whittingham (da esquerda para a direita).

A partir de agora, para simplificação, denominaremos por bateria uma célula formada por dois eletrodos (negativo e positivo) e um eletrólito que os separa sem que se produza qualquer curto-circuito.

Uma célula de uma bateria de íão-Li, que contém um eletrólito líquido ou um gel, deve também conter um separador para evitar o contacto entre os eletrodos (evitando o curto-circuito) e dois bons condutores elétricos funcionando como coletores de corrente onde são previamente depositados os materiais ativos que constituem os eletrodos. Nenhum deles será representado nos esquemas das figuras seguintes. Habitualmente, os eletrodos contêm também carbono (por exemplo, carbono negro amorfo) para promover a condução elétrica entre os coletores e os materiais ativos; e polímeros que fazem o contacto elec-

trostático entre todos os materiais que constituem os eléctrodos e o eletrólito, tal como o fluoreto de polivinilideno (PVDF – sigla em inglês). O eletrólito líquido pode encontrar-se em qualquer parte da célula e deve impregnar bem os eléctrodos.

Os materiais ativos dos eléctrodos reagem com o lítio para formar fases litiadas. Essas reações são reversíveis. As baterias recarregáveis (secundárias) baseiam-se nesta reversibilidade das reações eletroquímicas que permitem carregar e descarregar a bateria durante vários ciclos. Dependendo do eléctrodo negativo é possível obter até um número máximo de 20.000 ciclos de carga/descarga; por exemplo usando $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ (LTO), obtém-se esse número de ciclos à custa da diminuição da diferença de potencial nos terminais da bateria durante a descarga e do aumento do custo do kWh.

As baterias de ião-lítio são fabricadas descarregadas; ou seja, o cátodo já se encontra litiado quando a bateria é fabricada porque a fase litiada é a fase estável. O cátodo é litiado durante a descarga o que significa que para usar a bateria de ião-lítio é necessário carregá-la. É indispensável fornecer o trabalho suficiente para ultrapassar a resistência ao movimento de cargas eléctricas e iónicas durante a carga e para ultrapassar a diferença de potencial ϵ (V),

$$\epsilon = \frac{\mu_A - \mu_C}{e} \quad (1)$$

onde μ_A é o potencial químico do eléctrodo negativo em eV (potencial absoluto do ânodo), μ_C é o potencial químico do eléctrodo positivo em eV (potencial químico do cátodo) e e é a carga do electrão.

Durante a descarga a reacção é espontânea, ou seja, o circuito recebe energia a partir da descarga da bateria (a bateria é uma fonte de energia). É a necessidade espontânea de igualar os potenciais químicos dos eléctrodos, ou seja de fazer $\epsilon = 0$, que faz com que o sistema descarregue espontaneamente, como se os eléctrodos fossem “vasos comunicantes” com fluido a diferentes alturas (“potenciais químicos”) que se pusessem em contacto fazendo que os mesmos fluíssem espontaneamente até que o nivelamento fosse atingido (FIGURA 3), até que as pressões fossem igualadas (“ $\epsilon = 0$ ”).

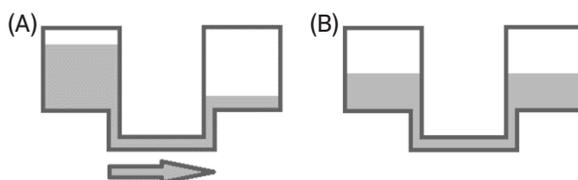


FIGURA 3. Vasos comunicantes contendo um fluido em analogia com o processo de descarga da bateria até que a força eletromotriz, ϵ , atinja o valor zero. A) imediatamente após serem postos em contacto. B) depois de atingido o equilíbrio.

O trabalho conservativo, ΔW , é igual à energia potencial, ΔU ,

$$\Delta W = \Delta U = \int \epsilon dq \quad (2)$$

ϵ é o potencial da célula (antigamente designado por força eletromotriz e q é a carga transportada. ϵ não é uma força, é uma energia potencial por unidade de carga; mas é uma diferença de potencial diferente de zero $\epsilon \neq 0$ que desencadeia a descarga da bateria, como mencionado acima.

No entanto, uma bateria não é um sistema ideal. Ela própria gasta parte da energia que produz a fazer com que os iões se movam numa dada direção no eletrólito, que os eletrões se movam nos eletrodos até às superfícies ativas, ou mesmo em perdas, porque os eletrões têm uma probabilidade diferente de zero de ultrapassar barreiras energéticas quânticas até ao eletrólito. O gasto total que a bateria tem com o seu próprio funcionamento traduz-se na associação de uma resistência elétrica R_i em série com a bateria ideal no circuito externo, de modo a que $V \neq \epsilon$ é a diferença de potencial nos terminais da bateria, $I = dq/dt$ é a corrente elétrica no circuito externo (alimentado pela bateria) e t é o tempo,

$$V = \epsilon - R_i I \quad (3)$$

Por convenção, a corrente tem o sentido contrário ao sentido dos eletrões no circuito. A resistência interna é, como mencionado anteriormente, a resistência ao movimento dos iões e eletrões no interior da bateria e é essencialmente devida aos iões que se movem relativamente lentamente no eletrólito. Em circuito aberto $V = \epsilon$ e em curto circuito $V = 0 \Rightarrow I_{CC} = \frac{\epsilon}{R_i}$.

A potência útil P disponível pela bateria é igual à potência total $P_t = \epsilon I$ menos a potência dissipada na resistência interna $P_d = R_i I^2$.

$$P = \epsilon I - R_i I^2 \quad (4)$$

Dentro da bateria de ião-lítio, os catiões Li^+ movem-se do eletrodo negativo para o eletrodo positivo durante a descarga. Tal sentido do movimento, aparentemente, deveria significar que os catiões se movem em oposição ao campo elétrico no interior da bateria uma vez que o campo elétrico aponta no sentido dos potenciais decrescentes, para dentro das cargas negativas e para fora das positivas que se encontram acumuladas à superfície do eletrodo negativo e positivo no início da descarga. *E como o poderíamos conciliar o facto de a descarga ser espontânea?* A maior parte dos esquemas simples que representam como funciona uma célula de uma bateria durante a descarga não esclarecem.

Recursos naturais de lítio

António Mateus

DG/ IDL/ Universidade de Lisboa

O consumo mundial de lítio aumentou bastante na última década, crescendo $\approx 9,5\%$ /ano (valores médios) desde 2013. Este crescimento deve-se sobretudo ao extraordinário desenvolvimento do sector das baterias cuja expansão anual entre 10% a 15% tem garantido subidas consideráveis de quota no mercado internacional do lítio; em 2016, o fabrico de baterias de iões de lítio (LIB) usou $\approx 35\%$ do lítio transacionado, ultrapassando pela primeira vez a quantidade canalizada para os sectores da cerâmica e vidro (33%). Em menos de três décadas, as LIB passaram a dominar o mercado mundial de baterias recarregáveis; gradualmente, a China tornou-se o maior produtor mundial de LIB, assegurando 63,7 GWh em 2016 (mais de 50% do valor global gerado).

O total de LIB hoje produzido é manifestamente insuficiente para assegurar as necessidades antecipadas para a evolução do sector eletroprodutor e eletrificação rápida do sector automóvel. A União Europeia (UE), no âmbito da estratégia recentemente lançada *European Battery Alliance*, pretende, entre outros objetivos, aumentar rapidamente a produção europeia de LIB, tornando-a competitiva e passando de 20 GWh (2018) para valores em torno de 143 GWh em 2023 e 304 GWh em 2028. Neste sentido, a produção europeia de lítio (dos concentrados minerais aos produtos litíferos transformados) terá de aumentar significativamente, para além de assegurar o cumprimento de numerosas variáveis relacionadas com a tecnologia LIB (da manufactura à reciclagem). O ponto de partida não é, contudo, o melhor: de entre os grandes agrupamentos territoriais que formam a “geografia do lítio”, a UE continua a figurar como o único “importador líquido”, contrastando com a auto-suficiência das regiões norte-americana, australiana e asiática.

A produção de lítio centra-se exclusivamente em duas tipologias de depósitos naturais: (i) salmouras continentais associadas a salares e (ii) pegmatitos. Como exemplos paradigmáticos do primeiro tipo figuram os vários conjuntos de salares que se distribuem na região de Atacama, suportando várias explorações no Chile e Argentina, bem como os salares que

ocorrem na região de Qaidam (China), nomeadamente os lagos salgados de Zabuye. O segundo tipo inclui os depósitos gigantes de Greenbushes (Austrália) e Manono-Kitolo (R.D. Congo), embora numerosos outros campos pegmatíticos de menor dimensão, com idade e distribuição geográfica diversa, pudessem ser referidos, incluindo os que ocorrem em território português. Nas salmouras associadas a salares, os vários compostos de lítio correspondem a sais obtidos por evaporação de fluidos aquosos hipersalinos naturalmente acumulados ou artificialmente produzidos via injeção e subsequente captação de águas que, durante o escoamento induzido, interagem com um substrato salino. Nos campos pegmatíticos exploram-se diferentes fases minerais, destacando-se alguns silicatos (como a espodumena, petalite e lepidolite) e fosfatos (nomeadamente, mas não exclusivamente, a ambligonite).

Nos últimos cinco anos o conhecimento disponível sobre recursos globais de lítio aumentou de forma evidente graças a grandes investimentos realizados em prospeção mineral. O total de recursos hoje estimado pelo *United States Geological Services* (USGS) ascende a ≈ 62 Mt, mas as reservas mantêm-se em torno de 15 Mt. Os dados disponíveis revelam ainda que: (i) $\frac{3}{4}$ das reservas remanescentes recuperáveis a curto-médio prazo se confinam a pouco mais de 10 grandes depósitos; (ii) 91% das reservas globais conhecidas com elevado nível de segurança se localizam no Chile, Argentina e Austrália; e que (iii) o Chile e a Austrália são responsáveis por mais de 70% da produção mundial de concentrados minerais de lítio, tendo assegurado 67 kt do total produzido em 2018 (84,7 kt). A China é também um *player* incontornável neste mercado. Daqui se retira que a produção mundial de lítio está muito estribada em termos geográficos, dependendo ainda em demasia da cadência de exploração de um número circunscrito de depósitos, não obstante a ampla distribuição geográfica de muitos dos recursos conhecidos, nomeadamente os do tipo pegmatito.

O crescimento gradual da produção australiana explica o facto dos concentrados minerais registarem nos últimos anos clara preponderância sobre os produtos obtidos via exploração de salares. Esta primazia acontece pela primeira vez em 2004 e acentua-se de forma evidente desde esse ano. Tal não é alheio à subida dos preços do lítio (permitindo, suportar maiores custos de produção), nem à procura crescente deste elemento, nem tão pouco à introdução de progressos tecnológicos capazes de garantir maior eficiência (e menor custo) dos processos de tratamento e beneficiação dos concentrados de alguns silicatos.

Mantendo-se as taxas de esgotamento anual dos recursos remanescentes registadas nos últimos cinco anos, os picos de exploração serão atingidos a breve trecho (FIGURA 1), podendo comprometer muitas das linhas de desenvolvimento tecnológico imaginadas para o futuro, em particular no que respeita à mobilidade elétrica; a este propósito importa sublinhar que, no presente, menos de 1% do lítio é reciclável e que a reciclagem das LIB é incipiente.

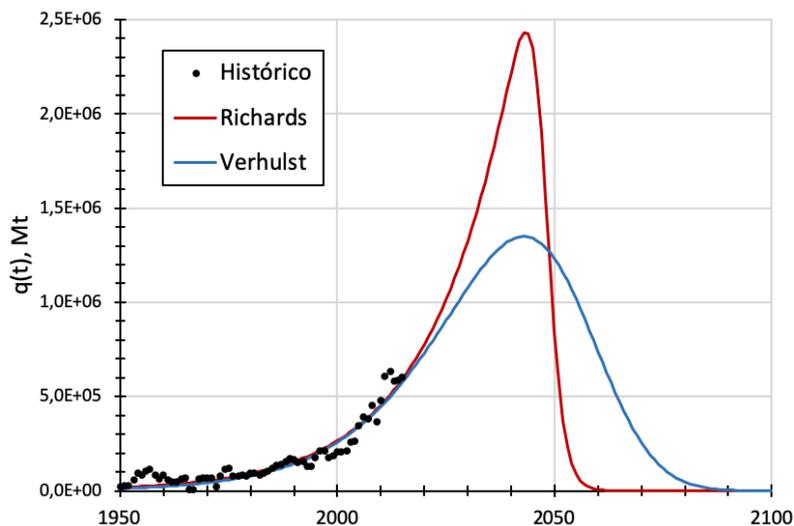


FIGURA 1. Evolução da produção anual de minérios de lítio [$q(t)$ em milhões de toneladas] tomando como referência os “recursos totais recuperáveis” (URR) = 53 Mt e as funções matemáticas que descrevem o usufruto de recursos finitos (modelos gerais de Richards e de Verhulst). O ajustamento dos valores históricos de produção (anual e cumulativa) às funções teóricas considerou as soluções produzidas pelo método dos mínimos quadrados.

Pelas razões acima expressas de forma sumária, a “corrida ao lítio” tem vindo a ganhar expressão crescente, sustentando investimentos significativos em prospeção e pesquisa mineral no sentido de melhor caracterizar os recursos existentes e aumentar as reservas globais. Esta é também a razão que explica o recrudescimento dos trabalhos de prospeção no território nacional.

Portugal é um dos maiores produtores de lítio à escala mundial e o único que à escala da UE mantém produção ativa e com imenso potencial para crescer. Contudo, a meritória posição de Portugal no *ranking* de produtores mundiais mais do que refletir conhecimento sistemático dos recursos litíferos nacionais, traduz apenas o que tem sido extraído de alguns campos pegmatíticos para abastecer o sector das cerâmicas (e vidro?) em função das solicitações de mercado. Muito há por fazer, designadamente no que diz respeito à delimitação tridimensional dos principais sistemas pegmatíticos reconhecidos em afloramento e, assim, à demonstração da continuidade de tonelagem e de teor necessária para justificar os estudos de viabilidade que determinarão o cálculo de reservas. Ainda assim, dados oficiais de 2018 indicam valores de 306 kt Li para o conjunto dos recursos reconhecidos em Portugal, embora as reservas não excedam 53 kt Li.

Parte significativa dos recursos pegmatíticos nacionais com interesse litífero inclui lepidolite como principal fase portadora e, nas últimas décadas, foram estes os que alimentaram o essencial da produção realizada sobretudo na região de Gonçalo-Seixo

Amarelo. Outros sistemas pegmatíticos (e.g. Serra de Arga e Barroso-Alvão) incluem quantidades consideráveis de espodumena (\pm petalite), sendo por isso mais apelativos em termos económicos mercê do conhecimento tecnológico existente sobre o tratamento e beneficiação desta matéria-prima mineral visando a produção de carbonato ou hidróxido de lítio após separação e processamento químico. Existem ainda vários exemplos de sistemas pegmatíticos (e.g. Argemela, Segura) em que as fases litínicas abundantes integram a série ambligonite-montebrasite cuja caracterização detalhada deve igualmente ser realizada no sentido de averiguar a viabilidade da sua exploração e subsequente beneficiação.

Os resultados experimentais obtidos até ao momento indicam que boa parte dos minérios de lítio portugueses são passíveis de valorização tecnológica através da aplicação simples ou combinada de processos de separação recorrendo a meios densos, separadores óticos e flutuação por espumas. A seleção adequada dos processos de cominuição e separação, necessariamente precedida por caracterização petrográfica e mineralógica detalhada, permitirá ainda garantir níveis de eficiência elevados com consumos parcimoniosos de água e energia. Adicionalmente, a implementação de medidas complementares, tornará possível aproveitar elevado número de coprodutos ou subprodutos, reduzindo os volumes de resíduos.

A confirmação do aumento expectável de recursos e subsequente delimitação e exploração de reservas em Portugal contribuirá para reduções significativas das importações de lítio por parte da UE, as quais se cifram em pelo menos 87% do seu consumo anual. Adicionalmente, outras linhas de investimento/desenvolvimento poderão ser equacionadas a curto-médio e longo prazo para o País, concorrendo para a subida na cadeia de valor mineral (e.g. produção de hidróxido ou carbonato de lítio), promoção de novas oportunidades industriais competitivas (e.g. dedicadas à produção de baterias LIB, ainda muito limitada na UE) e articulação direta com outros sectores económicos relevantes para o PIB nacional (como sejam os da energia, automóvel, cerâmica e vidro). O esquema da FIGURA 2 ilustra de forma simples a visão geral subjacente à construção desta cadeia de valor, a qual pode (e deve) ser implementada (e monitorizada) em sucessivas etapas.

A subida na cadeia de valor mineral, gerando maior riqueza e emprego qualificado, configura um passo importante para o desenlace de diversas transformações em cascata que acabam por ser decisivas à: (i) consolidação da mobilidade elétrica; (ii) gestão sustentável da energia gerada via eólica ou fotovoltaica (em meio residencial ou em rede); (iii) generalização da sociedade digital; (iv) promoção de estímulos para o incremento da reciclagem/reutilização de produtos contendo lítio ou seus derivados, reduzindo a pressão sobre os recursos primários.

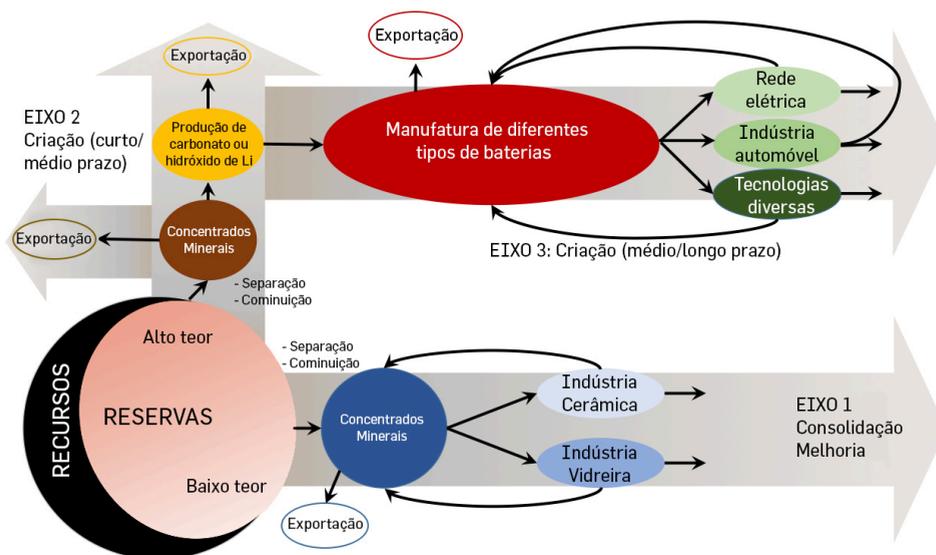


FIGURA 2. Representação esquemática dos fluxos materiais que poderiam suportar uma cadeia de valor global para os minérios de lítio portugueses e LIB, consolidando três eixos complementares de desenvolvimento implementáveis em diferentes escalas de tempo. O valor limite usado na separação de minérios de alto e baixo teor depende de vários fatores de mercado e das soluções tecnológicas disponíveis para a valorização rentável dos concentrados minerais explorados; presentemente, para sistemas pegmatíticos, reservas com teores de Li_2O acima de 1 wt% são consideradas de alto teor, em particular se ricas em espodumena (\pm petalite).

Importa, porém, não esquecer que na base de todas estas transformações está, e continuará a estar por muito tempo, a prospeção e pesquisa mineral cujas atividades devem ser estimuladas e, sobretudo, integradas numa visão de desenvolvimento estratégico para a indústria mineira em Portugal que abarque outras matérias-primas minerais para além das litíferas.

O lítio, um metal para o futuro de Portugal?

Alexandre Lima

DGAOT/ Universidade do Porto

O ser humano sempre aproveitou recursos que estavam ao seu alcance para melhorar as suas condições de vida. Na altura em que era coletor e por isso nómada, foi alterando a paisagem de uma forma muito leve e até impercetível. Mas já nessa altura começou a utilizar ferramentas produzidas a partir de recursos geológicos, sendo a mais famosa a utilização do sílex. Nessa altura, o homem começa a alterar o seu meio-ambiente.

Na evolução da humanidade há um salto tecnológico quando percebe que pode utilizar os metais em seu benefício. A utilização do cobre, a partir da metalurgia de vários minerais, quer em adornos, quer em ferramentas, passa a ser generalizado, por exemplo, na Europa. Em Portugal, certamente começou no sul do País, há mais de 5000 anos. E ainda nos dias de hoje, as minas de Neves-Corvo e Aljustrel são um forte alicerce do desenvolvimento do Alentejo, mas também de todo o país. As minas de Aljustrel (que tiveram exploração a céu aberto e agora é subterrânea há muitos anos) tiveram um forte desenvolvimento durante a Época Romana, e desde essa altura até ao século XX, a sua exploração não seguia regras ambientais, pois não havia legislação nem preocupações ambientais que a isso a obrigassem. Já o exemplo das Minas de Neves-Corvo, que abriu no final da década de 80 do século passado, quando Portugal já pertencia à União Europeia (e por isso sujeita às suas regras ambientais) é um exemplo mundial de respeito pela Natureza.

A Idade do Bronze fica marcada por mais um salto no conhecimento quando o Homem, na sua incansável procura de melhores condições de vida, se apercebe que há uma liga natural, que dá maior dureza aos seus utensílios de metal. A dureza do bronze relativamente ao cobre, resulta da mistura com outro metal, o estanho. O estanho é um metal que abunda no Norte e Centro de Portugal, e foi explorado desde a pré-história. Estão atualmente a

ser desenvolvidos trabalhos de investigação sobre a sua utilização nos castros, que tanto caracterizam o nosso Noroeste Peninsular. Terão começado com a exploração dos depósitos de cassiterite nos rios, mas terá sido mais uma vez o forte desenvolvimento trazido pela civilização Romana, que terá levado à procura deste recurso geológico na sua fonte primária. Uma dessas fontes, eram os pegmatitos. Estes são rochas parecidas, mas distintas dos granitos, que podem ter vários tipos de metais, incluindo elementos raros como, por exemplo, o estanho, o tântalo e o lítio. Têm uma riqueza em elementos raros, que ainda hoje causa curiosidade aos geólogos, de onde virá esta concentração de metais: fusão parcial de metassedimentos, diferenciação de granitos, ou até mesmo metassomatismo?

Já no século passado foram fonte de desenvolvimento das zonas interiores de Portugal, da qual se destaca a zona do Barroso. Até aos anos 60 do século passado, principalmente durante a primeira e segunda guerras mundiais, foram fonte de sustento nesta região e conviveram com as outras atividades humanas, como a agricultura e a pecuária de uma forma complementar, ajudando a que esta região fosse sustentável do ponto de vista territorial e humano. Nos trabalhos de campo, que faço na região há mais de um quarto de século, são inúmeras as histórias de homens e mulheres que viveram nesta terra graças ao sustento complementar dado pelas minas. Quando o minério deixou de ter valor, tiveram que emigrar, e alguns ficaram pelo estrangeiro e não mais voltaram, por não haver condições boas na região para pessoas idosas viverem, com as condições que usufruem nos países estrangeiros de acolhimento.



FIGURA 1. Aspeto de pegmatito com petalite, mineral de lítio, que ocorre em Portugal.

Atualmente em Portugal já existem explorações de pegmatitos com lítio para a indústria cerâmica e vidreira, em filões onde minerais de lítio como a montebrasite, lepidolite, espodumena e a petalite (FIGURA 1) são dominantes. A montebrasite/amblygonite é um fosfato de lítio, que, para além deste metal, poderá ser uma interessante fonte de fósforo, para os fertilizantes, de que a Europa é fortemente deficitária e claramente dependente do exterior. A lepidolite/zinwaldite é uma mica de lítio, que, por muitas vezes ter uma cor rosa/violácea característica em Portugal pode ser separada por separadores ópticos, que nem sequer recorrem ao uso de produtos químicos para a sua separação.

A petalite é um feldspatoide de lítio, em que Portugal é muito rico, e que tem felizmente contribuído para que as indústrias cerâmicas e vidreiras de Portugal, que têm tanta importância para o País, possam resistir ao preço da energia, que é muito mais caro que nos países vizinhos. Efetivamente, é pela presença de petalite em pegmatitos que dá um bom teor em lítio e baixo teor em ferro, que as pastas cerâmicas e vidreiras podem ser produzidas com mais baixo ponto de fusão, levando a uma elevada poupança de energia, tornando as nossas empresas competitivas,

Apesar de haver reservas significativas dentro das concessões mineiras já atribuídas, é necessário realizar trabalhos de prospeção em áreas de todas as regiões referidas, como atualmente está a acontecer por todo o mundo, com campanhas de sondagens extensas já a decorrer.

De facto, na atualidade do mercado mundial, apesar das principais fontes de lítio serem salmouras litíferas, a espodumena é um minério de lítio nomeadamente na China, Austrália e Brasil e voltará a ser muito proximamente nos EUA, Canadá e Rússia. Na Europa (a UE, em Julho de 2010, preocupada com a dependência externa das suas indústrias em termos de matérias-primas, publicou o estudo *Critical raw materials for the EU*, onde o lítio está largamente referido), está prevista entrar proximamente em laboração na Finlândia a primeira mina de lítio para a obtenção de compostos para baterias a partir da espodumena. Refira-se que os teores de lítio e as reservas são equivalentes às já identificadas em Portugal na região do Barroso-Alvão, pelo que no nosso país se deve também estudar e fomentar a utilização das suas melhores reservas na obtenção deste componente para as baterias.

Esta indústria mineira, para além de ser praticamente não poluente quando comparada com a indústria mineira do passado em Portugal, terá a característica de ser limitada no espaço físico e temporal, sendo associada a uma indústria transformadora do lítio a desenvolver nas mesmas regiões do interior (das mais pobres do país e da Europa). Poderá até ser considerada como uma das soluções para ajudar a diminuir a desertificação populacional e o empobrecimento económico nestas regiões.

Será que Portugal se pode dar ao luxo de perder esta oportunidade?

O lítio na bioquímica e terapêutica

Agostinho A. Almeida

LAQV/ REQUIMTE/ Universidade do Porto

O lítio, o mais leve metal alcalino, encontra-se amplamente presente na Natureza. No organismo humano encontra-se normalmente em níveis vestigiais (ppb) e, embora este seja um tópico controverso, não é habitualmente considerado um elemento “essencial”. Por outro lado, porém, é um importante fármaco, sendo os seus sais utilizados no tratamento da doença bipolar, depressão nervosa e manias. Neste artigo vamos então centrar-nos nessas duas vertentes principais: o papel do lítio na bioquímica humana, revendo as evidências contra e a favor da sua eventual “essencialidade” ou potenciais efeitos benéficos para o organismo humano; e a sua atual utilização terapêutica, resumindo o percurso histórico dessa utilização.

O elemento

O lítio (Li) é um metal (grupo dos metais alcalinos), dúctil, de cor prateada, com uma densidade (massa volúmica) aproximadamente metade da da água. O seu nome deriva da palavra grega *lithos*, que significa pedra.

É o elemento metálico mais leve, com número atómico 3 (três prótons no núcleo). Tem dois isótopos naturais estáveis, ${}^6\text{Li}$ (com 3 neutrões) e ${}^7\text{Li}$ (4 neutrões), com abundâncias naturais de 7,6% e 92%, respetivamente, de onde resulta uma massa atómica relativa (ponderada) de 6,94 u (unidade de massa atómica).

Como metal alcalino que é, o Li (configuração eletrónica: $[\text{He}] 2s$) tende a perder o seu único eletrão da segunda orbital atómica, ocorrendo naturalmente em solução aquosa (incluindo nos compartimentos intra- e extracelular dos tecidos e nos fluídos biológicos humanos) como ião positivo (catião) monovalente, Li^+ .

Importa notar que o catião Li^+ é muito pequeno e, portanto, possui uma relação carga/

raio iônico excepcionalmente elevada, o que lhe confere propriedades consideravelmente diferentes das dos íons sódio (Na^+) e potássio (K^+). Por outro lado, quando hidratado, o seu raio iônico (o efetivo tamanho do íon em solução aquosa) é muito maior que o daqueles outros catiões, pelo que, entre outras diferenças, apresenta uma menor mobilidade em solução.

Bioquímica

O Li tem demonstrado possuir um amplo espectro de efeitos bioquímicos nos humanos. No entanto a grande maioria desses efeitos têm sido observados com as concentrações plasmáticas atingidas após a sua administração para fins terapêuticos (nomeadamente o tratamento da doença bipolar) – ou seja, concentrações plasmáticas na ordem dos mg/L (3,5-7 mg/L) – havendo dúvidas sobre a relevância dos mesmos para as concentrações plasmáticas de Li que resultam do simples aporte dietético normal (na ordem das dezenas de $\mu\text{g/L}$, apenas).

De qualquer modo, e embora não seja considerado um elemento fisiologicamente essencial (e portanto, também, um micronutriente essencial) – no sentido de que exista alguma função biológica chave que dele especificamente dependa, e que, conseqüentemente, sem o Li a sobrevivência fosse impossível – têm-lhe sido atribuídos alguns “efeitos benéficos”, mesmo nas baixas doses resultantes do aporte diário normal.

Utilização terapêutica - Doença bipolar

Apesar de todas essas evidências, o Li é sobretudo conhecido devido à sua utilização como agente terapêutico (fármaco) no tratamento de doenças psiquiátricas, especialmente no tratamento da chamada doença bipolar, antes conhecida por “psicose maníaco-depressiva”, que se caracteriza pela alternância de episódios de mania (hipomania, na forma mais leve) com períodos de humor deprimido. De facto, o Li apresenta propriedades psicoativas, tendo um efeito estabilizador do humor, pelo que continua a ser considerado o tratamento de primeira linha para esta doença, sendo especialmente eficaz a diminuir os episódios de mania. Em particular mostrou ser mais eficaz na diminuição da taxa de suicídio entre os doentes bipolares que os outros estabilizadores do humor ou antipsicóticos.

História

A utilização moderna do Li para fins terapêuticos remonta a meados do século XIX e pode considerar-se dividida em dois grandes períodos: a) até ao início dos anos 1940, em que o Li (sob a forma de carbonato) foi sobretudo usado no tratamento da gota e para dissolver cálculos urinários de uratos (sem grande sucesso, diga-se); e após 1949, em que se tornou evidente que o Li (carbonato) tinha efeitos benéficos nos doentes que sofriam da então designada

“psicose maníaco-depressiva”. Esta história encontra-se detalhadamente contada em diversos livros e artigos, e envolve um nome incontornável, o do psiquiatra australiano John Cade.

Mecanismo de ação

Como acontece com muitos outros fármacos, o mecanismo de ação do Li não é bem conhecido. Assume-se que deverão estar envolvidos diversos mecanismos e processos bioquímicos, destacando-se o facto de que, sendo um elemento com propriedades muito semelhantes às do Na, poderá substituí-lo na geração de potenciais de ação e em alguns processos de transporte deste elemento através das membranas, bem como atuando ao nível dos neurotransmissores (serotonina, noradrenalina, acetilcolina e dopamina), cínases (enzimas) cerebrais e fatores reguladores nucleares que afetam a expressão génica.

Importa referir que eficácia e segurança da utilização terapêutica do Li dependem grandemente da monitorização laboratorial. É recomendado que 4 a 7 dias após o início do tratamento seja feita a avaliação dos níveis séricos de Li. A colheita de sangue deve ser feita 12 ou 24 horas após a última toma de medicamento (imediatamente antes da próxima toma). Esta monitorização deve ser feita até se obterem níveis séricos estáveis. A partir de então pode-se espaçar a monitorização laboratorial, mas é recomendado repeti-la sempre a cada 2-3 meses.

Efeitos terapêuticos em estudo

Estudos mais recentes indicam, ainda, que o tratamento com Li poderá ter efeitos benéficos no desempenho cognitivo de indivíduos com doença de Alzheimer e com o chamado “défice cognitivo ligeiro”. Adicionalmente, por exemplo, tem sido estudado também o potencial do Li no tratamento da esclerose lateral amiotrófica, apesar de, neste caso, os resultados não se terem mostrado muito promissores.

Imunologia

Ana Espada de Sousa

IMM/ Universidade de Lisboa

ARTIGO

30

A Imunologia é a ciência que estuda o sistema imunitário (ou imunológico ou imune) na saúde e na doença. O sistema imunitário tem papéis muito variados desde o controlo de infeções e tumores, até à manutenção da homeostasia dos diferentes tecidos, particularmente daqueles que estão na interface com o mundo exterior. A sua regulação que é essencial para prevenir respostas contra o próprio (auto-ímmunes) e contra o meio ambiente (alérgicas), constituindo uma área importante de intervenção terapêutica em oncologia e transplantação.

Os múltiplos papéis do sistema imunitário

O sistema imunitário é essencial na resposta a infeções. Neste sentido, é paradigmático que um dos grandes sucessos da Medicina tenha sido o desenvolvimento de uma vacina capaz de induzir uma resposta imunológica protetora contra a Varíola que levou à erradicação desta infeção a nível mundial. O conhecimento da resposta imunológica é por isso determinante para o manejo e controlo das várias epidemias, de que são exemplos o HIV e a *Influenza*, e o mesmo se aplica à pandemia pelo SARS-CoV-2.

Mas a vigilância efetuada pelo sistema imunológico estende-se muito para além dos microorganismos patogénicos, sendo hoje, por exemplo, claro o seu contributo para a defesa contra tumores. Um dos principais avanços da oncologia na última década foi a manipulação terapêutica da resposta imunológica.

O sistema imunitário tem também um papel relevante na manutenção da integridade da pele e mucosas em interação com os microbiomas locais, bem como na patogénese por exemplo das lesões das paredes dos vasos que levam à aterosclerose.

Numa visão alargada, podemos, portanto, dizer que o sistema imunitário assegura a homeostasia dos tecidos conseguindo identificar os fatores de perigo e promover as respostas para a sua eliminação.

Nestes processos é muito importante que este reconhecimento seja adequado e que não sejam desenvolvidas respostas contra estruturas do próprio organismo. A quebra desta tolerância para com o próprio está na base das doenças autoimunes, como a Diabetes tipo 1, o Lupus Eritematoso Sistémico, a Artrite Reumatóide ou a Esclerose Múltipla.

O sistema imunitário deve ainda ser tolerante para com o ambiente em que o indivíduo está integrado de forma a não gerar respostas inapropriadas contra por exemplo alimentos, pólenes, etc, traduzindo-se no que chamamos de alergias.

É esta propriedade do sistema imunitário, a tolerância, que temos que manipular terapêuticamente para conseguirmos efetuar transplantes de órgãos e alguns tipos de implantes, que introduzem tecidos ou estruturas estranhas ao próprio no organismo.

Assim, as respostas imunológicas são processos altamente controlados e regulados para garantir um reconhecimento adequado do agente patogénico e a adequação da resposta gerada, quer no que respeita à sua qualidade quer à quantidade, para que esta seja bem-sucedida sem se associar a imunopatologia. Na verdade, em muitas infeções certas manifestações clínicas podem ser devidas a uma resposta imunológica desmesurada, como parece acontecer nalguns casos graves da COVID-19.

A imunologia estuda este sistema (TABELA 1) que é complexo mas fascinante na forma hierarquizada como se organiza e se auto-regula a todos os níveis desde o órgão, à célula e suas vias metabólicas, à proteína e ao gene, assegurando os múltiplos tipos de respostas efetoras apropriadas para qualquer possível agente patogénico e para manter a homeostasia.

TABELA 1. Os múltiplos papéis do sistema imunitário

| Propriedade | Manifestação na disfunção | Exemplos de intervenções terapêuticas |
|--|----------------------------|---|
| Reconhecimento e resposta contra microorganismos patogénicos | Infeções | Vacinas |
| Reconhecimento e resposta contra células neoplásticas | Tumores | Modulação dos <i>check-points</i> imunológicos |
| Tolerância para Antígenos do próprio | Doenças Auto-imunes | Imunossuppressores Manipulação para transplantação |
| Tolerância para "Antígenos ambientais" | Doença Alérgica | Dessensibilização para alérgenos |
| Resposta inflamatória | Doenças Auto-inflamatórias | Modulação das vias com anticorpos monoclonais |

Os principais protagonistas do sistema imunitário e a sua regulação

O sistema imunitário baseia-se num conjunto de populações celulares que comunicam entre si, quer por contacto celular através de recetores nas membranas, quer pela produção e libertação de fatores solúveis como as citocinas ou interleucinas (IL), que são proteínas com funções efetoras, ou as quimiocinas, que têm propriedades quimiotáticas, regulando através dum gradiente o tráfego das células que expressam o respetivo recetor. Muitas destas células têm ainda recetores para hormonas e para neurotransmissores assegurando a

integração do sistema imunitário com o sistema endócrino e com o sistema nervoso.

Genericamente o sistema imunitário pode ser dividido em sistema imune inato e adquirido. O sistema inato é o mais ancestral em termos evolutivos. Efetua o patrulhamento de todos os tecidos reconhecendo os invasores através de padrões comuns e promove uma resposta inflamatória local relevante para o controlo da agressão e para a reparação dos tecidos. Algumas das células da imunidade inata, nomeadamente os monócitos e as células dendríticas, são fagócitos, ou seja têm a capacidade de fagocitar os microorganismos patogénicos, processá-los e posteriormente efetuar a apresentação de péptidos identificadores destes agentes às células da imunidade adquirida. Estes péptidos são apresentados no contexto de moléculas de histocompatibilidade (HLA) expressas na membrana celular, que são específicas de cada indivíduo facilitando o reconhecimento do próprio e dos tecidos com outra origem. Os péptidos a que chamamos antigénios, são por sua vez reconhecidos por recetores específicos nas células T e B da imunidade adquirida.

Durante o seu desenvolvimento a partir de progenitores hematopoiéticos, as células T no timo e as células B na medula óssea, sofrem rearranjos do seu genoma de forma a gerar um recetor único específico para cada célula. A especificidade e diversidade do seu recetor expresso ao nível da membrana celular são características das células da imunidade adquirida. Estas células saem do timo e da medula óssea para o sangue num estado que dizemos *naïve*, ou seja, em que ainda não encontraram o antigénio para o qual são específicas e que as estimula através do seu recetor para se diferenciarem em células efetoras. As células *naïve* recirculam continuamente entre o sangue e os gânglios linfáticos, efetuando o patrulhamento das células apresentadoras de antigénio acima mencionadas.

Os gânglios linfáticos têm uma estrutura facilitadora da interação das células T *naïve* com as células apresentadoras de antigénio que migram dos tecidos através do sistema linfático e entram no gânglio linfático pela zona justa capsular. Durante esta migração as células dendríticas além de processarem os antigénios para serem apresentados, sofrem um processo de maturação com aumento da expressão de moléculas de co-estimulação que providenciam às células *naïve* um segundo sinal para garantir que a resposta ao antigénio (sinal 1) é na realidade adequada. Neste processo de maturação as células dendríticas adquirem também a capacidade de produção de citocinas que orientam a diferenciação das células T para o tipo de resposta efetora mais apropriada de acordo com o tipo de invasão.

As células T CD4, assim definidas por exprimirem a molécula CD4 à superfície que facilita a interação com moléculas de HLA de tipo 2, que são particularmente expressas pelas células dendríticas, são as mais habilitadas para reconhecerem o antigénio. O conjunto destes estímulos, antigénio (sinal 1) e moléculas de co-estimulação (sinal 2, geralmente CD80/CD86 nas células dendríticas que se ligam ao CD28 nas células T CD4), levam à ativação do recetor de células T (TCR) que sinaliza através da molécula CD3 que lhe está acoplada e induz uma proliferação clonal destas células de forma a amplificar a resposta imunológica.

A interação com as células dendríticas promove, portanto, a estimulação das células T CD4 e induz a sua proliferação e diferenciação em diferentes tipos de resposta efetora definidos pelo tipo de citocinas que produzem e recetores de quimiocinas que expressam à superfície. Desta forma, as células T CD4 adquirem a capacidade de promover a resposta das outras populações celulares orquestrando a resposta imunológica e por isso se chamam células T auxiliares (ou *helper*, Th). Neste sentido são muitas vezes sub-classificadas de acordo com o tipo de citocina que produzem maioritariamente e o tipo de resposta que lhes está associada, nomeadamente Th1 (interferão-gama), Th2 (IL-4, IL-5, IL-13), Th17 (IL-17), ou Th22 (IL-22). Além disso, de acordo com os recetores de quimiocinas que exprimem dirigem-se para as zonas dos gânglios linfáticos ou de outros tecidos onde têm um papel essencial na organização da resposta imunológica.

Estes mediadores químicos são por exemplo essenciais para induzirem a expansão clonal e diferenciação das células T CD8, definidas pela expressão à superfície da molécula CD8 que se liga moléculas de HLA tipo I. Estas células têm portanto a capacidade de reconhecer células infetadas e células tumorais através de péptidos/antígenos apresentados através de moléculas HLA tipo I, que são expressas por todas as células do organismo, e de induzir a morte das mesmas. Esta atividade citotóxica pode ser mediada por várias vias nomeadamente através de vias típicas de indução de apoptose como a do FAS/FASL, ou pela indução de poros na membrana da célula alvo utilizando moléculas como perforina ou granzimas.

As células T CD4 podem também migrar para os folículos linfóides dos gânglios linfáticos, áreas especialmente organizadas para a ativação de células B e a geração de centros germinativos onde as células B expandem e otimizam a qualidade do seu recetor específico. Este recetor pode ser expresso na membrana celular ou ser excretado constituindo o que chamamos imunoglobulina (Ig) ou anticorpos (Ac). Há vários tipos de anticorpos que podem ser gerados durante este processo de maturação nos centros germinativos através de rearranjos com recombinação genómica num processo que é designado *Class-switch* porque se associa a uma mudança da classe de anticorpos produzidos, ou seja do tipo de cadeias que constituem a imunoglobulina. As células B quando saem da medula óssea expressam todas à superfície imunoglobulinas do tipo IgD e IgM e depois neste processo nos centros germinativos perdem esta capacidade e passam a produzir um só tipo de imunoglobulina nomeadamente: subtipos de IgG que são determinantes na modulação das respostas imunológicas; IgE que tem um papel importante na alergia ativando certo tipo de leucócitos como os basófilos, mastócitos e eosinófilos, que produzem mediadores da resposta alérgica; ou IgA que tem a propriedade de ser secretada nas mucosas tendo um papel fundamental na defesa das barreiras físicas do organismo. Além disso, ocorrem ainda múltiplas mutações nas regiões dos anticorpos que reconhecem os antígenos guiadas por mecanismos moleculares únicos das células B, sendo neste processo selecionadas as que produzem os anticorpos com melhor afinidade para os antígenos em causa na resposta imunológica em desenvolvimento. As restantes células B

são eliminadas por apoptose. Para permitir esta seleção e expandir a resposta há portanto uma enorme proliferação que se traduz no aumento da dimensão dos gânglios linfáticos que podemos por exemplo observar no pescoço quando temos uma amigdalite (as vulgarmente chamadas anginas). Na verdade muitos dos linfomas, tumores linfocitários, resultam de desregulação nestes múltiplos ciclos de proliferação e morte celular programada.

Neste processo são gerados plasmócitos que são células B na fase de diferenciação que perderam a capacidade de proliferar e cuja função é produzir anticorpos em larga escala. Estes plasmócitos são libertados para o sangue e migram para nichos existentes na medula óssea onde se alojam e têm uma vida longa.

São também geradas células B de memória que têm a capacidade de montar uma resposta mais rápida num reencontro no futuro com o mesmo antigénio. Nestas respostas ditas secundárias, o tempo necessário para se desenvolver os anticorpos específicos é tipicamente inferior aos 7 dias em média necessários no primeiro encontro com o antigénio. Para estas respostas contribuem também as células T de memória geradas durante a resposta primária (FIGURA 1).

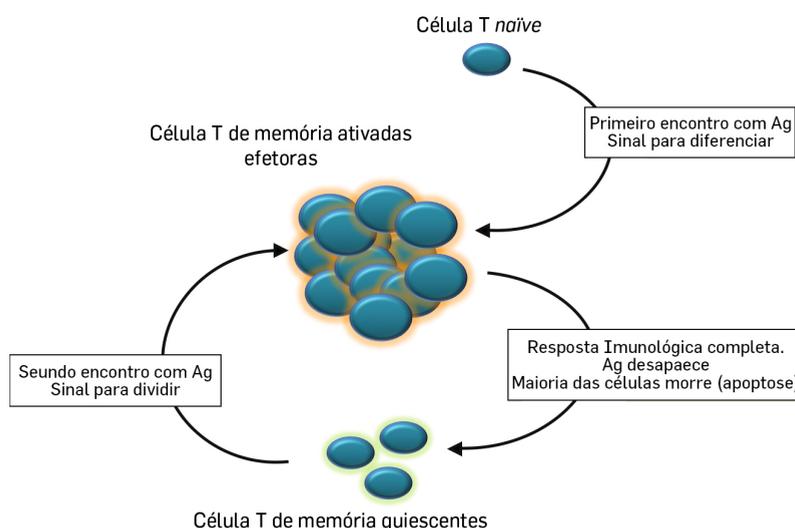


FIGURA 1. Resposta imunológica e diferenciação das células T em resposta a antígenos (Ag), geralmente proteínas apresentadas pelas moléculas de HLA em células especializadas na apresentação antigénica como as células dendríticas.

São estas células de memória de longa duração que definem a imunidade adquirida que se pretendem desenvolver com a utilização das vacinas, sendo muitas vezes necessários os chamados reforços para promover a reexposição aos antígenos e a expansão destas respostas.

Coronavírus

um velho conhecido do Morcego e do Homem

Pedro José Esteves

CIBIO/ Universidade do Porto

Os coronavírus podem originar infeções muito graves ou letais nas populações humanas. Em 2002, surgiu um coronavírus, o SARS-CoV, que terá tido a sua origem em morcegos na China, sendo transmitido a um mamífero, a civeta, que depois infetou os humanos e originou um surto de uma infeção respiratória aguda grave, o SARS. Em 2012, surgiu uma nova doença, a síndrome respiratória do Médio Oriente designada por MERS, provocada pelo coronavírus MERS-CoV que terá tido a sua origem também em morcegos, que o terão transmitido a camelos que finalmente o transmitiram aos humanos. Em 2019, apareceu um terceiro coronavírus, designado por SARS-CoV2, que provoca um síndrome respiratório agudo designado por COVID-19. O SARS-CoV2 terá também tido a sua origem em morcegos na China e pensa-se que o pangolim será a espécie intermediária.

Atualmente, a hipótese mais provável é que o SARS-CoV2 seja resultado de uma recombinação natural. A recombinação ocorre quando uma célula de um hospedeiro é infetada por várias estirpes de um vírus, que trocam informação genética entre si e originam um vírus recombinante. De facto, ao longo do seu genoma, o SARS-CoV2 apresenta uma maior similaridade com a estirpe detetada no morcego-ferradura, mas no domínio de ligação ao recetor humano a semelhança é muito maior com a estirpe detetada no pangolim. Uma característica única do SARS-CoV2 é a inserção de quatro aminoácidos na proteína da espícula (*spike*) que vai criar um sítio de clivagem para uma enzima, a furina. Algumas proteínas estão inativas quando são sintetizadas, e só se tornam ativas quando partes da proteína são clivadas pela furina, como será o caso do SARS-CoV2. Existem várias evidências de que o SARS-CoV2 consegue replicar e transmitir-se em vários mamíferos, o que sugere que o vírus possa continuar a circular em reservatórios animais. A probabilidade de ocorrerem novas pandemias com um coronavírus, ou qualquer outro vírus, é muito elevada. Algumas das medidas para diminuir essa probabilidade são a não destruição das florestas virgens ou pouco exploradas, o conhecimento dos vírus que circulam na

natureza e o impedimento da introdução de espécies exóticas que trazem consigo novos agentes patogénicos.

As infeções de coronavírus no Homem

O coronavírus pertence à subfamília *Coronavirinae*, família *Coronaviridae*. São vírus de RNA de cadeia simples, de polaridade positiva e o seu genoma encontra-se dentro duma cápside rodeada exteriormente por um invólucro essencialmente lipídico. Este invólucro possui quatro proteínas estruturais das quais se destaca a proteína da espícula (*spike*). A proteína da espícula forma protuberâncias para o exterior do vírus, o que lhe confere o aspeto típico de coroa e do qual deriva o nome Coronavírus (do latim, *corona*). O primeiro coronavírus foi descoberto na década de 1930 na galinha. Passaram trinta anos até que, nos anos de 1960, foi identificado pela primeira vez um coronavírus em humanos. Desde aí, e até ao momento, identificaram-se no Homem sete coronavírus que provocam sintomas. Quatro deles são endémicos no homem (designados 229E, NL63, OC43 e HKU1), ou seja, circulam nas populações humanas causando infeções ligeiras. Até 2002, as infeções em humanos provocadas por este tipo de vírus não eram muito graves e por isso não eram uma das prioridades das autoridades de saúde. Em 2002, surgiu um coronavírus, na província chinesa de Guangdong, que originou um surto de uma infeção respiratória aguda grave, o que levou à designação de SARS (*Severe Acute Respiratory Syndrome*)-CoV. Este surto matou 774 pessoas em todo o mundo antes de ser controlado. Uma década depois, em 2012, surgiu uma nova doença, a síndrome respiratória do Médio Oriente, provocada por um outro coronavírus, designado por MERS (*Middle East Respiratory Syndrome*)-CoV, que foi identificado pela primeira vez na Arábia Saudita. O MERS-CoV já foi detetado em 27 países, matou até ao momento 858 pessoas e ainda continua ativo (o último caso mortal ocorreu em Fevereiro deste ano). Como diz um velho ditado português *não há duas sem três*, e assim, no fim de 2019, apareceu um novo vírus designado por SARS-CoV2 ou HCoV-19, que provoca um síndrome respiratório agudo designado por COVID-19 e que já infetou mais de 6 milhões de pessoas e matou em todo o mundo mais de 360000 pessoas, tendo ganho o estatuto de pandemia de acordo com a Organização Mundial de Saúde. A principal razão para que o SARS-CoV2 se tenha tornado uma pandemia ao contrário do SARS-CoV e do MERS-CoV é a diferença na taxa de mortalidade. O SARS-CoV2 provoca muito menos mortalidade e uma percentagem muito elevada de infetados é assintomática, o que permite uma muito maior transmissão e dispersão do vírus.

A passagem dos vírus dos morcegos para o homem

Os três coronavírus que provocaram mortalidades em humanos, SARS-CoV, MERS-CoV e SARS-CoV2, apresentam uma grande similaridade com coronavírus detetados em morcegos, o que sugere que estes vírus tenham tido origem em morcegos. De igual modo, todos eles terão usado outros mamíferos como hospedeiros intermediários antes de infetar o homem (FIGURA 1).

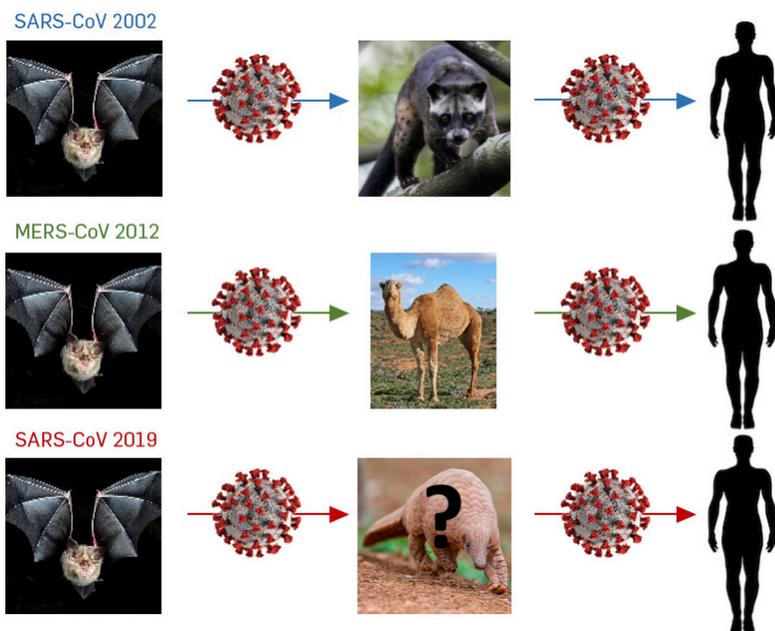


FIGURA 1. Rotas de transmissão dos três coronavírus que infectaram mortalmente o homens. SARS-CoV em que o hospedeiro intermediário foi a civeta asiática. MERS-CoV em que o hospedeiro intermediário foi o camelo. SARS-CoV2 em que um possível hospedeiro intermediário foi o pangolim, embora ainda não haja certezas de qual terá sido o hospedeiro intermediário.

O SARS-CoV terá tido a sua origem em morcegos de uma caverna na província chinesa de Yunnan, sendo depois transmitido a um pequeno mamífero asiático, a civeta, que é muito apreciada na China onde é mantido em jaulas para alimentação humana. Curiosamente, este animal é também mantido em cativeiro porque as suas fezes são usadas para produzir café *gourmet* em vários países asiáticos. Essas civetas terão sido vendidas nos mercados chineses de Guandong, tendo sido o vírus transmitido a humanos. O MERS-CoV terá tido a sua origem em morcegos que os terão transmitidos a camelos. A maioria das infeções de MERS terão ocorrido entre humanos, existindo, no entanto, várias evidências de que o camelo é um reservatório do MERS-CoV e, por isso, uma das fontes de infeção da MERS nos humanos, tornando difícil a completa eliminação da doença. O SARS-CoV2 também terá tido a sua origem em morcegos e embora o percurso que terá levado este vírus ao homem não seja ainda perfeitamente conhecido, existem algumas suspeitas. A deteção de coronavírus muito semelhantes ao SARS-CoV2 no pangolim sugere que terá sido esta espécie o intermediário. No entanto, os vírus não são exatamente iguais e só depois da pesquisa de coronavírus em outros animais é que vamos ter a certeza do animal intermediário. O primeiro surto do SARS-CoV2 terá ocorrido no mercado de Wuhan (província de Hubei) na China, onde vários animais selvagens são mantidos e abatidos para consumo humano. O pangolim é vendido regularmente para fins medicinais e é apreciado na gastronomia chine-

sa. A recente demonstração de que o SARS-CoV2 consegue replicar muito bem em furões e gatos, que os gatos transmitem o vírus entre si, e a recente identificação do SARS-CoV2 em tigres no zoo de Nova Iorque, que terá sido transmitido pelo tratador, sugere que, tal como no MERS-CoV, o vírus possa continuar a circular em reservatórios animais contribuindo para a manutenção do vírus em circulação.

Como podemos evitar pandemias?

A probabilidade de ocorrerem novas pandemias com coronavírus, *Influenza*, *Ébola*, *Zika*, *Dengue* ou qualquer outro vírus é muitíssimo elevada. Para diminuir essa probabilidade há um conjunto de medidas que poderão e deverão ser implementadas. Entre elas destaca-se a não destruição das florestas mundiais, em particular florestas virgens ou pouco exploradas, evitando assim o contacto do Homem com novos agentes infecciosos para os quais o Homem não tem qualquer defesa. Uma nova área de investigação é caracterizar a *virosphere* (conjunto de todas as viroses que circulam no nosso planeta). O número de vírus caracterizados até ao momento corresponde a uma pequeníssima fração de todos os vírus existente na terra. A caracterização da *virosphere* é de vital importância para compreender e avaliar o risco de novas zoonoses e de infeções para a vida selvagem. Finalmente, devemos evitar ao máximo a introdução de espécies exóticas que trazem consigo novos agentes patogénicos; dois bons exemplos são a filoxera, que afetou no século XIX as videiras em França e no Douro em Portugal, provocada por um afídeo trazido para a Europa pela introdução de vinhas americanas, e a mixomatose, provocada pelo vírus mixoma, que no hospedeiro natural, o coelho-americano do continente americano, é benigna e que no continente europeu provoca elevadas mortalidades no coelho-bravo. Duas doenças, afetando quer plantas, quer animais, com consequências devastadoras na Europa causadas pela introdução no continente europeu de espécies alóctones.

A matemática e as epidemias

Luís Mateus

CMAFcIO/ Universidade de Lisboa

39

Na segunda metade do século XX, a melhoria das condições sanitárias e de higiene, juntamente com os avanços terapêuticos e a adoção de extensos programas de vacinação, mostraram-se tão eficazes no combate à propagação de doenças infecciosas que se chegou a acreditar na possibilidade da sua erradicação. Não obstante, as epidemias continuam, no primeiro quartel do século XXI, a ser um problema de saúde pública e nunca como agora, em plena pandemia de COVID-19, terá sido tão evidente a necessidade de compreensão dos mecanismos subjacentes à sua dinâmica e a importância da modelação matemática em epidemiologia.



FIGURA 1. O Triunfo da Morte, Pieter Bruegel, o Velho (c. 1562).

A peste negra foi uma das mais devastadoras pandemias na história da humanidade (FIGURA 1). Segundo algumas estimativas, terá dizimado cerca de um terço da população da Europa e da Ásia no século XIV. Tendo surgido pela primeira vez em Portugal em 1348, a peste foi recorrente no nosso país até finais do século XVII. Em Inglaterra, o último grande surto de peste ocorreu nos anos de 1665-1666 e ficou conhecido como a Grande Peste de Londres. Vitimou cerca de 15% dos habitantes da capital inglesa. O facto de se terem registado e mantido estatísticas semanais de mortalidade fornece-nos informação essencial sobre a progressão da doença (FIGURA 2A). John Graunt (1620-1674) utilizou-as para analisar os dados e tirar várias conclusões sobre a epidemia, registadas no seu livro *Natural and Political Observations Made Upon the Bills of Mortality* (Observações naturais e políticas baseadas nos registos de mortalidade), que conheceu cinco edições.

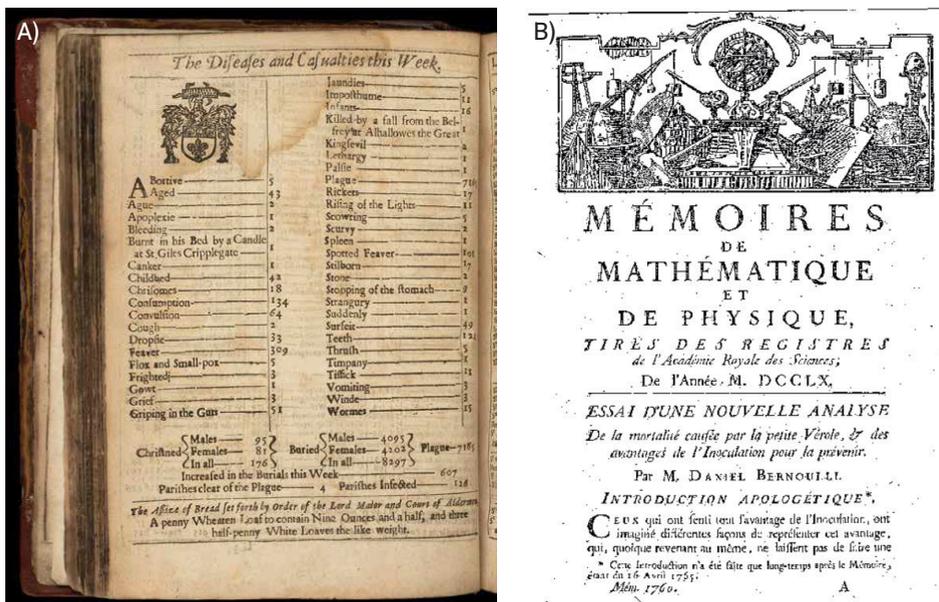


FIGURA 2. A) *Bill of Mortality* (Londres, 1665). B) *Essai*, Daniel Bernoulli (Paris, 1760).

O primeiro resultado em epidemiologia matemática que se conhece é devido a Daniel Bernoulli (1700-1782), filho e sobrinho de dois matemáticos famosos, Johann e Jakob. Daniel formou-se em medicina, tendo-se posteriormente dedicado à matemática. Em 1760, apresentou à Academia das Ciências de Paris uma memória intitulada *Essai d'une nouvelle analyse de la mortalité causée par la petite vérole et des avantages de l'inoculation pour la prévenir* (Ensaio de uma nova análise da mortalidade causada pela varíola e das vantagens da inoculação para a impedir), onde defendia, recorrendo a um modelo matemático, a inoculação contra a varíola (FIGURA 2B)).

No século XX, outra devastadora pandemia dizimou 3 a 5% da população mundial: a gripe

pneumónica de 1918. Estima-se que cerca de 500 milhões de pessoas tenham sido infetadas, um quinto das quais terá sucumbido. A guerra na Europa favoreceu a propagação da doença, não só pelas condições de insalubridade a que os soldados estavam sujeitos, mas também pelas deficiências de nutrição sofridas pelas populações durante o conflito. Mais próximas e ainda bem presentes na memória podemos referir a pandemia de SIDA, surgida na década de 80 do século passado, a gripe A (H1N1) em 2009-2010 e o surto de ébola de 2014-2016. Exemplos de doenças infecciosas causadas por coronavírus são a MERS (*Middle Eastern Respiratory Syndrome*) com surto em 2012, causada por MERS-CoV, a SARS (*Severe Acute Respiratory Syndrome*) de 2002-2004, causada por SARS-CoV-1 e a atual COVID-19, causada por SARS-CoV-2.

Os alicerces da moderna abordagem à epidemiologia matemática foram lançados por A.G. McKendrick (1876-1943) e W.O. Kermack (1898-1970) em três artigos publicados em 1927, 1932 e 1933. Partindo de suposições relativamente simples, o seu modelo mostrava um comportamento similar ao observado em muitas epidemias, como a peste negra ou a gripe: aparecimento súbito, crescimento rápido e desaparecimento, ficando parte da população incólume.

O modelo proposto por McKendrick e Kermack dividia uma população fechada de N indivíduos em três compartimentos: S – suscetíveis, I – infecciosos e R – recuperados. Admitia um número de contactos suficientes para que um indivíduo transmitisse a infeção a βN elementos por unidade de tempo, recuperando os indivíduos infetados a uma taxa γI por unidade de tempo. A dinâmica do modelo SIR é dada pelo sistema de equações diferenciais da FIGURA 3. O correspondente diagrama de fluxo é

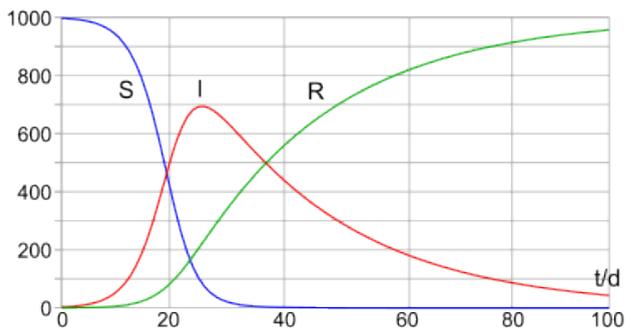
$$S \xrightarrow{\beta} I \xrightarrow{\gamma} R.$$

Numa população inicialmente suscetível, um indivíduo infeccioso transmitirá a doença a uma taxa de βN num período $1/\gamma$, infetando assim $R_0 = \beta N/\gamma$ indivíduos em média. R_0 diz-se o número básico de reprodução e determina a dinâmica da epidemia: se $R_0 > 1$ a epidemia propaga-se, se $R_0 < 1$ a epidemia extingue-se. Compreende-se intuitivamente que se o indivíduo transmite a infeção a menos de um elemento em média, então o número de casos terá de decrescer com o tempo.

O gráfico da FIGURA 3 ilustra a evolução de uma epidemia modelada pelo modelo SIR . A população suscetível (linha azul) diminui à medida que o número de infetados (linha vermelha) aumenta até atingir um pico e começar a diminuir. Esta diminuição verifica-se porque há uma diminuição do número de suscetíveis e um aumento do número de recuperados (linha verde).

Os modelos compartimentais deterministas podem, de um modo geral, ser dados por uma equação vetorial para $X = (X_1(t), X_2(t), \dots, X_n(t))$ da forma $\frac{dX}{dt} = F(X)$.

No caso particular do modelo SIR descrito acima temos $n = 3$, com $X = (S, I, R)$, $F_1 = -\beta SI$, $F_2 = \beta SI - \gamma I$ e $F_3 = \gamma I$.

FIGURA 3. Evolução de uma epidemia segundo o modelo *SIR*.

$$\frac{dS}{dt} = -\beta SI$$

$$\frac{dI}{dt} = \beta SI - \gamma I$$

$$\frac{dR}{dt} = \gamma I$$

Há situações nas quais um modelo mais simples que o *SIR* pode ser adequado. O modelo *SI*, com apenas dois compartimentos ($n = 2$), no qual os indivíduos suscetíveis, uma vez infectados assim permanecem, serve como modelo do herpes. Tem como solução a conhecida curva logística. O modelo *SIS*, também com dois compartimentos, no qual os indivíduos infectados não adquirem imunidade, voltando a ficar suscetíveis após a infecção, ilustra o que sucede nos casos de constipação ou de gripe. É também possível determinar uma solução analítica explícita para este modelo. A inclusão de mais ou menos compartimentos permite modelar diferentes situações e realçar aspetos que se julgue importante incluir na modelação. A um aumento do grau de complexidade corresponderá um maior número de compartimentos na qual está dividida a população em estudo. Não existem soluções analíticas para os modelos mais elaborados, sendo necessário recorrer a simulações computacionais. O método de Euler, por exemplo, permite obter as soluções numéricas das equações diferenciais no caso dos modelos deterministas.

A erradicação da varíola, certificada em 1979, foi declarada pela Organização Mundial de Saúde (OMS) em 1980. Tal foi possível graças a extensas campanhas de vacinação e ao facto de ser necessário imunizar apenas cerca de 75% da população para se atingir a imunidade de grupo, um valor baixo se comparado, por exemplo, com os 93% necessários para o sarampo. Existem, no entanto, algumas amostras de vírus da varíola armazenadas em laboratório, para fins de investigação, o que levanta receios de que possa ser utilizado como arma biológica num ataque terrorista. A libertação do vírus numa população quase completamente suscetível teria efeitos devastadores, porventura semelhantes aos da COVID-19. Consequentemente, são ainda estudados vários modelos para a varíola, nos quais se incluem medidas de controlo como, por exemplo, a vacinação. Um modelo possível é o *SEIR*: aos três compartimentos do *SIR* acrescenta-se um quarto, *E*, para os indivíduos expostos, que estão infectados mas ainda não transmitem a doença. Apesar da sua simplicidade e do reduzido número de equações ($n = 4$), o modelo ajusta-se bem aos dados históricos que se possuem sobre os surtos de varíola.

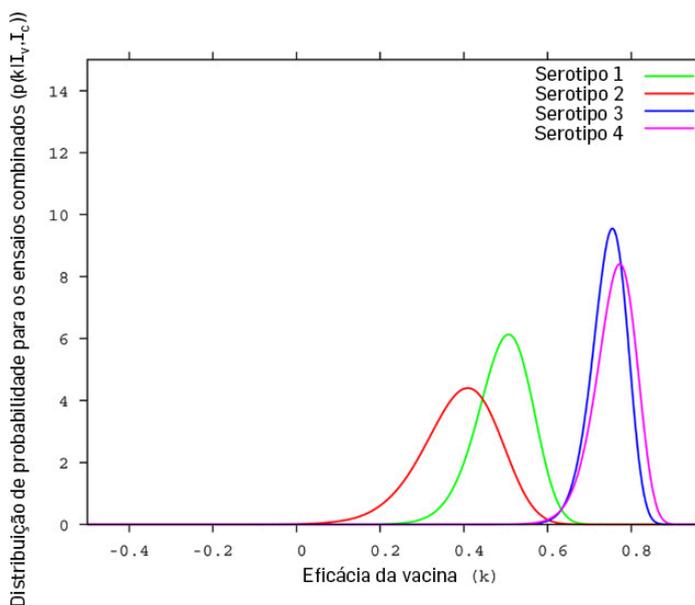


FIGURA 4. Gráfico da análise bayesiana aos dados sobre os ensaios clínicos à eficácia da vacina do dengue.

Os modelos compartimentais podem também ser usados na modelação das chamadas doenças endémicas, doenças que persistem numa determinada região e em que o surgimento de novos casos se dá sem importação de infeções exteriores à população. Atualmente, o dengue é um dos graves problemas de saúde pública com que a sociedade se defronta. Doença infecciosa transmitida principalmente pela fêmea do mosquito *Aedes aegypti*, é endémica em mais de 100 países e estima-se que cerca de 55% da população mundial esteja em risco de a contrair. O primeiro surto em Portugal ocorreu na ilha da Madeira em 2012. Desde 2016 que está licenciado em vários países o uso de uma vacina desenvolvida pelo laboratório francês Sanofi Pasteur, tendo a OMS recomendado, à altura do lançamento da vacina no mercado, a sua utilização para indivíduos entre os 9 e os 45 anos de idade em países onde a doença fosse altamente endémica.

Os resultados estatísticos dos ensaios clínicos publicados foram reproduzidos em Portugal (FIGURA 4), tendo os investigadores analisado os riscos inerentes àquela recomendação. Usando um modelo de tipo *SIR* com estrutura etária, com 33 equações diferenciais ($n = 33$), cujo diagrama se apresenta na FIGURA 5, concluíram que a eficácia da vacina e o risco relativo de hospitalização após inoculação depende da condição serotípica do indivíduo e não da sua idade. Em 2018, a OMS alterou as suas orientações, passando a recomendar a vacina apenas para indivíduos que já tenham tido contacto com a doença ou para maiores de 9 anos em populações altamente endémicas.

A modelação matemática pode ser feita com recurso a outras técnicas, como as esto-

cásticas ou as estatísticas. Por exemplo, observando os dados oficiais disponíveis, uma análise cuidadosa mostrou que a sazonalidade desempenha um papel importante na transmissão do dengue no Brasil, sendo a densidade de casos residual durante o inverno no hemisfério sul (meados de junho a meados de setembro). Assim, foi possível concluir não ser provável que os adeptos de futebol fossem infectados durante o Mundial de 2014 que decorreu naquele país, o que de facto se verificou.

A modelação matemática em epidemiologia tem como objetivo, não só compreender a evolução da doença e os mecanismos subjacentes à sua dinâmica, mas também: fazer previsões quanto à progressão e duração da epidemia, ao número de infectados e ao número de mortos; estimar vários parâmetros epidemiológicos como, por exemplo, a taxa de infeção, o número básico de reprodução e a taxa de letalidade; analisar de que modo a adoção de medidas de controlo como o distanciamento social ou a vacinação podem afetar a progressão da epidemia.

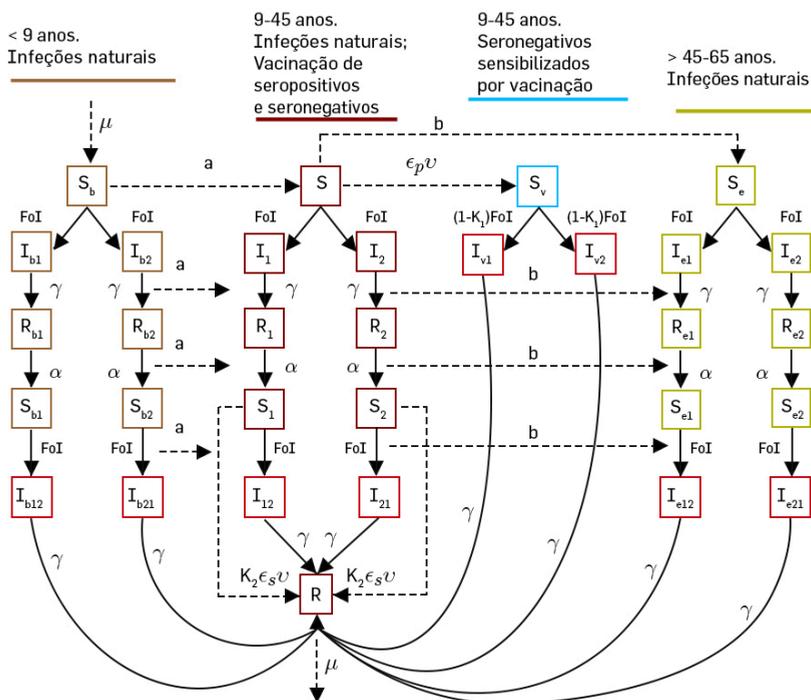


FIGURA 5. Diagrama de fluxo de um modelo de dengue com estrutura etária e vacinação.

Nada disso é fácil enquanto decorre um surto, sobretudo quando está em causa uma nova doença acerca da qual muito se desconhece, como sucede com a COVID-19. Muitos cientistas estarão certamente a analisar modelos do tipo *SIR*, com mais ou menos compartimentos consoante os aspetos da doença que julguem importante evidenciar. Não será exagero afirmar que nem Kermack nem McKendrick podiam imaginar a importância que o seu modelo viria a adquirir quando o publicaram há quase cem anos.

Plantas e Pessoas na Biblioteca

Francisca Maria Fernandes*[†], Luís Mendonça de Carvalho*,

Maria de Lurdes Almeida[‡], Olga Afonso[‡]

* Universidade Nova de Lisboa

[†] Agrupamento de Escolas de Paço de Arcos

[‡] Agrupamento de Escolas Amadora Oeste

O conhecimento das interações culturais entre pessoas e plantas é fundamental para fomentar a utilização sustentável dos recursos vegetais. Com o projeto *Plantas e Pessoas na Biblioteca Seomara* (Escola Secundária Seomara da Costa Primo) quisemos sensibilizar a comunidade escolar para as vantagens do *agir informado*, o que fizemos mediante a realização de três exposições: *Presépios Botânicos*, *Árvore da Laca e Arte Nipónica*, *Coco-do-Mar - A Maior Semente do Reino Vegetal*. O projeto foi distinguido, na 2.^a Edição do Concurso da *Escola Amiga da Criança* (2019), com o *Selo de Escola Amiga da Criança*, na categoria de *Atividades Extracurriculares e/ou Interdisciplinares*.

A evolução humana está intimamente dependente das plantas, nomeadamente porque estas contribuem para estabilizar a biosfera através da sequestração de dióxido de carbono e da emissão de oxigénio, bem como da produção de alimentos e recursos imprescindíveis à cultura material, de que são exemplo as fibras, as gomas, as resinas, os óleos e os pigmentos. É importante conservar não só as espécies vegetais de uso comum e global, devido ao seu elevado valor económico, mas também, as espécies de uso local utilizadas por comunidades não-urbanas. A compreensão das complexas ligações culturais entre plantas e pessoas é especialmente valiosa se o objetivo for a descoberta de soluções de conservação e sustentabilidade. Todos os anos se descobrem novas espécies vegetais, cujas potencialidades deveriam ser estudadas. Contudo, a destruição de habitats, as alterações climáticas e a sobre-exploração de recursos, entre outros fatores dependentes da ação humana, têm tido como consequência a extinção de espécies conhecidas e, provavelmente, de outras ainda não devidamente estudadas.

Com o projeto *Plantas e Pessoas na Biblioteca Seomara* quisemos, mediante a realiza-

ção de exposições físicas e da sua versão virtual, sensibilizar a comunidade educativa para as vantagens do agir informado, tendo sido três as exposições realizadas: *Presépios Botânicos*; *Árvore da Laca e Arte Nipónica*; *Coco-do-Mar - A Maior Semente do Reino Vegetal*. As exposições estiveram patentes na Biblioteca da Escola Secundária Seomara da Costa Primo (Amadora). Esta escola tem como patrona Seomara da Costa Primo (1895-1986), a primeira mulher portuguesa a obter o doutoramento em Ciências Biológicas – Botânica (1942). Em 1930, Seomara escreveu sobre a necessidade da “*transformação dos métodos de ensino em métodos ativos, que tendem a favorecer a atividade pessoal da criança*” e, em 1943, afirmou que a cultura pode servir para “*eleva a sua mentalidade*” e que a mesma “*é pedra de toque de um país verdadeiramente civilizado*”. Tendo presente estas premissas, desenvolvemos uma parceria com o Museu Botânico do Instituto Politécnico de Beja, para trazer, aos nossos alunos, exemplos das interações entre o homem e as plantas, em diversos contextos culturais, interligando a Botânica, a História e a Literatura. A comunidade educativa da Escola Secundária Seomara da Costa Primo integra alunos, em número muito significativo, provenientes da América Latina, nomeadamente, do Brasil, de África, especialmente dos países onde o português é uma das línguas oficiais e, ainda, de diferentes países da extinta União Soviética. Trata-se de um ambiente multicultural onde a ocorrência de atividades de complemento curricular que visem promover o enriquecimento cultural e a inserção dos educandos na comunidade assumem especial importância. Por conseguinte, a ampliação das oportunidades de aprendizagem promotoras do desenvolvimento holístico dos estudantes e das suas famílias é vital para o sucesso social e académico.

Ao longo do ano letivo, sucederam-se diversas iniciativas, muitas vezes duas a três em simultâneo, de divulgação científica e cultural, entre as quais se incluem as exposições. Sendo o Museu Botânico do Instituto Politécnico de Beja reconhecido pelo estudo e divulgação, numa perspetiva multidisciplinar, da relação que as pessoas estabeleceram com as plantas em diversas civilizações, e, tendo sido Seomara da Costa Primo autora de importantes livros de Botânica, decidimos prestar-lhe um tributo apresentando à nossa comunidade educativa objetos, do acervo do Museu Botânico, apelativos pela sua raridade e/ou singularidade. O acesso às exposições, em contexto escolar, mas não formal, foi livre e efetuado por todos os que sentiram o apelo para o fazer, quer à versão física das exposições quer à versão virtual das mesmas, as quais foram publicadas num blog a elas dedicado. A avaliação que esta categoria de visitantes fez das exposições está presente sob a forma de comentários que, alguns, generosamente, publicaram no *blog*. Paralelamente, dez turmas efetuaram visitas de estudo, guiadas pelos autores, à versão física das exposições, seguidas de discussão, em contexto de sala de aula, no âmbito da Unidade Curricular Sociedade, Tecnologia e Ciência, dos Cursos do Ensino Profissional. Durante as visitas, combinámos a visita guiada dirigida com a exploração livre de modo a potenciar a aprendizagem cooperativa entre pares. A visita guiada foi baseada no uso de narrativas como meio de elucidar a

relação entre Ciência e Sociedade. Durante a subsequente discussão, em sala de aula, estimulámos o envolvimento mental e verbal dos alunos e o estabelecimento de ligações dos novos conceitos e observações efetuadas com os seus conhecimentos e experiências prévias, promovendo assim a aprendizagem. A avaliação que os alunos destas turmas fizeram foi muito positiva, tendo os mesmos afirmado ser muito proveitoso existirem exposições, realizadas na escola, que lhes permitam usufruir de Cultura, Ciência e Arte.

Exposição Presépios Botânicos

Para esta exposição, desenvolvida entre novembro de 2018 e janeiro de 2019, seleccionámos um conjunto de presépios, provenientes de nove países, que foram criados com súber, caules, flores, sementes e frutos de 18 espécies (FIGURA 1).



FIGURA 1. A) Presépio 12 - Equador - cacauero (*Theobroma cacao* L.), milho (*Zea mays* L.). B) Presépio 16 - Peru - cabaça [*Lagenaria siceraria* (Molina) Standl.]. C) Presépio 23 - Portugal (Açores) - junco (*Juncus*), milho (*Zea mays* L.), trigo (*Triticum* sp.).

Os presépios foram contextualizados com factos de origem botânica e histórica, como, por exemplo, que o primeiro presépio terá sido construído, em 1223, sob a orientação de São Francisco de Assis (c.1181-1226), na floresta que, então, rodeava a cidade de Greccio (Itália). Com o tempo, esta tradição disseminou-se pelas principais instituições religiosas europeias e posteriormente foi adotada pela aristocracia; já no século XVIII, a tradição generalizou-se a todas as classes sociais. Os alunos apreenderam que a diversidade de presépios é elevada e que a sua génese é um processo criativo muito interessante, atendendo à variedade de estruturas vegetais que podem ser utilizadas.

Máscara da Peste Negra

No século XIV, a Europa conheceu uma das doenças que mais marcou a história da humanidade, afetando milhões de pessoas em todo o continente: a peste negra.

A peste negra numa primeira fase era transmitida através dos ratos e das pulgas infetadas, que propagavam a doença quando entravam em contacto com os seres humanos. Numa segunda fase, passa a ser transmitida por espirros e tosse, o que potenciou a sua capacidade de transmissão, levando esta pandemia a dezenas de milhões de pessoas, ao redor do mundo.

Embora a primeira pandemia da peste negra na Europa date do século XIV, será apenas no século XVII que um médico francês, Charles de Lorme, vai criar um traje para o médico da peste negra. Esta peça de vestuário caracterizava-se por um manto preto, que cobria todo o corpo de forma a proteger aqueles que o vestissem. A cabeça era coberta com uma máscara negra que tinha a particularidade de ter um bico no qual eram colocadas ervas aromáticas misturadas com palha. Este composto tinha a finalidade de filtrar os odores fétidos da peste negra, evitando a contaminação do médico, segundo a teoria miasmática.

Usado em rituais mágicos nas sociedades primitivas, no teatro grego, nas festividades profanas medievais e nos bailes, “farsas” e teatro popular renascentistas, o conceito de máscara não se alterou muito até ao século XX, altura em que as artes plásticas o apropriam. De Modigliani e Picasso a Bacon, Paula Rego e Cindy Sherman, a máscara passa a ser sinal de uma crise identitária que não pára de crescer. Trabalhos recentes, como as esculturas-máscara de Ron Mueck, já questionam abertamente a inadaptação actual do corpo biológico às necessidades de um mundo progressivamente tecnodependente, mostrando que o corpo desejável é hoje, não um corpo meramente mascarável, mas um corpo infinitamente fluido, reconfigurável e disseminável, um vazio biológico. Entre a robótica e a genómica, a mecânica e a informática, vão-se abrindo progressivamente as portas para o que, à falta de melhor termo, poderemos chamar de pós-humano.

Manuel Valente Alves

Academia Nacional de Medicina de Portugal



Casa das Ciências Prémios



2020

A Casa das Ciências premeia os melhores recursos educativos e imagens submetidos ao portal durante o ano de 2019 e distingue o Professor do Ano.

A cerimónia de entrega dos prémios será dia 16 de dezembro, pelas 15h, no Porto.

Conheça os candidatos em **casadasciencias.org**.