

MARÇO 2020

V8/01

REVISTA DE CIÊNCIA ELEMENTAR. CASA DAS CIÊNCIAS



REVISTA DE CIÊNCIA ELEMENTAR



FICHA TÉCNICA

Rev. Ciência Elem., V8(01)

**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

IMPRESSÃO E ACABAMENTO

Uniarte Gráfica S.A.

TIRAGEM

3600 exemplares

IMAGEM NA CAPA

Sucessão carbonatada do Jurássico
do vale de M'Semrir (Alto Atlas, Marrocos)
casadasciencias.org/banco-imagens

© 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@casadasciencias.org

CORPO EDITORIAL DA REVISTA DE CIÊNCIA ELEMENTAR

EDITOR

José Ferreira Gomes (UNIVERSIDADE DO PORTO)

EDITOR CONVIDADO

Luís Vítor Duarte (UNIVERSIDADE DE COIMBRA)

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

MARÇO 2020

V8/01

ÍNDICE

- | | | | |
|----|--|----|--|
| 02 | AGENDA | 27 | Escombreyras de carvão em autocombustão
Joana Ribeiro |
| 03 | NOTÍCIAS | | |
| 05 | EDITORIAL
Uma breve, mas elemental reflexão
Luís Vítor Duarte | 31 | As primeiras flores
Mário Miguel Mendes |
| 07 | BIOGRAFIA
Gilbert Lewis
Raquel Gonçalves-Maia | 35 | Digestão anaeróbia
Ana Júlia Cavaleiro, M. Madalena Alves |
| 10 | ARTIGOS
Equação de 2º grau
João Nuno Tavares, Ângela Geraldo | 39 | Bio-manipulação para o controlo da eutrofização
J. Filipe Pinto, Sara C. Antunes |
| 13 | O Princípio da Incerteza
Eduardo Lage | 43 | AOS OLHOS DA CIÊNCIA
Histórias geológicas de Peniche
Luís Vítor Duarte |
| 17 | Arsénio
Manuel João Monte | 48 | IMAGEM EM DESTAQUE
O lado invisível das rochas
Alexandre Lopes Magalhães, Luís Vítor Duarte |
| 22 | Matérias-primas críticas: Zona de Ossa-Morena
Noel Moreira <i>et al.</i> | | |

02/04
e 03/04⁽²⁰²⁰⁾

II Encontro Temático da Casa das Ciências
Água, um tema transversal

Na sequência do sucesso do Encontro Temático realizado em Viana do Castelo em 11-12 de abril passado, vamos repetir o evento, agora em Estremoz, com um programa semelhante. Serão dois dias de trabalho seguidos de uma saída de campo (opcional) no sábado, 4 de abril. 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.

Garanta o seu lugar.

CENTRO DE CIÊNCIA VIVA DE ESTREMOZ

WWW.CASADASCIENCIAS.ORG/ESTREMOZ2020



até 19/07⁽²⁰²⁰⁾

Um Século e Tanto: 130 anos da
National Geographic

Em 1888, 33 peritos da área científica fundaram a *National Geographic Society* para partilharem conhecimentos e iniciarem novas investigações. Mais de um século depois, é a história da que viria a tornar-se uma das mais icónicas instituições do mundo que se celebra em "Um Século e Tanto: 130 anos da *National Geographic*".

MUSEU DE HISTÓRIA NATURAL E DA CIÊNCIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO, REITORIA DA UP

08/07
a 10/07⁽²⁰²⁰⁾

VII Encontro Internacional da Casa das Ciências

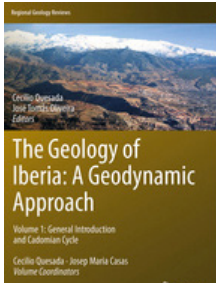
O Encontro Internacional da Casa das Ciências regressa ao Porto em 2020 num formato próximo do que já é bem característico da Casa das Ciências. À componente plenária, juntamos pelo menos 2/3 do tempo de formação em pequenos grupos de cerca de 20 pessoas para melhor contacto com os formadores.

Inscrições já abertas!

PORTO, ISEP-IPPORTO



A Geologia de Portugal e da Ibéria



A *Gramática Latina* de Manuel Álvares primeiro publicada em Lisboa em 1572 foi usada em toda a Europa e ainda foi reeditada no século XIX em França, Inglaterra e em Espanha. Manuais definitivos não são coisa dos nossos dias, mas há que registar duas iniciativas que vão fixar o estudo e a compreensão da Geologia peninsular por muitos anos, tal é o esforço vertido na sua escrita.

Numa edição da Springer, acaba de sair o livro *The Geology of Iberia: A Geodynamic Approach*, editado por Cecílio Quesada e José Tomás de Oliveira. As suas mais de 1500 páginas, em 5 volumes e contando com cerca de 70 autores portugueses, apresenta as grandes fases de evolução geodinâmica que afetaram os terrenos que compõem hoje a Península Ibérica. Uma visão integradora da geologia da Ibéria, revista à luz dos trabalhos de investigação mais recentes e numa perspetiva global.

Com objetivos diferentes, *Portugal de antes da História* de Rui Dias é um marco no ensino da Geologia. O primeiro volume, *Da Dinâmica Global aos Processos Geológicos*, descreve os processos da geodinâmica in-

terna do planeta para que se compreenda a evolução geológica de Portugal. Os seus diagramas e esquemas (de acesso livre) vão ser ferramentas de estudo de gerações de estudantes. Esperam-se para os próximos meses os volumes seguintes, *Dos Mapas Estáticos à Dinâmica da Geologia de Portugal* (vol. 2) e *Geologia de Portugal no Contexto dos Ciclos Tectónicos* (vol. 3).

Alterações climáticas



FIGURA 1. Glaciar Perito Moreno (fotografia: Luís Vítor Duarte).

O Plistocénico representa um intervalo muito recente da história da Terra, situando-se entre os 2,58 milhões de anos e os 11,7 mil anos (Ka). Caracteriza-se por variações climáticas abruptas, contando-se várias fases glaciares e interglaciares. Liderada por Sarah Shackleton da *Scripps Institution of Oceanography*, acaba de ser publicada na revista *Nature Geoscience* (DOI: 10.1038/s41561-019-0498-0) uma nova contribuição relativa ao período interglaciar, ocorrido anteriormente à última glaciação, ou seja, entre os 129 e 116 Ka. Suportadas na

variabilidade dos gases nobres registados em furos de gelo, são apresentadas novas evidências quanto à temperatura média dos oceanos e ao impacto da expansão térmica na variação do nível do mar. Da investigação, conclui-se que, apesar da temperatura e do nível do mar terem estado logo no início da fase quente em níveis ligeiramente superiores aos da presente era interglaciária, aqueles terão evoluído para valores semelhantes aos atuais.

Patinar sobre gelo!



FIGURA 1. Paisagem de inverno com patinadores. (Hendrick Avercamp, 1608).

Todos temos a experiência de que uma superfície de gelo é muito escorregadia. Esta característica é usada na patinagem sobre gelo onde o patim desliza quase sem atrito. A explicação mais usual é que a pressão do patim sobre o gelo provoca uma fusão local com imediato congelamento da água libertada. Esta explicação falha porque, a temperaturas baixas, seria preciso um peso descomunal para provocar a fusão do gelo.

Um estudo recente (DOI: 10.1021/acs.

jpcclett.8b01188) mostrou que o baixo atrito apenas se verifica num intervalo estreito de temperaturas, sendo muito elevado para temperaturas mais baixas na região dos -100°C . Combinando estudos macroscópicos do atrito de deslizamento e simulações (dinâmica molecular) mostraram que o coeficiente de atrito de fricção e a mobilidade microscópica das moléculas superficiais de água à superfície do gelo têm dependências na temperatura muito semelhantes. A energia de ativação estimada é quase igual, sugerindo que o baixo atrito de deslizamento estará relacionado com a mobilidade das moléculas de água à superfície do gelo. Há uma camada superficial de gelo que garante a lubrificação do contacto com o patim deslizante. Isto permite que o gelo tenha o comportamento normal de um sólido quando a muito baixas temperaturas e se torne muito escorregadio a temperaturas mais próximas da temperatura de fusão. Esta alta mobilidade superficial das moléculas de água (no gelo) tem outro efeito relevante, a rápida correção de defeitos cristalinos superficiais. Este efeito pode confirmar-se macroscopicamente fazendo um risco superficial com um instrumento cortante sobre o gelo. Feita a experiência a -10°C , o risco quase desaparece ao fim de 7 minutos.

Uma breve, mas elementar reflexão

Iniciamos um novo ano, o oitavo da vida da Revista de Ciência Elementar (RCE), sendo tempo dos naturais desejos das melhores venturas e elevados ensejos profissionais. E em tempos cada vez mais exigentes (...). Assumindo o calendário gregoriano, o presente ano de 2020 marca o final de uma década. Decénio em que se assistiu e se consolidou uma autêntica revolução no modo como temos acesso ao conhecimento científico, como tratamos essa informação e como a comunicamos. Sendo a nossa comunidade composta de agentes na arte de ensinar, com sérias responsabilidades na transmissão do conhecimento, urge alguma reflexão sobre este tema. Aproveito este espaço para esse efeito.

Estamos no final de uma década durante a qual tudo mudou não só quanto à forma como lidamos com a difusão da informação científica, como ao modo como a ela temos acesso. Hoje, não necessitamos de sair de casa, largar a comodidade de um qualquer teclado para termos acesso à novidade científica, muitas vezes a uma velocidade que suplanta o *timing* da própria publicação! O que é realmente espantoso e que não tem preço - a não ser o possível valor que algumas revistas obrigam a despendar pelo acesso a esse conhecimento (!). As revistas científicas que deixaram o formato em papel, quase desconhecido das novas gerações, adotaram integralmente o digital, porque assim manda a pressa da disseminação da informação, a favor da tão propalada "sustentabilidade". O resultado é o empobrecimento das bibliotecas tradicionais. São os novos tempos em que uma produção científica se confunde com o seu bilhete de identidade, o *DOI* (*digital object identifier*), ao qual, curiosamente, a RCE já aderiu. Tudo muito rápido e acessível na hora de uma eventual busca bibliográfica, a contrastar com o mesmo ritual de há três décadas, em que se esperava a hora de determinada revista chegar aos escaparates das bibliotecas, sendo o seu índice uma autêntica surpresa! Vivemos então num período promissor, tanto para o investigador, que vive permanentemente ávido de novidades e de perceber o impacto da sua investigação, como para qualquer agente de ensino, na sustentação da sua prática letiva diária e na atualização contínua dos seus conhecimentos.

A ciência está assim disponível a todos. E não é de ninguém. Nem exclusiva do autor ou autores dos estudos científicos, nem se encerra nos conceitos e premissas, que re-

sultaram de investigações mais ou menos robustas. Embora os obreiros sejam, em determinados contextos, cada vez mais esquecidos na hora em que as ideias passam para o papel dos novos tempos, a internet. Nada estará perdido se as clássicas referências bibliográficas forem convertidas na linguagem moderna, através de um *DOI* ou de um *link*! Mesmo assim, uma ciência sem rosto. Mas todo este novo paradigma parece ter um lado que nos deverá reservar alguma inquietação. Eu diria mais, muita preocupação. Algo cada vez mais visível na *praxis* dos relatórios académicos, desenvolvidos pelos nossos estudantes universitários, onde já se chegou ao extremo em que pode valer tanto uma página de uma revista científica consagrada, como uma notícia jornalística – a má, será obviamente, ainda pior –, um excerto de um *blog* ou uma imagem plasmada nas redes sociais virtuais, comentada com aparente boa vontade, mas de forma nada refletida. A simplicidade do ato de *googlar* contraria a aparente habilidade para encontrar o sítio certo para aceder à informação científica mais fidedigna. O sério problema da validação da informação. Como consequência, o culto de uma informação científica com base em fontes que não o são, da inexistência de escrutínio, a que acresce a ausência de espírito crítico por parte do usuário. A atitude que se tornou comum é a facilidade com que se copia informação científica – é desta que falamos –, tantas vezes de forma incorreta, e como é promovida no quotidiano, seja qual for o canal. Sem o mínimo de critério e a falta de discernimento de que se está a contribuir para alguma entropia. Até vou mais longe, é o caos. Estamos na era onde se confunde conhecimento científico, comunicação científica, com tudo o resto, pouco ou nada sustentado. O pior, o culto e a perpetuação do erro. No pico do alarme, estão as novas gerações que têm os olhos no mundo global. Ou seja, em tudo o que é “acumulado” na *internet*. Onde aquilo que é correto e incorreto, em matéria científica, parece não fazer grande diferença. É neste estado de graça, que todos temos que tentar corrigir este caminho. Fica o pedido de reflexão...e de ação. Mesmo sabendo que a perfeição nunca será atingida.

Luís Vítor Duarte

MARE/ DCT/ Universidade de Coimbra

Gilbert Lewis

Raquel Gonçalves-Maia

DQB/ Universidade de Lisboa

Gilbert Newton Lewis (1875–1946), químico e físico norte-americano, distinguiu-se em três áreas científicas: termodinâmica, ligação química e isótopos. O seu livro *Thermodynamics and the Free Energy of Chemical Substances* foi uma obra fundamental no ensino universitário. As configurações eletrônicas de valência de acordo com a famosa *notação de Lewis* ilustram a ligação química e permitiram novos conceitos de ácido e de base. Os seus estudos sobre a água pesada foram relevantes no desenvolvimento da química isotópica. Lewis foi um inovador na dinâmica ensino/investigação na universidade.

Gilbert Lewis foi o segundo filho do casal Frank Wesley Lewis e Mary Burr White. Nasceu em Weymouth, Massachusetts, EUA, em outubro de 1875. Tinha uma irmã, Mary Hannibal, e veio a ter um irmão, Roger. A mãe recebera uma esmerada educação e o pai era advogado e corretor. Durante a infância e parte da adolescência, Gilbert Lewis (FIGURA 1) auferiu ensino informal, em casa. Muito precoce, lia aos três anos de idade. Aprendeu latim, grego, alemão e francês, escrevia com elegância e humor, sabia química, física e matemática, e dominava temas de antropologia, geologia, biologia e economia. Música, literatura, história e teatro faziam parte da sua cultura geral. Em contrapartida, a fraca sociabilização a que foi votado não lhe terá sido benéfica.



FIGURA 1. Gilbert Newton Lewis (Fonte: Wikimedia Commons).

Pares de elétrons de valência são representados por um traço, cada elétron de ligação por um simples ponto ou cruz. Em paralelo, Gilbert Lewis, introduziu um novo conceito de ácido e base. Uma espécie que receba pares de elétrons é um ácido e uma que os ceda é uma base. Esta extensão da teoria da ligação de valência e dos seus pares de elétrons surge em 1938.

Logo após a descoberta do deutério por Harold Urey (1893-1981) em 1931, Lewis e colegas estudaram propriedades físicas do deutério e da água pesada e o seu efeito na ionização de ácidos e de bases no crescimento e desenvolvimento de plantas e animais.

Gilbert Lewis foi o cientista mais vezes nomeado para receber o Prémio Nobel da Química (35 vezes), o que nunca lhe foi concedido – uma injustiça monumental. A forma restrita de olhar, ao tempo, o legado de Nobel, a frontalidade agressiva de Lewis em relação a reputados cientistas, a sua animosidade para com Irving Langmuir (1881-1957) e o seu isolamento social foram fatores determinantes. Gilbert Lewis sentiu-se magoado. Foram muitas as honras que recebeu e muitas as que declinou. Merecem especial relevo a atribuição do *Willard Gibbs Award* (1924) e da *Davy Medal* (1928); e a criação *post mortem* da *Gilbert Newton Lewis Medal* pela *American Chemical Society* (secção da Califórnia).

Em 1912 Gilbert Newton Lewis desposou Mary Hinckley Sheldon, filha de Edward Stevens Sheldon, distinto professor da Universidade de Harvard. O casal teve três filhos: Richard Newton em 1916, Margery em 1917 e Edward Sheldon em 1920. Os dois rapazes foram químicos. Lewis veio a falecer no seu laboratório, em março de 1946, no decurso de uma experiência envolvendo cianeto de hidrogénio. Um pacto de silêncio envolve a sua morte.

Um charuto, um jogo de póquer e um raro poder de raciocínio e de planeamento, assim era Gilbert Newton Lewis, um dos mais fecundos químicos do século XX.

Equação do 2º grau

João Nuno Tavares, Ângela Geraldo

CMUP/ Universidade do Porto

Uma equação do 2º grau (ou equação quadrática) é qualquer equação da forma $ax^2 + bx + c = 0$ onde x representa a incógnita e a , b e c representam números conhecidos, com $a \neq 0$.

Equações do 2º grau incompletas

Uma equação do 2º grau (ou equação quadrática) incompleta é uma equação do tipo $ax^2 + c = 0$ ou $ax^2 + bx = 0$, onde a , b e c são números reais ou complexos com $a > 0$. Para resolver uma equação incompleta do tipo $ax^2 + bx = 0$ usamos as operações usuais de resolução de equações do 1º grau. Logo,

$$ax^2 + c = 0 \Leftrightarrow ax^2 = -c \Leftrightarrow x^2 = \frac{-c}{a} \Leftrightarrow x = -\sqrt{\frac{-c}{a}} \vee x = \sqrt{\frac{-c}{a}}$$

- Se $c = 0$ a equação tem apenas uma solução $x = 0$;
- Se $c < 0$ as soluções da equação são números reais $x = -\sqrt{\frac{|c|}{a}} \vee x = \sqrt{\frac{|c|}{a}}$;
- Finalmente se $c > 0$, a equação $ax^2 + c = 0$, tem duas soluções

$$x = -i\sqrt{\frac{|c|}{a}} \vee x = i\sqrt{\frac{|c|}{a}}$$

Já para resolver uma equação quadrática do tipo $ax^2 + bx = 0$, comecemos por notar que $ax^2 + bx$ pode ser escrito como um produto de fatores (observemos que a incógnita x é comum aos dois termos e por isso podemos colocar x em evidência). Assim, usando o produto de fatores e a lei do anulamento do produto podemos resolver a equação da seguinte forma:

$$ax^2 + bx = 0 \Leftrightarrow x(ax + b) = 0 \Leftrightarrow x = 0 \vee ax + b = 0 \Leftrightarrow x = 0 \vee x = \frac{-b}{a}$$

Equações do 2º grau completas

Uma equação do 2º grau completa é do tipo $ax^2 + bx + c = 0$ onde a , b e c são nú-

meros reais ou complexos com $a \neq 0$. Para resolver esta equação podemos "completar o quadrado", fazendo o seguinte

$$\begin{aligned} ax^2 + bx + c = 0 &\Leftrightarrow x^2 + \frac{b}{a}x + \frac{c}{a} = 0 \\ \Leftrightarrow x^2 + \frac{b}{a}x + \left(\frac{b}{2a}\right)^2 - \left(\frac{b}{2a}\right)^2 + \frac{c}{a} &= 0 \\ \Leftrightarrow \left(x + \frac{b}{2a}\right)^2 - \left(\frac{b}{2a}\right)^2 + \frac{c}{a} &= 0 \\ \Leftrightarrow \left(x + \frac{b}{2a}\right)^2 &= \frac{b^2 - 4ac}{4a^2} \\ \Leftrightarrow x + \frac{b}{2a} &= \pm \frac{\sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \end{aligned}$$

donde se deduz finalmente a famosa fórmula resolvente

$$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

- Se o discriminante $\Delta = b^2 - 4ac$ for igual a zero, a equação tem uma única raiz dupla igual a $x = \frac{-b}{2a}$;
- Se $\Delta > 0$ a equação tem duas raízes reais distintas x_1 e x_2 tais que $x_1 = \frac{-b + \sqrt{\Delta}}{2a}$ e $x_2 = \frac{-b - \sqrt{\Delta}}{2a}$;
- Já se $\Delta < 0$ a equação não tem soluções reais mas tem duas raízes complexas x_1 e x_2 tais que $x_1 = \frac{-b + i\sqrt{|\Delta|}}{2a}$ e $x_2 = \frac{-b - i\sqrt{|\Delta|}}{2a}$

Resolução geométrica de al-Khwarizmi

Para ilustrar a resolução de uma equação de 2º grau proposta por al-Khwarizmi, vamos utilizar a equação $x^2 + 10x = 39$

A resolução é puramente geométrica. O quadrado x^2 e o produto $10x$ são representados literalmente por um quadrado de lado x e por dois retângulos de lados 5 e x , respetivamente, como se ilustra na FIGURA 1.

O quadrado extra de área 25 "completa o quadrado" de lado $5+x$, sendo a área total desse quadrado igual a $25+39=64$, uma vez que $x^2 + 10x = 39$. Portanto,

$$\text{área do quadrado grande} = (x + 5)^2 = 64 \Rightarrow x + 5 = 8 \Rightarrow x = 3.$$

Al-Khwarizmi não admitia comprimentos negativos e, por isso, não considera a solução $x = -13$ da equação $x^2 + 10x = 39$.

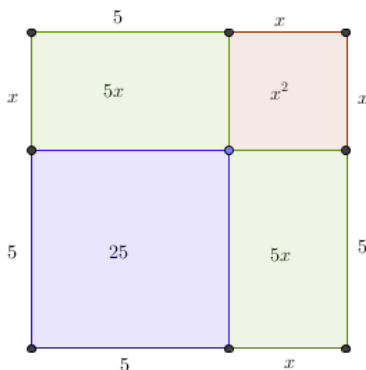


FIGURA 1. Resolução de uma equação de 2º grau proposta por al-Khwarizmi.

Um problema muito antigo

Os problemas que conduzem à resolução de uma equação do segundo grau estão entre os mais antigos da Matemática. Em textos cuneiformes escritos pelos babilônios há 4 mil anos, encontramos, por exemplo, o problema de encontrar dois números conhecendo a sua soma s e seu produto p .

Em termos geométricos, se os dois números s e p forem estritamente positivos, este problema consiste em determinar os comprimentos dos lados de um retângulo, conhecendo o semi-perímetro s e a sua área p .

Os números procurados são as raízes da equação de 2º grau $x^2 - sx + p = 0$.

De facto, se um dos números é x , o outro número será $s - x$, o seu produto é $p = x(s - x) = sx - x^2$ e portanto $x^2 - sx + p = 0$.

Exemplo

Consideramos então o problema de encontrar dois números cuja soma é igual a 8, ou seja $s = 8$, e cujo produto é igual a -65 , ou seja $p = -65$. Os números procurados serão então as soluções da equação quadrática $x^2 - 8x - 65 = 0$.

Pela fórmula resolvente temos então que:

$$x = \frac{-(-8) \pm \sqrt{8^2 - 4 \times 1 \times (-65)}}{2 \times 1} \Leftrightarrow x = \frac{8 \pm \sqrt{324}}{2} \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow x = \frac{8 + 18}{2} \vee x = \frac{8 - 18}{2} \Leftrightarrow x = 13 \vee x = -5$$

Os números procurados são então o número 13 e o número -5 . Podemos verificar que $s = 13 + (-5) = 8$ e que $p = 13 \times (-5) = -65$.

O Princípio da Incerteza

Eduardo Lage
Universidade do Porto

A teoria quântica é a mais eficaz e precisa interpretação do mundo físico. Contudo, muitos dos seus conceitos e resultados parecem desafiar o senso comum, dando-lhe um ar de mistério e exoterismo só tolerados perante o seu enorme sucesso. A base fundamental da teoria é o Princípio da Incerteza – se for violado por uma experiência real ou conceptual, a teoria quântica cai sem apelo. É este Princípio que aqui é exposto e interpretado.

A mecânica quântica nasceu em Dezembro de 1900 quando Max Planck deduziu a expressão matemática que obtivera, dois meses antes, como ajuste numérico, mas muito preciso, aos resultados experimentais relativos à intensidade da radiação emitida por um corpo negro. Na sua dedução, Planck postulou que um oscilador harmónico, de frequência natural ν , só pode ter as energias $E_n = n h \nu$ com $n = 0, 1, 2, \dots$ e $h = 6,676\dots \times 10^{-34}$ Js uma constante que passou a ser conhecida por constante de Planck.

Em 1905, Albert Einstein analisou as flutuações de energia da radiação do corpo negro, concluindo que cada onda eletromagnética, de frequência ν , da radiação electromagnética transporta uma energia quantificada, como se fosse constituída por partículas com uma energia individual $h\nu$, hipótese que viria a ser confirmada no efeito fotoelétrico. O quantum de luz passou, mais tarde, a designar-se por fóton.

Em 1913, Niels Bohr introduz o quantum no átomo de hidrogénio, postulando que as órbitas permitidas estão quantificadas nos estados estacionários, havendo emissão ou absorção de um fóton quando o eletrão salta de uma dessas órbitas para outra, obtendo desse modo as séries espectrais dos hidrogenóides (átomos ou iões com um único eletrão).

Em 1924, na sua tese de doutoramento, Victor de Broglie introduz a hipótese de cada partícula ter associada uma onda de comprimento:

$$\lambda = \frac{h}{p} \quad (1)$$

onde p é o momento linear da partícula. Mostra que as órbitas permitidas de Bohr não são mais do que estados estacionários destas ondas.

Estes resultados, cada um dos quais merecedor de um artigo mais elaborado, estão, claramente, em contradição com a Física Clássica, mas revelaram-se de enorme valor na exploração inicial das propriedades atômicas e moleculares, fundamentando o que passou a ser conhecido por teoria quântica-clássica, um conjunto de regras enxertadas em modelos clássicos, justificando-se, apenas, pelo acordo com a experiência. Esta teoria ainda hoje é utilizada como primeira abordagem a um novo problema e constitui, realmente, a base da linguagem que usamos para descrever fenômenos à escala atômica.

Em Junho de 1925, Werner Heisenberg (FIGURA 1) inventa a mecânica matricial, um formalismo baseado unicamente em grandezas observáveis, representadas por matrizes, tendo ele mesmo deduzido o resultado de Planck e, no mesmo ano, Wolfgang Pauli obtém, usando aquela mecânica, a quantificação dos níveis de energia de Bohr. Em Outubro de 1925, Max Born e Pascual Jordan publicam a teoria completa da mecânica matricial, da qual deduzem um resultado bastante estranho:

$$\mathbf{x}\mathbf{p}_x - \mathbf{p}_x\mathbf{x} = i\frac{h}{2\pi}\mathbf{1} \quad (2)$$

Aqui, \mathbf{x} e \mathbf{p}_x são matrizes associadas, respetivamente, com a posição e o momento linear de uma partícula (e $\mathbf{1}$ é a matriz unidade). Mas qual o significado físico desse resultado?

Em Janeiro de 1926, Erwin Schrödinger apresenta a mecânica ondulatória, baseada na hipótese de Victor de Broglie, e introduz a equação, que passou a ter o seu nome, para a função de onda ψ que descreve a partícula (ou, mais geralmente, o sistema), deduzindo quer a quantificação de Planck, quer os níveis de energia de Bohr e mostrando que o seu formalismo era equivalente ao de Heisenberg.



FIGURA 1. Werner Heisenberg (1901-1976) (Fonte: Wikimedia Commons).

Mas qual o significado físico destes formalismos? Um primeiro passo foi obtido por Born: a função de onda $\psi(x)$ contém toda a informação sobre a partícula, sendo que: $|\psi(x)|^2 dx$ é a probabilidade de uma medição da posição da partícula a encontrar em $[x, x + dx]$.

Há, assim, um indeterminismo intrínseco na Mecânica Quântica, em completo contraste com o determinismo da Física Clássica. Com a interpretação de Born, podemos calcular onde, em média, se localiza a partícula:

$$\langle x \rangle = \int dx |\psi(x)|^2 x$$

e, de modo análogo, se definem momentos de maior ordem. Em particular, o desvio padrão da posição:

$$\delta x = \sqrt{\langle x^2 \rangle - \langle x \rangle^2}$$

Deste modo, podemos dizer que, com grande probabilidade, a partícula será encontrada em $[\langle x \rangle - \delta x, \langle x \rangle + \delta x]$. Algumas observações importantes:

1ª O desvio padrão não tem qualquer relação com erros experimentais na medição da posição. Tais erros podem, em princípio, ser eliminados, reduzidos ou compensados. O desvio padrão, tal como a média, informa como se distribuem os resultados da medição das posições de um grande número de partículas idênticas, independentes e igualmente preparadas inicialmente, *i.e.*, descritas pela mesma função de onda.

2ª Após a medição da posição da partícula, a função de onda não é mais a anterior $\psi(x)$ - diz-se que esta função de onda colapsou. A nova função de onda leva em conta o resultado obtido pela medição.

Podíamos, é claro, optar por medir o momento linear da partícula. Para tal, a sua distribuição de probabilidades é obtida a partir da transformada de Fourier de $\psi(x)$:

$$\phi(p_x) = \frac{1}{\sqrt{h}} \int dx e^{i\frac{2\pi x p_x}{h}} \psi(x)$$

Então, $|\phi(p_x)|^2 dp_x$ tem o mesmo significado anterior, agora adaptado a uma medição do momento linear, *i.e.*, $|\phi(p_x)|^2 dp_x$ é a probabilidade de uma medição do momento linear da partícula a encontrar em $[p_x, p_x + dp_x]$. E, de modo análogo, definiremos $\langle p_x \rangle$ e δp_x , respetivamente, o valor médio e o desvio padrão do momento linear, mantendo-se as observações atrás apresentadas:

$$\langle p_x \rangle = \int dp_x |\phi(p_x)|^2 p_x$$

$$\delta p_x = \sqrt{\langle p_x^2 \rangle - \langle p_x \rangle^2}$$

Ora, da eq. (2), deduz-se:

$$\delta x \delta p_x \geq \frac{h}{4\pi} \quad (3)$$

Este resultado significa que medições infinitamente precisas e simultâneas da posição e do momento linear são impossíveis, em total contraste com a Física Clássica. Nada obsta a que, por exemplo, uma medição da posição tenha um erro ε_x mas, então, a determinação simultânea do momento linear terá uma imprecisão $\varepsilon_{p_x} \geq \frac{h}{4\pi}$. É este o conteúdo do Princípio da Incerteza e a eq. (3) é a sua tradução matemática. Os pares de variáveis, tais como x e p_x , satisfazendo à eq. (2) e, portanto, obedecendo ao Princípio da Incerteza, designam-se por variáveis conjugadas.

Alguns exemplos ilustrativos são apresentados no artigo completo que pode ser consultado em rce.casadasciencias.org/rceapp/art/2020/004/.

Por último, o leitor questionará: o fóton ou o eletrão são, afinal, partículas ou ondas? A resposta, seguindo Bohr, é a seguinte: a Física não se debruça sobre o que é, mas sim sobre como se comporta. E o mesmo Bohr dá uma definição de fenómeno que passou a ser aceite por toda a comunidade física: um fenómeno é uma observação, incluindo os meios usados para observar. Assim, as palavras “fóton” ou “eletrão” designam fenómenos que se comportam como “partículas” quando usamos métodos para detetar partículas e se comportam como “ondas” quando usamos métodos para detetar ondas. Os dois comportamentos nunca são observados em simultâneo e ambos informam sobre tais fenómenos, autoexcluindo-se, mas complementando-se. Tal é o conteúdo do Princípio da Complementaridade.

Arsénio

De veneno dos reis a rei dos venenos

Manuel João Monte

DQB/ Universidade do Porto

O arsénio é um metaloide que existe combinado, geralmente, com enxofre em vários minerais. A sua descoberta como elemento químico, em 1250, é atribuída a *Alberto Magno* um importante erudito medieval que viria a ser canonizado, no século XX, tendo sido proclamado santo padroeiro dos cientistas. As principais aplicações industriais do arsénio devem-se às suas propriedades de semicondutor, essenciais em vários dispositivos eletrónicos. A elevada toxicidade transformou-o num discreto *homicida*, muito utilizado nesse sinistro papel desde a antiguidade até finais do século XIX, embora também tenha sido usado em preparações cosméticas ou como tratamento de diversas enfermidades.

Na forma elementar, o arsénio foi isolado pela primeira vez em 1250, através do aquecimento de uma mistura de sabão com sulfureto de arsénio (III). Os créditos dessa descoberta foram atribuídos a *Alberto Magno* (FIGURA 1), filho primogénito do *Conde de Bollstadt*, nascido por volta do ano 1200 na Baviera. *Alberto* foi um notável erudito, tendo sido um importante divulgador das obras de Aristóteles que estudou e comentou exaustivamente. Tal como o seu contemporâneo *Roger Bacon*, contrariou as ideias teológicas mais conservadoras, acreditando que a Ciência e a Teologia seriam complementares. Especialista nesta disciplina e em Filosofia, estudou os diversos campos das ciências, incluindo a alquimia, sendo um prolífico autor de obras que muito contribuíram para os avanços do conhecimento medieval. Foi nomeado Bispo de *Regensburgo* pelo *Papa Alexandre IV*, em 1260, tendo falecido a 15 de novembro de 1280. Em 1622, foi beatificado pelo *Papa Gregório XV* e, três séculos mais tarde (em 1931), foi canonizado como *Santo Alberto Magno* e proclamado *Doutor da Igreja*, pelo *Papa Pio XI*, vindo a ser também proclamado *Santo Padroeiro* dos cientistas em 1941.



FIGURA 1. Alberto Magno (Fonte: Wikimedia Commons).

Cosméticos, medicamentos e venenos

Os compostos contendo arsênio, em geral sulfuretos, fazem parte de vários minerais (FIGURA 2), como o popularmente conhecido por *ourupimento* (As_2S_3), devido à sua cor, e o *realgar* (As_4S_4), de cor vermelha intensa. Estes minerais eram já conhecidos no antigo Egito, bem como pelos chineses, gregos e romanos, sendo utilizados em pintura e cosméticos, e como depiladores da pele. Atualmente, o principal minério de arsênio é a *arsenopirite* (FeAsS), tendo a primeira referência a este mineral aparecido em 1556, com o nome de *Mistpuckel*, no livro *De Re Metallica* do alemão *Georgius Agricola*.



FIGURA 2. Ourupimento (As_2S_3); Realgar (As_4S_4); Arsenopirite (FeAsS) (Fonte: Antônio Moura (*ourupimento*) e Wikimedia Commons).

O arsênio é modernamente utilizado na manufatura de ligas metálicas e em eletrônica, sendo o arsenieto de gálio (GaAs) um importante semiconductor empregue em diversos dispositivos eletrônicos e optoeletrônicos. A palavra arsênio é geralmente também utilizada para designar o composto trióxido de arsênio (As_2O_3), popularmente conhecido como

arsénio branco, um pouco simpático subproduto da exploração de minérios de ouro, cobre, chumbo, estanho e zinco.

Os elementos arsénio, chumbo e mercúrio, apesar de constituírem uma tríade tóxica, foram, desde longa data, incorporados em cosméticos, tónicos, elixires e medicamentos. O arsénio e o chumbo eram usados para clarear a pele, conferindo-lhe uma palidez muito apreciada pelas senhoras nos séculos XVIII e XIX, enquanto o mercúrio era utilizado especialmente para retirar manchas e outras imperfeições da pele. Na antiga Roma, os compostos de arsénio eram usados para depilação (um *must* aristocrático, mesmo para homens). O acetato de chumbo (ou açúcar de chumbo, como era conhecido) era obtido através da fervura de sumo de uva em recipientes de chumbo e adicionado aos vinhos, conferindo-lhes menos acidez e um sabor adocicado muito apreciado na época. Suspeita-se que o consumo excessivo e continuado deste vinho tenha sido responsável pela insanidade de alguns imperadores romanos. Como medicamento, o cloreto de mercúrio(I) (também conhecido por *calomelano*) era comercializado com o sugestivo nome de *calomel*. Como alternativa, existia a *pílula azul* que continha mercúrio elementar. Estes medicamentos eram prescritos para o tratamento de variadas doenças, incluindo a sífilis, tendo ficado famoso o preventivo aviso “*uma noite com vénus, toda a vida com mercúrio*”. O arsénio, que também foi utilizado para combater aquela doença, fazia parte de diversas preparações que eram recomendadas para combater várias debilidades físicas ou mentais dos pacientes.

A elevada toxicidade dos compostos de arsénio levou ao seu aproveitamento como herbicida, pesticida, fungicida e raticida. Mas a sua utilização como *homicida* era inevitável. Pode dizer-se que até ao início da revolução industrial (finais do século XVIII), o arsénio era considerado *o veneno dos reis*, sendo frequentemente utilizado por aristocratas para eliminar rivais ou inimigos. Com o incremento da exploração mineira de ouro e de outros metais, vastas quantidades de arsénio branco (um nefasto produto secundário) foram produzidas. Sem grandes restrições ao seu comércio, sem cheiro ou sabor e, frequentemente, sem deixar inequívocos indícios criminosos, a utilização de arsénio em homicídios democratizou-se e este elemento passou a ter fama de *rei dos venenos*. Este é um merecido título atendendo às inúmeras vítimas provocadas pelo seu protagonismo discreto em envenenamentos acidentais ou criminosos ocorridos em vários países.

A Italianização Arsénica

Ficaram famosos os múltiplos envenenamentos cometidos pelos *Borgia* e pelos *Medici* na Itália renascentista. As repercussões europeias dos frequentes assassinatos foram tão grandes que uma nova palavra - *italianated* - nasceu na língua inglesa no século XVI, sendo muitas vezes usada em alternativa à palavra *poisoned*. Mas o título de envenenador-mor de Itália poderá muito justamente ser atribuído a *Giulia Tofana*, nascida em Palermo no século XVII. *Giulia* vendia, com notável sucesso, uma poção contendo arsénio desig-

nada *aqua Tofana*, que possuía alegadas propriedades cosméticas mas que era sobretudo procurada por senhoras, descontentes com os seus maridos, que almejavam ser promovidas à condição de alegres viúvas. A ingestão da poção contendo a dose de arsénio meticulosamente acertada por *Giulia*, era repartida por sucessivas tomas, misturada com vinho, cerveja, sopa, ou outros alimentos. O conseqüente envenenamento subagudo provocava nas vítimas sintomas que eram normalmente confundidos com os inerentes a doenças naturais e muitos dos crimes ficaram impunes. Consta que tenham sido envenenadas com *aqua Tofana* mais de 600 pessoas, maioritariamente homens. *Giulia* acabou por ser presa em Roma, tendo confessado os seus crimes, provavelmente sob tortura. Foi executada por enforcamento, juntamente com a sua filha, *Girolama Spera* (com quem fazia parceria), em julho de 1659.

A Arsenização Britânica

No século XVI, a Inglaterra não tinha ainda telhados de vidro relativamente à frequência de envenenamentos e os ingleses podiam dar-se ao luxo de inventar palavras que caricaturavam o que se passava em Itália. Mas, a partir dos finais do século XVIII, o número de mortes decorrentes do envenenamento por arsénio na Grã-Bretanha começou a ser preocupante, atingindo proporções alarmantes no século XIX, em especial ao longo dos anos 40. Além disso, alguns carvões (usados na indústria e no aquecimento doméstico) continham teores de arsénio apreciáveis que, durante a queima, se libertava para a atmosfera, poluindo o ar e contaminando solos e águas quando era arrastado pelas chuvas.

O trióxido de arsénio forma-se durante a ustulação de minérios que o contêm, a temperaturas entre 450 e 650°C, em fase gasosa. Depois de solidificado por arrefecimento é guardado em depósitos apropriados às precauções requeridas pela sua elevada toxicidade. No século XIX, o arsénio branco, que era um subproduto barato da então florescente exploração mineira, ia sendo acumulado, em diversas cidades do Reino Unido, em quantidades crescentes. O arsénio comprado a retalho era principalmente destinado ao envenenamento de ratos domésticos, mas alguns dos clientes, que invocavam este objetivo junto do vendedor, almejavam assassinar animais racionais. O assustador número de vítimas de ingestão do veneno, acidental ou criminosa, frequentemente noticiadas, com algum sensacionalismo, pelo *The Times*, chegou a gerar pânico na população do Reino em grande parte do século. A liberdade com que se vendia e comprava arsénio e o seu módico custo – pelo preço de um ou dois jornais diários era possível comprar a quantidade mínima comerciável (cerca de 28 g), quantidade suficiente para envenenar dezenas de pessoas – facilitaram a sua utilização em inúmeros homicídios de adultos e crianças que, frequentemente, eram assumidos como mortes provocadas por causas naturais. O arsénio era vendido livremente, a qualquer pessoa, em lojas que também comercializavam produtos alimentares como farinha, açúcar, fermento em pó, etc. A ausência de cheiro e sabor, e a cor branca (comum

a todos aqueles pós) propiciavam confusões de trágicas consequências e facilitavam também a sua utilização criminosas.

A partir dos finais dos anos 30 do século XIX a indústria seguradora revelava-se pujante existindo uma vasta oferta de seguros de vida, que fez aumentar a motivação de mais desalmados para envenenar com arsénio. Em 1850 existiam no Reino Unido 180 seguradoras que garantiam prémios até 150 milhões de libras. Havia também oferta de seguros de funeral, a baixo custo, que se tornaram muito populares entre as classes mais pobres. Há notícia de que mães desesperadas, por falta de recursos para alimentar os filhos, envenenavam parte deles para receber o prémio do seguro de funeral a que oportunamente tinham aderido e assim conseguir matar a fome das restantes crianças.

Uma esperança no combate à proliferação dos envenenamentos criminosos surgiu com a divulgação, pelo Químico *James Marsh* no *Edinburgh New Philosophical Journal*, em 1836, de um teste específico e muito sensível à presença de arsénio no corpo humano. Até então não existia um método razoável para detetar trióxido de arsénio nos corpos autopsiados, o que permitia aos criminosos alimentar fortes esperanças de ficarem impunes. No início dos anos 40, o *Pharmaceutical Journal* profetizava que a praga de assassínios com arsénio teria os dias contados, pois o teste de *Marsh* iria seguramente desmotivar muitos potenciais criminosos. Mas os vaticínios não se confirmaram e o número de homicídios por arsénio não desceu logo, tendo mesmo atingido um pico no decorrer dessa década. O teste de *Marsh*, por ser sensível a pequeníssimas quantidades de arsénio, acusava frequentemente falsos positivos - o arsénio detetado era, por vezes, resultante de vestígios de impurezas alheias ao pressuposto veneno. Como foi demonstrado em alguns julgamentos, os resultados dos testes poderiam ser afetados por impurezas arsénicas presentes nos reagentes utilizados (ácido sulfúrico e zinco). Por outro lado, a realização do teste requeria competências específicas de técnicos experientes, sob pena de não ser conclusivo ou até de matar o próprio técnico por envenenamento com o gás arsina (AsH_3), formado durante as reações químicas inerentes ao teste. O gás era sujeito a combustão transformando-se em arsénio elementar, que se depositava em filme, de cor cinzenta metálica, numa placa de vidro (*espelho de arsénio*), acusando visualmente a sua presença. Mas havia o risco de fugas e até 1900 foram registadas, pelo menos, oito mortes devidas à inalação de arsina por operadores negligentes, pouco habilitados, ou com nariz pouco eficaz - o único sinal de alarme era o cheiro a alho proveniente do mortífero gás.

Matérias-primas críticas: Zona de Ossa-Morena

Noel Moreira, José Roseiro, Miguel Maia,
Diogo São Pedro, Paula Afonso, Pedro Mendes, Pedro Nogueira
ICT/ DG/ Universidade de Évora

A Zona de Ossa-Morena, que engloba grande parte do território alentejano, é uma zona paleogeográfica do território nacional. A sua complexa evolução geológica faz com que esta zona apresente uma riqueza significativa no que diz respeito à ocorrência de uma diversidade de matérias-primas, contendo 13 das 27 matérias-primas críticas presentes na lista definida pela União Europeia (não obstante as suas baixas tonelagens), para além de matérias-primas estratégicas como o ouro ou a prata. No presente trabalho, introduz-se os critérios utilizados para a definição de criticidade das matérias-primas, assim como a sua distribuição em Portugal, dando especial ênfase às matérias-primas identificadas na Zona de Ossa-Morena.

Os recursos minerais são matérias-primas não renováveis que se encontram na base de uma cadeia de processos de transformação, que culminam em produtos necessários ao bem-estar da sociedade. A exploração destes recursos tem um peso bastante significativo na economia de qualquer país ou região. Portugal assim como a União Europeia (UE) não são exceções, sendo que estas matérias-primas são fundamentais não só para o desenvolvimento socioeconómico e tecnológico, mas também para a manutenção da qualidade de vida das populações. Apesar da exploração destas matérias-primas ser imprescindível, a sua disponibilidade é variável, devido quer a fatores intrínsecos, quer extrínsecos aos processos geológicos que os geram. Dos fatores extrínsecos salienta-se a volatilidade dos preços de mercado para os vários metais, a gestão por parte das entidades responsáveis, as questões de índole ambiental, as questões socioeconómicas e geopolíticas (como são exemplos os conflitos armados ou os embargos económicos), entre outros. Estas adversidades, concomitantemente com o aumento da procura destas matérias-primas, levaram a Comissão Europeia a criar uma lista, revista periodicamente.

mente, de matérias-primas críticas (também denominadas de matérias-primas essenciais) à economia da UE, tendo em conta (FIGURA 1): o risco de escassez de aprovisionamento, ou seja de abastecimento da UE e a importância económica de cada uma das matérias-primas identificadas, que depende necessariamente das reservas internas da UE. No risco de abastecimento, foi tido em consideração a existência de conflitos a nível político, ambiental e socioeconómico nos países abastecedores, o índice de substituição e a taxa de reciclagem para cada uma das matérias-primas avaliadas. Outras metodologias de avaliação e definição das matérias-primas críticas, naturalmente, terão em conta outros parâmetros. A título de exemplo refere-se a metodologia de Graedel e colaboradores (2015), que propõem três critérios distintos para definir a criticidade das matérias-primas (FIGURA 2): vulnerabilidade às restrições no abastecimento, risco de abastecimento e implicações ambientais.

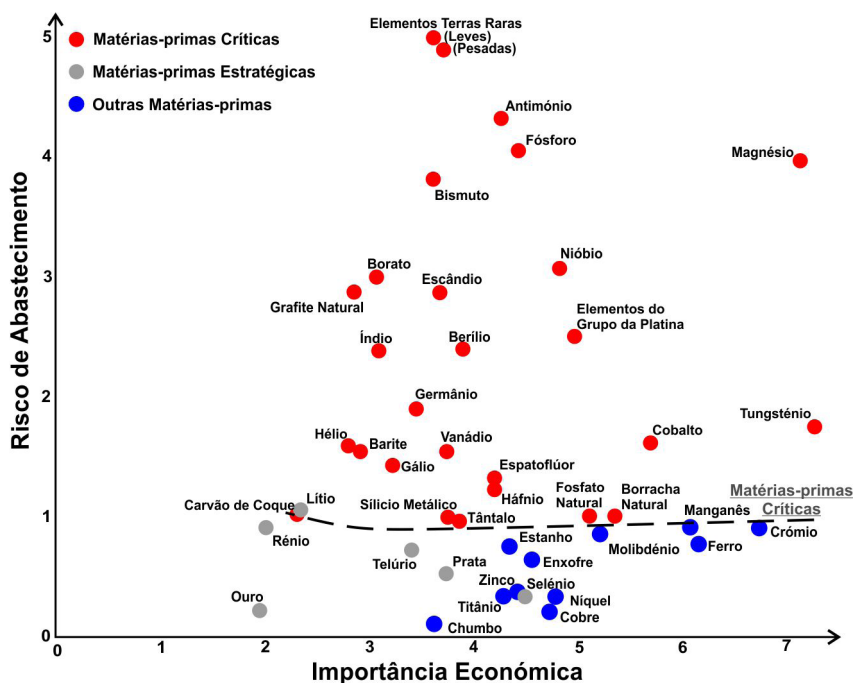


FIGURA 1. Relação gráfica entre o risco de fornecimento e importância económica que levam à identificação de 27 matérias-primas críticas para a União Europeia.

Da lista de 27 matérias-primas críticas da UE (FIGURA 1) fazem parte metais tais como o tungsténio, o cobalto, o vanádio, o magnésio, o berílio, os elementos do grupo das terras raras e das platinas, o nióbio, o tântalo, o háfnio, o bismuto, o gálio, o índio e o escândio, assim como metalóides, elementos não metálicos ou compostos tais como o antimónio, o germânio, o fósforo, o hélio, o carvão de coque, a grafite natural, a borracha natural, o silício metálico, a barite, o borato, o fosfato natural e o estatoflúor (fluorite). Consideram-se ainda como estratégicas as matérias-primas com um peso significativo no desenvolvimento tecnológico

e industrial e que são suscetíveis de destabilização na produção em caso de conflitos geopolíticos, como o ouro, a prata, o lítio, o rênio, o selênio e o telúrio. Como tal, é de extrema importância que os países da UE caracterizem e quantifiquem os seus recursos minerais, em particular os considerados críticos ou estratégicos.

Portugal, embora um país de pequenas dimensões, tem uma elevada diversidade de recursos minerais, hospedando algumas das matérias-primas minerais críticas previamente mencionadas. Estas ocorrências de matérias-primas críticas distribuem-se por todo o país, e estão fortemente condicionadas pelo contexto geológico regional e pelos processos geológicos atuantes, nomeadamente pelo tipo de rocha e pelas suas estruturas, que condicionam a sua acumulação ou dispersão.

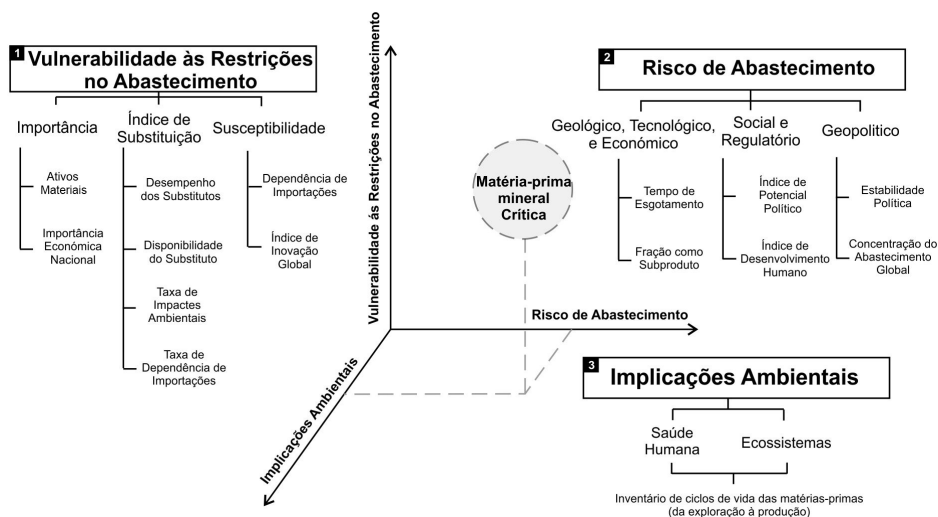


FIGURA 2. Diagrama metodológico utilizado por Graedel e colaboradores para definição das matérias-primas críticas. Os três critérios usados (1 - vulnerabilidade às restrições no abastecimento; 2 - risco de abastecimento e 3 - implicações ambientais) incluem um conjunto de indicadores que são explanados neste diagrama.

Ambas as características estão intrinsecamente relacionadas com a evolução geodinâmica do território nacional.

A esmagadora maioria das ocorrências de matérias-primas minerais críticas em Portugal estão naquilo a que vulgarmente se designou de Maciço Hespérico (ou Maciço Antigo). Este domínio geotectónico nacional é caracterizado pela presença de abundantes rochas magmáticas e metamórficas, de idade essencialmente neoproterozóica e paleozóica, as quais resultaram de um conjunto de processos geológicos associados à abertura e fecho de bacias oceânicas, que culmina com a formação da Pangeia durante o Paleozóico superior. Tendo em conta as particularidades geológicas do território, foi identificado um zonamento interno, separando-se assim diversas zonas (FIGURA 3A); de Norte para Sul: Zona Galiza-Trás-os-Montes, Zona Centro-Ibérica, Zona Ossa-Morena (ZOM) e Zona Sul Portuguesa. Estas zonas apresentam características litológicas, magmáticas, metamórficas e tectónicas distintas e, consequentemente, potencial

diferenciado para a génese de depósitos de minerais. De entre estas zonas, as Zonas Galiza-Trás-os-Montes, Centro-Ibérica e Sul Portuguesa apresentam mais notoriedade mineira atual, pela presença de atividade mineira ativa, exibindo elevado potencial mineiro em algumas matérias-primas críticas: as Zonas Galiza-Trás-os-Montes e Centro-Ibérica apresentam particular concentração de tungsténio e antimónio (com quantidades menores de berílio, nióbio, tântalo, cobalto, platinóides e elementos do grupo das terras raras), enquanto a Zona Sul Portuguesa tem elevado potencial em índio, germânio, antimónio e barite. Para além disso, apresentam grande concentração de recursos minerais não críticos ao abastecimento e à economia da UE, mas com grande importância estratégica e industrial, como o cobre, o zinco, o estanho e o lítio.

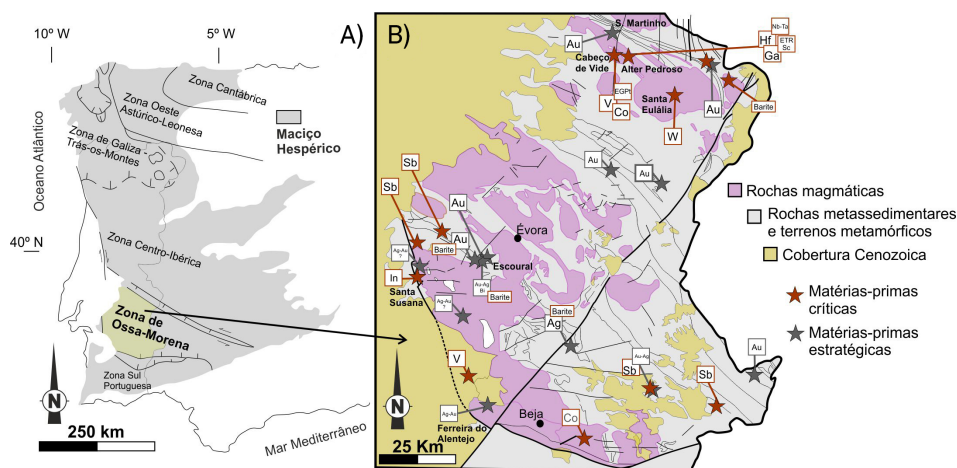


FIGURA 3. A) Enquadramento da Zona de Ossa-Morena no Maciço Ibérico. B) Localização das principais ocorrências de matérias-primas críticas nesta zona – adaptado de Mateus e colaboradores.

No entanto, é na ZOM que ocorre a maior diversidade em matérias-primas minerais críticas, e a proximidade espacial entre os vários recursos poderá significar uma vantagem económica e logística para a sua prospeção, exploração e transporte. Do ponto de vista dos modelos para a génese destes depósitos minerais, a ZOM reúne um conjunto de características geológicas propícias ao desenvolvimento de sistemas mineralizantes, que resultam da evolução geodinâmica desta região. Para além do potencial que a ZOM demonstra em metais com importância industrial, tais como o ouro, o cobre, o zinco, o chumbo ou o ferro, há evidências para acumulações de um conjunto de matérias-primas críticas que importa caracterizar adequadamente. De entre as ocorrências de matérias-primas críticas e estratégicas conhecidas na ZOM (FIGURA 3B), destacam-se a título de exemplo: tungsténio relacionado com processos de instalação de rochas graníticas na região de Santa Eulália (FIGURA 4A); elementos do grupo das terras raras, nióbio, tântalo, háfnio, gálio e escândio associados a rochas de natureza sienítica na região de Alter Pedroso; elementos do grupo

da platina, cobalto e vanádio associados a rochas máficas e ultramáficas nas regiões de Cabeço de Vide e Ferreira do Alentejo; ouro, prata, antimónio, bismuto e barite na região do Escoural (FIGURA 4B) e em S. Martinho, associado a sistemas hidrotermais complexos. Recentemente identificaram-se também valores anómalos de índio nos carvões da região de Santa Susana. A abundância em matérias-primas críticas e estratégicas na ZOM requer ainda um trabalho de caracterização geológica detalhada, de modo a compreender a arquitetura dos depósitos minerais e conceptualizar os modelos relativos à génese destas acumulações minerais, o que permitirá a valorização destas matérias-primas e potenciará possíveis investimentos futuros.

Apesar de todo o potencial em matérias-primas críticas e estratégicas na ZOM, não existe atualmente nenhuma exploração mineira ativa nesta zona geológica em território nacional. Há ainda um conjunto de obstáculos que o sector mineiro português enfrenta, de cariz ambiental e socioeconómico, que dificultam a prospeção e exploração dos recursos minerais nacionais.

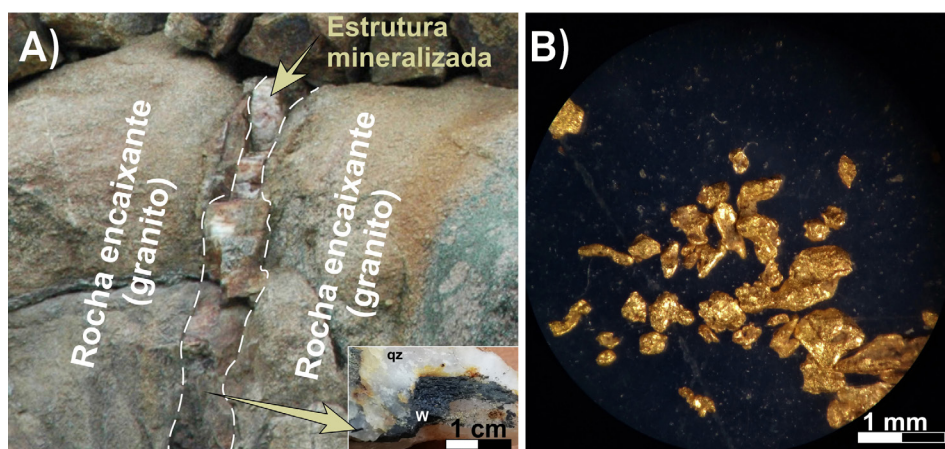


FIGURA 4. Aspeto macroscópico das mineralizações de tungsténio na região de Santa Eulália - A) estruturas mineralizadas de carácter filoniano, com destaque para a presença de volframite [W] e quartzo [qz], cortando o encaixante granítico. B) Partículas de ouro presentes nos sedimentos de corrente de ribeiras que atravessam às estruturas mineralizadas da região de Santiago do Escoural.

A prospeção e exploração destas matérias-primas nos países da UE permitirá a redução da dependência em relação aos mercados externos e, aqui, o sector mineiro português poderá cooperar para esta redução, contribuindo também de forma ativa para a economia nacional e local, reduzindo em alguns casos a importação de matérias e aumentando as exportações. Para tal, é necessário adotar estratégias para promover a prospeção, investigação e a inovação neste sector, consolidar metodologias sofisticadas (não só na pesquisa e exploração, mas visando também a proteção ambiental), reforçando ainda a cooperação entre as entidades de investigação e industriais.

Escombreyras de carvão em autocombustão

Joana Ribeiro

ICT/DCT/ Universidade de Coimbra

A exploração mineira de carvão na Bacia Carbonífera do Douro causou impactes negativos no ambiente, dos quais se destacam as escombreyras de materiais estéreis e rejeitados da exploração e beneficiação do carvão. A autocombustão das escombreyras representa um impacte ambiental ainda mais significativo que pode afetar o ambiente, ecossistemas, a biodiversidade e a saúde humana, devido à emissão atmosférica de partículas, gases que contribuem para o efeito de estufa, compostos orgânicos voláteis e poluentes, e à mobilização de compostos químicos para os solos e águas das áreas envolventes, principalmente através da percolação de águas.

Minas de Carvão em Portugal

A atividade mineira relacionada com a exploração de carvão em Portugal ocorreu num total de 143 minas. Destas, destacam-se pela sua importância, as minas da Bacia Carbonífera do Douro, da Bacia de Lignites de Rio Maior, da Bacia de Santa Susana e da Bacia do Cabo Mondego. A primeira concessão está registada em 1850, embora se saiba que a exploração de carvão em São Pedro da Cova teve início em 1795. A exploração de carvão em Portugal terminou em 1994, com o encerramento da mina do Pejão-Germunde.

Na inventariação de áreas mineiras abandonadas de Portugal, realizada pela EDM - Empresa de Desenvolvimento Mineiro, constam as minas de carvão do Moinho da Ordem (Bacia de Santa Susana, em Alcácer do Sal), de Pejão-Germunde (Bacia Carbonífera do Douro, em Castelo de Paiva) e de São Pedro da Cova (Bacia Carbonífera do Douro, em Gondomar).

A Bacia Carbonífera do Douro, com enchimento sedimentar datado do Carbónico Superior (período geológico compreendido entre 300 a 360 Ma), é a maior ocorrência de carvão em Portugal, localizando-se entre S. Pedro de Fins (Maia) e Janarde (S. Pedro do Sul), numa

faixa com cerca de 53 km de comprimento e 30 a 250 m de espessura (FIGURA 1). Durante quase dois séculos, entre 1795 e 1994, o carvão da Bacia Carbonífera do Douro, do tipo antracite A, foi explorado em dezenas de minas de pequenas dimensões, destacando-se pela sua dimensão e importância socioeconómica, os Coutos Mineiros de São Pedro da Cova e do Pejão. O carvão explorado foi principalmente utilizado como combustível para produção de energia na Central Termoelétrica da Tapada do Outeiro (desativada desde 2004).

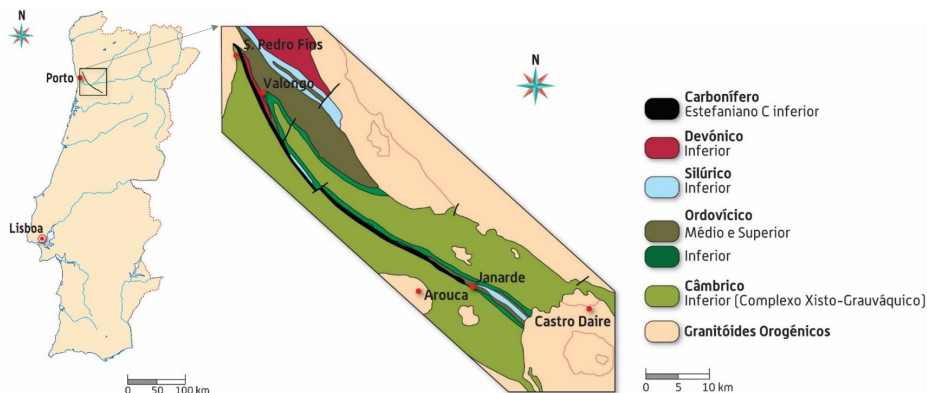


FIGURA 1 - Enquadramento geográfico e geológico da Bacia Carbonífera do Douro.

O Passivo Ambiental

As minas abandonadas são a maior causa de degradação ambiental relacionada com as atividades da indústria extrativa. Em Portugal, reconhece-se que a atividade mineira do passado originou um passivo ambiental significativo. Muitos dos problemas ambientais associados a estes passivos refletem valores, conhecimentos e exigências distintos dos de hoje, principalmente nas questões relacionados com a gestão e recuperação ambiental de áreas mineiras.

A exploração mineira de carvão na Bacia Carbonífera do Douro, para além dos benefícios socioeconómicos, foi responsável pela geração de impactes negativos no ambiente. Destes impactes destacam-se os relacionados com as escombrelas de materiais estéreis e rejeitados da exploração e beneficiação do carvão. Na proximidade das minas exploradas na Bacia Carbonífera do Douro foram identificadas trinta escombrelas, das quais, seis foram afetadas por processos de autocombustão cuja ignição teve origem em fogos florestais.

A combustão em escombrelas de estéreis e rejeitados da exploração de carvão pode ocorrer devido à quantidade de material combustível que existe nestas escombrelas, isto é, o carvão disseminado na matéria mineral. A presença de oxigénio atmosférico facilita a ignição causada por incêndios florestais. Menos frequente é a ignição causada pelo aquecimento do material devido à oxidação de sulfuretos, principalmente pirite, que é uma reação exotérmica.

As escombrelas em autocombustão representam um impacte ambiental ainda mais sig-

nificativo que pode afetar o ambiente, ecossistemas, a biodiversidade e a saúde humana, uma vez que a combustão do material que constitui as escombrelas é responsável pela emissão atmosférica de partículas, gases que contribuem para o efeito de estufa, compostos orgânicos voláteis e poluentes, assim como pela mobilização, principalmente através da percolação de águas, de compostos químicos para os solos e águas das áreas envolvidas às escombrelas.

As Escombrelas em Autocombustão

A autocombustão das escombrelas de São Pedro da Cova, Lomba e Midões, em Gondomar, teve início em 2005, após incêndios florestais que afetaram a região. Nas escombrelas da Lomba (área de cerca de 7300 m²) e de Midões (área de cerca de 200 m²), o processo de autocombustão aparenta ter terminado entre 2010 e 2011. Contudo, a escombrela de São Pedro da Cova está ainda em autocombustão nos dias de hoje (FIGURAS 2 e 3). A escombrela de São Pedro da Cova localiza-se junto ao Poço de São Vicente, que era o principal acesso à mina de São Pedro da Cova, ocupa uma área de cerca de 28 000 m² e posiciona-se muito perto de um centro populacional e infraestruturas sociais.



FIGURA 2. Visão geral da vertente exposta a SW da escombrela de São Pedro da Cova após autocombustão; note-se a vegetação queimada, a instabilidade do talude e a coloração avermelhada do material da escombrela devido à formação de óxidos de ferro durante a combustão.



FIGURA 3. Aspeto de pormenor de material da escombreira após autocombustão em São Pedro da Cova.

Mais recentemente, em outubro de 2017, o processo de autocombustão teve início em três escombreyras localizadas perto da mina de Pejão-Germunde, tendo sido a ignição também causada por incêndios florestais que ocorreram na região. Uma vez que estas escombreyras se situam perto de zonas habitadas muito afetadas pelas emissões gasosas, a EDM - Empresa de Desenvolvimento Mineiro iniciou o processo de extinção da combustão através da remobilização do material e da adição de um agente acelerador do arrefecimento do material, evitando o possível reacendimento.

O processo de autocombustão nas escombreyras de São Pedro da Cova, Lomba, Midões e nas escombreyras de Pejão-Germunde têm sido alvo de investigação, nomeadamente para a identificação das alterações causadas no material da escombreira, assim como para a identificação, quantificação e monitorização dos impactes ambientais causadas nas áreas envolventes e na previsão de cenários evolutivos que possam suportar tomadas de decisão para a gestão e mitigação dos impactes ambientais.

A caracterização dos materiais que constituem as escombreyras em autocombustão, incluindo a análise dos materiais afetado pela combustão (material queimado) e dos materiais não afetados pela combustão (material não queimado) são fundamentais para o reconhecimento dos impactes ambientais associados. A identificação dos produtos resultantes do processo de combustão, isto é, das emissões gasosas e dos minerais neoformados são também fundamentais.

As primeiras flores

e as plantas do grupo das Bennettitales-Erdtmanithecales-Gnetales

Mário Miguel Mendes

MARE/ Universidade de Coimbra

Em Portugal, a flora do Cretácico (145-65 Ma) é extremamente rica e compreende formas vegetais com grande interesse paleobotânico. A boa representatividade dos andares do Cretácico português, em particular na Bacia Lusitaniana, permite acompanhar a evolução da vegetação desde o Cretácico Inferior, onde predominavam os fetos e as gimnospérmicas (plantas com sementes nuas), até ao Cretácico Superior onde passaram a dominar as angiospérmicas (plantas com flor) que rapidamente se expandiram e colonizaram praticamente todos os ecossistemas terrestres, representando, atualmente, cerca de 85% das espécies vegetais que constituem a flora moderna.

Ao longo de décadas, o aparecimento das angiospérmicas tem sido descrito como um súbito evento evolutivo que Charles Darwin designou como *abominable mystery*.

Em termos evolutivos, os argumentos estendem-se em muitas direções e um aspeto de primordial importância é compreender qual é a posição filogenética das angiospérmicas relativamente às outras plantas com semente. Mais ainda, é possível que o aparecimento das primeiras flores não tenha sido algo tão repentino quanto se julga. Esta problemática nunca poderia ser esclarecida somente através do estudo de plantas da flora moderna. As plantas “não angiospérmicas” presentes nos ecossistemas atuais representam apenas uma pequena fração daquilo que existiu no passado, pelo que, há necessariamente que recorrer ao registo fóssil para estabelecer o elo de ligação.

Os estudos de mesofloras do Cretácico Inferior (entre 145-100 milhões de anos (Ma), aproximadamente), provenientes de depósitos fossilíferos localizados na Bacia Lusitaniana, têm proporcionado a descoberta de restos de vegetais fósseis que correspondem a sementes e a órgãos produtores de pólenes atribuíveis a plantas extintas pertencentes a grupo de gimnospérmicas que apresenta semelhanças significativas com as Gnetales. A este respeito impende mencionar que, análises filogenéticas previamente realizadas sugerem que as angiospérmicas se encontram estreitamente relacionadas com as Gnetales e

as Bennettitales. Assim sendo, o estudo das sementes e dos órgãos produtores de pólenes, atribuíveis a estas plantas reveste-se de elevada importância, dado que poderá contribuir de forma significativa para o esclarecimento e compreensão de vários aspetos relacionados com a evolução das estruturas reprodutoras das angiospérmicas (e.g., estames e carpelos). Além disso, o estudo destas estruturas reprodutoras tem interesse paleoecológico de considerável significado, dado que estas plantas coexistiram com as primeiras angiospérmicas, ocupando ecossistemas com características ambientais muito semelhantes.

Estas sementes e órgãos produtores de pólenes partilham inúmeras semelhanças com as Bennettitales, Erdtmanithecales e Gnetales e constituem um grupo monofilético, atualmente designado por grupo BEG.

As sementes do grupo BEG apresentam pequena dimensão e são basicamente constituídas por três tecidos distintos. O tecido mais interno corresponde ao nucelo, preservado sob a forma de delicada película. O nucelo encontra-se envolvido por fino tecido de natureza membranosa, o tegumento interno. A envolver externamente o tegumento interno encontra-se uma camada resistente de tecido esclerenquimatoso que constitui o envelope da semente.



FIGURA 1. Jazida fossilífera do Cretácico Inferior de Vale Painho (Juncal). As setas indicam níveis argilosos de cor cinzenta escura a negra nos quais foram recolhidas sementes atribuíveis ao grupo BEG.

Na mesoflora de Vale Painho (Juncal; FIGURA 1), cuja idade provável corresponde ao Berriasiano, foram recolhidas e formalmente descritas sementes fósseis pertencentes ao grupo das extintas Erdtmanithecales e atribuíveis à espécie *Erdtmanispermum juncalense* Mendes, Friis & Pais. Estas sementes têm forma ovoide a elipsoide, a base é arredondada, apresentam distinto ápice micropilar pontiagudo e possuem envelope externo constituído por três valvas (FIGURAS 2A e 2B).

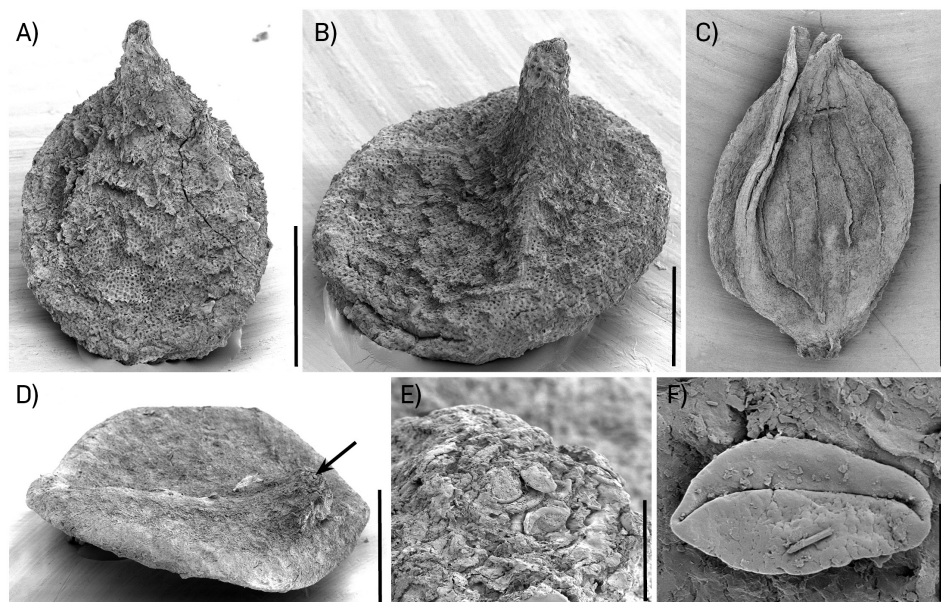


FIGURA 2. Imagens de microscopia eletrônica de varrimento de sementes do grupo BEG recolhidas na mesoflora do Cretácico Inferior de Vale Painho (Juncal). A), B) – Sementes de *Erdtmanispermum juncalense* com forma de gota a ovoide, involúcro tripartido e micrópilo pontiagudo distinto. C), D) – Sementes de *Raunsgaardispermum lusitanicum* com forma ovoide evidenciando a natureza bipartida do involúcro externo. Na semente das imagens D) e E) observam-se pólenes *in situ* no micrópilo (seta). F) – Pólen monocolpado de tipo *Raunsgaardispermum* exibindo típica forma elíptica. Escala: A), D) – 500 μm ; B), – 250 μm ; C) – 1 mm; E) – 50 μm ; F) – 10 μm .

Incluem-se ainda na ordem Erdtmanithecales diversas estruturas masculinas produtoras de pólenes do tipo *Eucommiidites*. Nas floras portuguesas do Cretácico Inferior da Bacia Lusitaniana, foram descritas *Eucommiithea hirsuta* Friis & Pedersen, recolhida na mesoflora de Vila Verde, com idade atribuível ao intervalo Aptiano superior-Albiano inferior e *Erdtmanitheca portucalensis* Mendes, Pais, Pedersen & Friis, proveniente da rica mesoflora de Vale Farelo (Vale de Água), cuja idade, também, corresponde ao Aptiano superior-Albiano inferior. Nos Estados Unidos da América do Norte, já havia sido anteriormente descrita, uma estrutura masculina produtora de pólenes do tipo *Eucommiidites*, muito semelhante a *Erdtmanitheca portucalensis*. Trata-se de *Erdtmanitheca texensis* Pedersen, Crane & Friis da mesoflora de Arthurs Bluff, no Texas, com idade Cenomaniano inferior. É de salientar que, apesar da boa representação nas mesofloras do Cretácico da Europa e da América do Norte, estes órgãos masculinos, produtores de pólenes do tipo *Eucommiidites*, nunca foram encontrados em associação com sementes de *Erdtmanispermum*.

Na mesoflora de Vale Painho, além das sementes de *Erdtmanispermum juncalense*, foram recolhidas outras sementes de gimnospermas que apresentam plano de organização estrutural muito semelhante ao das sementes do grupo BEG. Estas sementes portuguesas foram formalmente descritas e atribuídas ao novo género e espécie *Raunsgaardispermum*

lusitanicum Mendes, Pais & Friis (FIGURA 2C e 2D). Têm forma ovoide a elíptica e, também, apresentam região micropilar pontiaguda distinta. Estas sementes distinguem-se de *Erdtmanispermum juncalense* pelo facto de possuírem um envelope constituído por duas valvas, ornado por finas estrias longitudinais distintamente bifurcadas (FIGURA 2C). As formas atribuídas a *Raunsgaardispermum lusitanicum* aproximam-se grandemente das sementes de *Ephedra* (Gnetales), devido à presença de papilas na face interna do envelope da semente que envolve o tubo micropilar. Porém, nestas sementes, não se observaram pólenes poliplicados (com sulcos paralelos), típicos de efedróides, no micrópilo da semente. Os grãos de pólen são monocolpados (com uma abertura germinativa) e assemelham-se bastante aos das Bennettitales, nomeadamente, *Cycadeoidea dacotensis* (MacBride) Ward e *Leguminanthus siliquosus* (Leuthardt) Kräusel & Schaarschmidt (FIGURAS 2E e 2F).

Na mesoflora de Catéfica, com idade provável correspondente ao Aptiano superior-Albiano inferior, foram identificadas diversas sementes, em excelente estado de preservação, atribuíveis a *Buarcospermum tetragonium*, bem como, aos novos táxones *Lobospermum rugosum* Friis, Pedersen & Crane, *Lobospermum glabrum* Friis, Pedersen & Crane e *Lignierispermum maroneae* Friis, Pedersen & Crane. Formas muito semelhantes às portuguesas foram recolhidas na mesoflora de Puddledock, nos Estados Unidos da América do Norte, com idade atribuída ao Albiano inferior ou médio. Na mesoflora de Puddledock identificaram-se sementes de *Lignierispermum maroneae* e *Lobospermum rugosum* e foram descritos os novos táxones *Lobospermum stampanonii* Friis, Pedersen & Crane.

Até ao momento, não foram identificadas sementes atribuíveis às extintas Bennettitales, nas mesofloras portuguesas do Cretácico Inferior. No entanto, noutras floras europeias, nomeadamente, na flora de Vaches-Noires, de idade Albiano, foram recolhidas sementes mineralizadas de Bennettitales, atribuíveis a *Cycadeoidea morierei* (Saporta & Marion) Seward.

A típica estrutura evidenciada por todas estas sementes de gimnospérmicas referenciadas e, bem assim, as fortes analogias existentes entre as de *Buarcospermum*, *Ephedra*, *Erdtmanispermum*, *Lignierispermum*, *Lobospermum*, *Raunsgaardispermum* e de algumas Bennettitales, sugerem, claramente, a existência de um complexo de plantas extintas, estreitamente relacionadas em termos filogenéticos. Estas sementes de Bennettitales, Erdtmanithecales e Gnetales, bem como outras afins, amplamente representadas nos ecossistemas do Cretácico Inferior e contemporâneas das primeiras angiospérmicas, parecem constituir um grupo monofilético, atualmente designado por grupo BEG.

Digestão anaeróbia

Ana Júlia Cavaleiro, M. Madalena Alves

CEB/ Universidade do Minho

As comunidades microbianas anaeróbias são constituídas por microrganismos pertencentes aos domínios Bactéria e Arquea, que vivem em ambientes onde o oxigénio molecular está ausente. Estas comunidades desempenham um papel fundamental na decomposição da matéria orgânica, num processo designado por digestão anaeróbia. São geralmente utilizadas no tratamento anaeróbio de águas residuais e resíduos sólidos em biorreator, promovendo a recuperação de energia na forma de biogás, bem como na regulação dos ciclos biogeoquímicos e na manutenção/recuperação da qualidade dos ecossistemas.

Na ausência de oxigénio ou de outros aceptadores alternativos de eletrões (como por exemplo o nitrato ou o sulfato), a matéria orgânica é convertida maioritariamente em biogás, o qual tem como principais constituintes o metano (CH_4) e o dióxido de carbono (CO_2). Este processo, habitualmente designado por digestão anaeróbia, ocorre em diversos meios naturais, tais como sedimentos, fontes termais e sistemas gastrointestinais, e em ambientes controlados como é o caso dos digestores anaeróbios. O conhecimento da existência do metano remonta a 1776, ano em que Volta lhe chamou “ar inflamável”. Desde essa data passou cerca de um século até se provar que a metanogénese é um processo relacionado com a atividade microbiológica.

Os microrganismos anaeróbios crescem e obtêm energia através de processos que não requerem a utilização de oxigénio. O seu metabolismo pode ou não ser inibido pela presença deste gás, designando-se então por microrganismos anaeróbios estritos ou aerotolerantes, respetivamente. Os microrganismos facultativos são capazes de crescer na ausência de oxigénio, mas quando este está presente assumem um metabolismo aeróbio.

A digestão anaeróbia é realizada por uma comunidade diversa de microrganismos que interagem de forma complexa ao longo de uma série de etapas interdependentes, em que os produtos da etapa anterior servem como substrato para o passo seguinte (FIGURA 1). A primeira fase da digestão anaeróbia é a hidrólise (ETAPA 1 - FIGURA 1), na qual as bactérias hidrolíticas transformam os biopolímeros (proteínas, hidratos de carbono e lípidos) em mo-

lécúlas mais simples por ação de enzimas extracelulares. Na etapa seguinte (acidogénese ou fermentação, ETAPA 2 - FIGURA 1) os aminoácidos e açúcares resultantes da hidrólise são transportados para o interior da célula, onde ocorre a sua fermentação formando-se produtos intermediários como ácidos gordos voláteis (AGV) ou álcoois, acetato, hidrogénio e CO_2 . A população acidogénica representa cerca de 90 % da totalidade dos microrganismos nos digestores anaeróbios, apresentando tempos de duplicação relativamente curtos. Os microrganismos envolvidos no passo da hidrólise são geralmente os mesmos que efetuam a fermentação, sendo exemplo bactérias dos géneros *Lactobacillus* e *Clostridium*. Entre as bactérias fermentativas encontram-se com frequência microrganismos facultativos, que consomem as pequenas quantidades de oxigénio que possam eventualmente entrar no sistema, ajudando assim a proteger os microrganismos anaeróbios estritos.

Na fase seguinte (acetogénese) há formação de acetato por ação de (i) bactérias acetogénicas produtoras de hidrogénio, também designadas por bactérias sintróficas, que consomem os produtos da fermentação (AGV e álcoois, ETAPA 3 - FIGURA 1), e (ii) bactérias homoacetogénicas (ETAPA 4 - FIGURA 1) capazes de produzir acetato a partir de H_2/CO_2 ou de compostos orgânicos multicarbonados (ex.: açúcares). Os ácidos gordos de cadeia longa provenientes da hidrólise dos lípidos são também convertidos em acetato por bactérias sintróficas produtoras de hidrogénio, através de um processo designado por β -oxidação (ETAPA 5 - FIGURA 1). Como exemplo de bactérias sintróficas referem-se diversas espécies pertencentes aos géneros *Syntrophobacter*, *Syntrophomonas*, *Smithella* e *Pelotomaculum*. As reações metabólicas das bactérias sintróficas são inibidas pelo hidrogénio, sendo necessário manter uma pressão parcial de hidrogénio baixa ($<10^{-4}$ atm) de forma a serem termodinamicamente viáveis. Normalmente tal é assegurado pelos microrganismos metanogénicos consumidores de H_2 , numa relação designada por sintrofia. A sintrofia representa um caso especializado de mutualismo, em que dois ou mais microrganismos combinam as suas capacidades metabólicas para catabolizar um determinado substrato. As interações sintróficas podem ser obrigatórias ou facultativas. No primeiro caso, há uma dependência mútua entre as espécies em interação, sendo que nenhum dos microrganismos em causa pode funcionar sem a atividade do parceiro, e juntos conseguem catabolizar compostos que nenhuma das espécies individualmente conseguiria degradar. Nas interações sintróficas facultativas, os substratos são catabolizados por uma única espécie bacteriana fermentativa, mas o seu crescimento e os seus produtos metabólicos são influenciados pela atividade do parceiro sintrófico consumidor de hidrogénio. A transferência de hidrogénio entre espécies é assim um processo chave em ambientes anaeróbios e requer uma proximidade física entre os microrganismos envolvidos, verificando-se que a cooperação entre os dois grupos tróficos é ótima quando a distância entre eles é mínima.

Por fim, a etapa final do processo de digestão anaeróbia é a metanogénese (ETAPA 6 - FIGURA 1), com formação de CH_4 e CO_2 . Os microrganismos metanogénicos pertencem ao

domínio Arquea e consomem apenas um número limitado de substratos, nomeadamente acetato (microrganismos metanogénicos acetoclásticos), metanol, formato e H_2+CO_2 (microrganismos metanogénicos hidrogenofílicos). Como exemplo referem-se os géneros *Methanosaeta*, *Methanosarcina*, *Methanospirillum* e *Methanobacterium*.

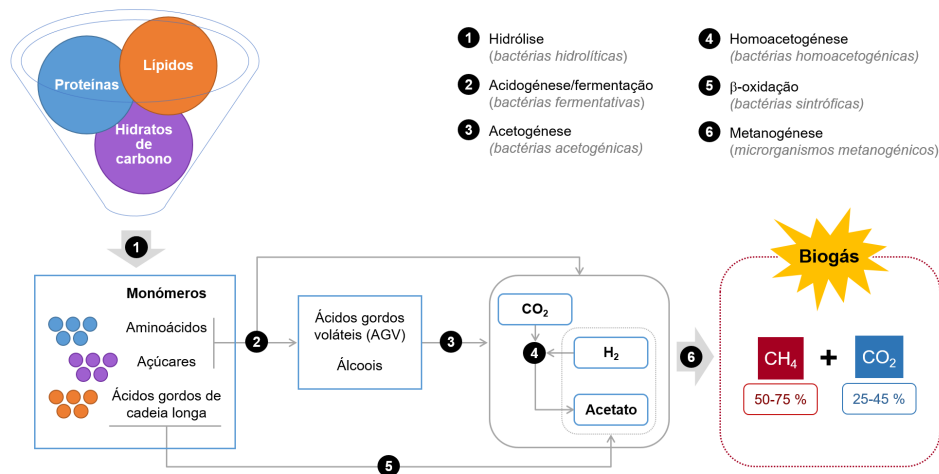


FIGURA 1. Esquema geral do processo de digestão anaeróbia.

O processo de digestão anaeróbia pode ocorrer de forma controlada em digestores ou reatores anaeróbios, que são recipientes geralmente operados em fluxo contínuo, podendo ser de fluxo ascendente, de mistura completa ou do tipo pistão. Para que um reator anaeróbio opere eficientemente devem ser asseguradas as seguintes condições:

- Retenção de uma comunidade microbiana ativa e abundante (*i.e.*, elevada concentração de microrganismos) dentro do reator;
- Contacto suficiente entre os microrganismos e o substrato;
- Elevadas taxas de reação e ausência de limitações de transporte;
- Adaptação dos microrganismos ao substrato;
- Existência de condições ambientais favoráveis para todos os microrganismos presentes no reator.

Os microrganismos que atuam nestes reatores encontram-se geralmente agregados na forma de flocos microbianos em suspensão, grânulos ou biofilmes. Os grânulos são comunidades microbianas que incluem diferentes grupos de microrganismos agregados de tal forma que se mantêm em suspensão no interior dos reatores sem fixação a suportes sólidos. Apresentam uma estrutura organizada em multicamadas distintas, localizando-se os grupos mais sensíveis nas camadas interiores e os mais resistentes nas camadas exteriores. Os biofilmes são agregados microbianos fixos a um suporte sólido, formando uma matriz gelatinosa constituída por microrganismos, polímeros extracelulares por

eles excretados e água. Os polímeros extracelulares são constituídos essencialmente por polissacarídeos e glicoproteínas, e contribuem de forma importante para a adesão dos microrganismos à superfície de suporte e para a própria coesão da estrutura do biofilme. A distância entre os microrganismos no interior de um biofilme é, em geral, menor do que em suspensão, daí resultando a criação de um microambiente com características específicas.

Estas diferentes formas de agregação dos microrganismos originaram o desenvolvimento de vários tipos de reatores. Atualmente, os reatores mais utilizados são essencialmente de dois tipos:

- Reatores baseados na retenção dos microrganismos em grânulos - por exemplo, *Upflow Anaerobic Sludge Blanket* (UASB) e outras configurações sucedâneas, tais como os reatores *Expanded Granular Sludge Bed* (EGSB) ou *Internal Circulation* (IC) (FIGURA 2A-C). São principalmente aplicados no tratamento de águas residuais industriais;
- Reatores de mistura completa, com ou sem recirculação (FIGURA 2D) - são aplicados a resíduos sólidos, lamas de estações de tratamento de águas residuais (ETAR) e chorumes animais. Estes reatores funcionam muitas vezes com misturas de resíduos, em processos designados por codigestão.

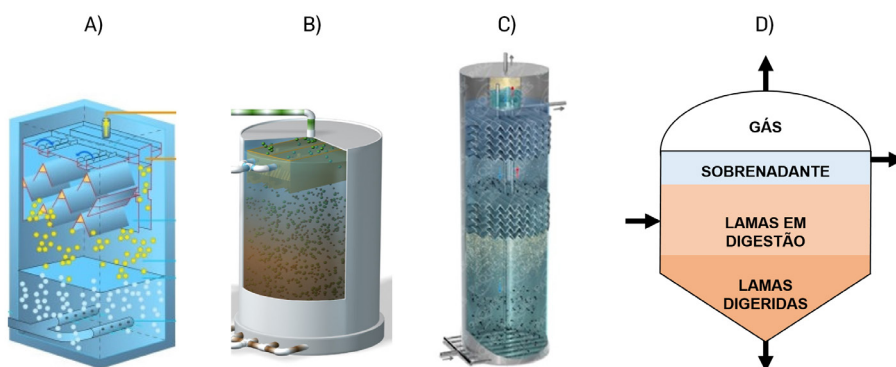


FIGURA 2. Esquema de reatores baseados em grânulos (A) reatores UASB, B) reatores EGSB e C) reatores IC) e D) reatores de mistura completa com microrganismos em suspensão.

Com o crescente enfoque na produção de energias renováveis e na exploração do potencial dos resíduos orgânicos como fonte de matéria prima, a digestão anaeróbia tem vindo a assumir um papel cada vez mais preponderante no atual quadro europeu e mundial em matéria de clima e energia. Por outro lado, a atividade das comunidades microbianas complexas tem também elevado potencial para aplicação na biorremediação de locais contaminados, nomeadamente em ambientes aonde o oxigénio é escasso ou está ausente, como por exemplo em solos profundos, águas subterrâneas e sedimentos.

Biomanipulação para o controlo da eutrofização

J. Filipe Pinto⁺, Sara C. Antunes[†]

⁺ DPAO/ Universidade de Évora

[†] DB/ CIIMAR/ Universidade do Porto

A eutrofização é o processo derivado do enriquecimento em nutrientes num meio aquático provocando desequilíbrios neste ecossistema. Para solucionar este problema, que afeta massas de água por todo o mundo, pode ser usado um processo biológico denominado biomanipulação. Esta técnica consiste no manuseamento dos níveis tróficos mais elevados, de forma a desencadear uma cascata trófica. No contexto de um ecossistema aquático, este processo tem como finalidade mitigar os efeitos da eutrofização de uma forma ecológica. Em Portugal, esta técnica promissora foi aplicada, com pouco sucesso, nalguns casos devido sobretudo à excessiva entrada de nutrientes nas massas de água estudadas.

A eutrofização é um problema ambiental que afeta os ecossistemas de água doce por todo o mundo, como lagos e albufeiras. Este processo provém do enriquecimento em nutrientes no meio aquático (especialmente compostos de azoto e fósforo), que resulta essencialmente de lixiviados de solos agrícolas, descargas urbanas e industriais ou da criação de gado. Consequentemente, há uma tendência para a formação de *blooms* (crescimento exacerbado) de microalgas que aumentam a turbidez da água, depleção da concentração de oxigénio e reduzem a biodiversidade. A solução mais óbvia é reduzir a entrada de nutrientes nos lagos. No entanto, muitos lagos eutrofizados possuem entradas incontroláveis de nutrientes, de fontes difusas, e os seus sedimentos podem estar eles próprios carregados de nutrientes.

Baseada em princípios de interações e cascatas tróficas, surgiu nos anos 70 uma abordagem que pode ser usada quando as possibilidades de redução da carga de nutrientes, da bacia forem todas esgotadas. Esta nova técnica, denominada biomanipulação, como o nome

indica, é a manipulação das comunidades do ecossistema, recorrendo à adição ou remoção de grupos de organismos, com o intuito de desencadear uma cascata trófica. Estas cascatas resultam de alterações provocadas nos níveis tróficos mais altos (comunidade piscícola), que atingem os níveis baixos (fitoplâncton) e, se bem sucedida, provoca uma mitigação da produtividade primária. Deste modo, a biomanipulação tipicamente incide na reestruturação da comunidade piscícola (normalmente consumidores secundários das teias tróficas aquáticas), que se encontra nos elos mais elevados da teia alimentar (FIGURA 1). O aumento do *stock* de peixes piscívoros (*p. ex.*, lucioperca e achigã, espécies muito abundantes nos ecossistemas lênticos portugueses) e/ou remoção de peixes planctívoros (*p. ex.*, alburno e perca-sol) são as estratégias mais comuns, que provocam uma diminuição do controlo *top-down* sobre o zooplâncton (consumidores primários de ecossistemas lênticos) (FIGURA 2).

Por conseguinte, o zooplâncton de grandes dimensões, nomeadamente *Daphnia*, deixa de sofrer uma pressão seletiva dos peixes planctívoros, registando-se um aumento significativo da sua abundância. Este grupo de organismos é fulcral para o estabelecimento de condições oligotróficas e períodos de transparência em ecossistemas lênticos, uma vez que a sua dieta alimentar é constituída essencialmente por microalgas. Além disso, neste cenário é possível observar-se uma exclusão competitiva dos pequenos herbívoros. *Daphnia* destaca-se do restante zooplâncton, dada a sua elevada capacidade filtradora de fitoplâncton, e por ter a capacidade de controlar fitoplâncton "não-comestível" (*p. ex.*, cianobactérias coloniais e filamentosas) antes de este atingir concentrações críticas, em que o seu controlo natural é impossível. Por outro lado, *Daphnia* apresenta uma constituição rica em fósforo comparativamente com outras espécies de zooplâncton e peixes, reduzindo a reciclagem deste nutriente essencial para o fitoplâncton e fomentando o seu controlo. Assim, alguns esforços de biomanipulação têm complementado a remoção de biomassa piscícola com a adição de *Daphnia* no ecossistema (FIGURA 2).

Em certos lagos pouco profundos, é necessário alargar essa reestruturação para elementos fora da teia trófica clássica, e também reduzir drasticamente a densidade de peixes bentívoros (*p. ex.*, carpa e a pardelha-dos-alpes) (FIGURA 2), uma vez que estes são muitas vezes responsáveis pelo estabelecimento de condições eutróficas. Ao procurar alimento no fundo do lago, estes ressuspendem o sedimento (rico em nutrientes, e que assim ficam biodisponíveis), aumentando a turbidez e a produtividade primária do ecossistema.

Além disso, ao ressuspender o sedimento, os peixes impedem que macrófitas se estabeleçam no substrato. As macrófitas são também essenciais para a manutenção da transparência da água, ao fixar o sedimento, competir com o fitoplâncton por nutrientes e servir de refúgio para os grandes cladóceros e larvas de peixes. Assim, e pelas razões mencionadas anteriormente, é também comum adicionar macrófitas em lagos temperados pouco profundos como estratégia de biomanipulação. Mehner e a sua equipa, em 2002, em estudos de restauração, defendem mesmo que a presença de macrófitas é um fator determinante no sucesso da restauração em lagos pouco profundos.

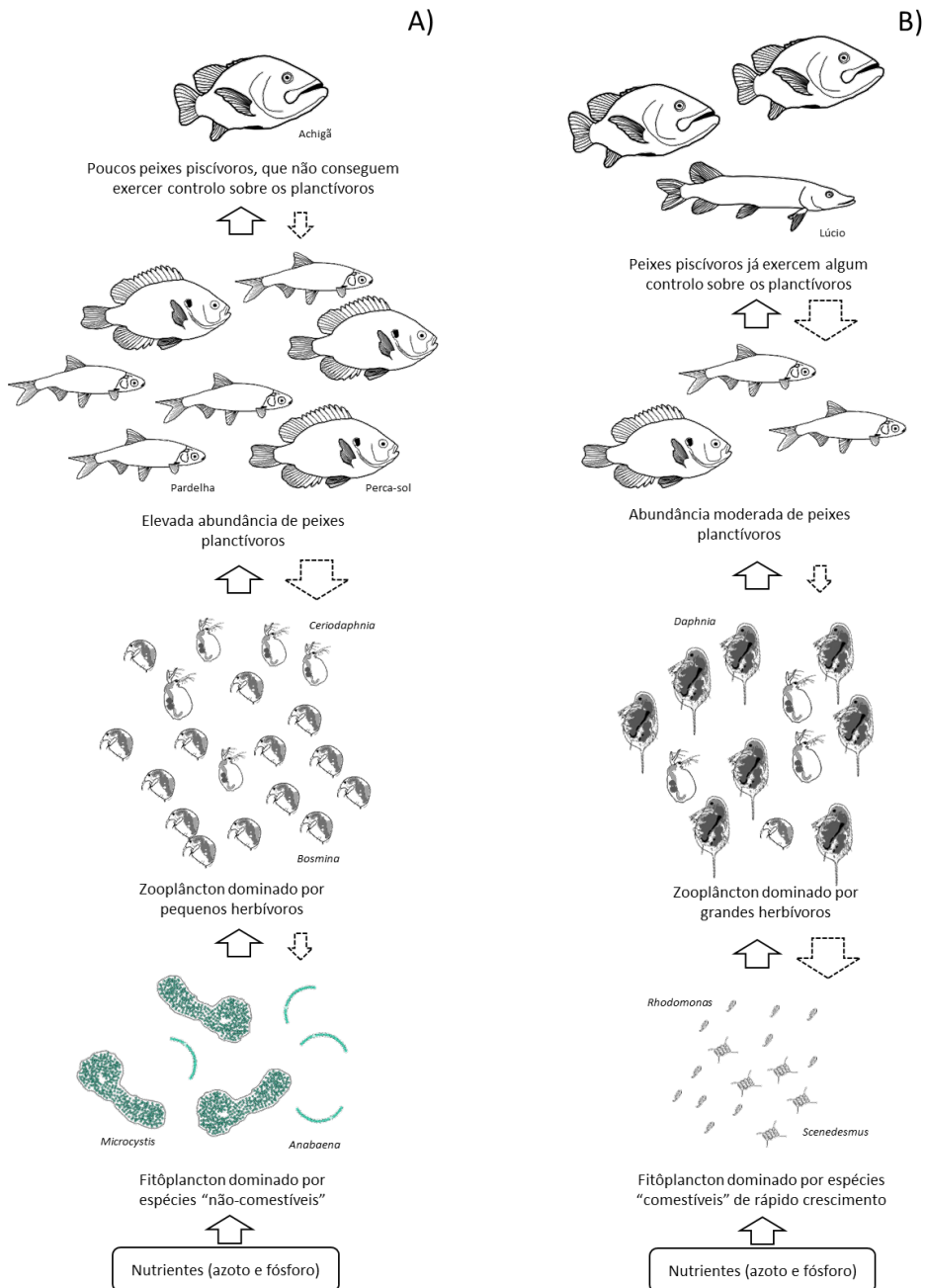


FIGURA 1. Esquema simplificado de um exemplo da transição de uma cadeia alimentar típica de um lago com elevada tendência para eutrofização A) para uma teia de um lago restaurado B). As setas de traço preenchido representam a direção do fluxo de energia e as setas a traço tracejado a intensidade da pressão *top-down*. Em ambas as situações, a carga de nutrientes é idêntica (ilustração de João Jordão).

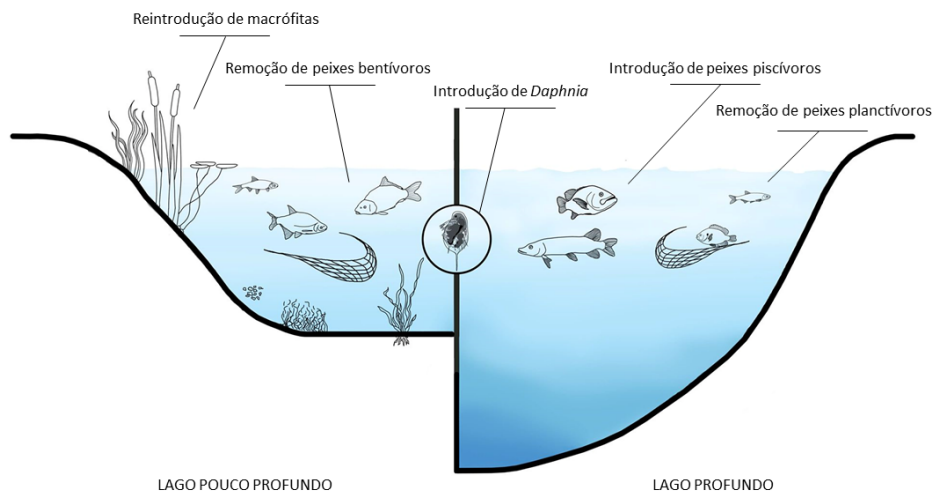


FIGURA 2. Representação de várias técnicas de biomanipulação comumente aplicadas em lagos pouco profundos e profundos (ilustração de João Jordão).

Apesar dos esforços para compreender as cascatas tróficas, a realidade é que é difícil prever se a biomanipulação terá o efeito pretendido no ecossistema, uma vez que podem existir diversos fatores de confusão (*p. ex.*, existência de predadores invertebrados, influência do vento e tipo de sedimento) que num ecossistema natural são difíceis de controlar. Vários estudos demonstram que muitas vezes é necessário pôr em prática o processo de biomanipulação para aprender com os erros. Em Portugal, existem poucos casos de biomanipulação, infelizmente quase todos mal sucedidos. Bio e a sua equipa, em 2008, num estudo de biomanipulação para controlar um processo de eutrofização na Lagoa das Furnas (Açores), procederam à redução da fauna piscícola bentónica removendo cerca de 60% das carpas e 5% de pardelha-dos-alpes que existiam no ecossistema. No entanto, apesar deste esforço, a lagoa voltou às condições de elevada turbidez e eutróficas observadas pré-biomanipulação apenas dois anos após a remoção dos peixes. Os autores especularam que a carga de nutrientes existente no sedimento, bem como o influxo do mesmo que ocorre naturalmente no ecossistema, seriam demasiado elevados para que a redução da biomassa de ictiofauna fosse suficiente para o sucesso no processo de biomanipulação. No mesmo estudo foi ainda apontada a necessidade de uma remoção rápida e elevada da ictiofauna bentívora e planctívora. A mesma situação foi comprovada numa experiência de mesocosmos na Lagoa da Vela (Figueira da Foz), onde os autores verificaram que, mesmo com uma remoção total da ictiofauna, o influxo de nutrientes e a acumulação de matéria orgânica eram demasiado elevados para haver uma ação eficaz do zooplâncton de grandes dimensões (*p. ex.*, *Daphnia*) como filtradores do ecossistema. Apesar do insucesso destes exemplos, os autores dos estudos apresentados defendem que a biomanipulação será uma boa estratégia para a conservação de lagos. No entanto, esta tem de estar sempre associada a uma redução suficiente da entrada de nutrientes no ecossistema aquático.

Histórias geológicas de Peniche

e o seu inigualável Jurássico Inferior

Luís Vítor Duarte

MARE/ DCT/ Universidade de Coimbra

Sendo um país de tamanho liliputiano no panorama do mapa mundial, Portugal exhibe, inegavelmente, uma grande geodiversidade, tanto na natureza litológica como na idade geológica, que se reflete nas múltiplas diferenças paisagísticas. Numa relação estreita, que nos parece óbvia, com outros aspetos culturais e os próprios costumes das populações. Até no sotaque das gentes e na gastronomia! É um facto que os lugares geológicos de excelência, entre os vários critérios de avaliação, são muitos. A começar pelos arquipélagos vulcânicos, neogénicos, dos Açores e da Madeira, pelas altas montanhas graníticas, paleozoicas e de feição quaternária, da Estrela e do Gerês, ou pelo recorte das arribas sedimentares, meso-cenozoicas, da nossa zona costeira continental. Apenas alguns exemplos. E que lugares! Por tendência profissional, ou seja, pelas responsabilidades na investigação que temos realizado ao longo de quase três dezenas de anos, a nossa proposta é fazer uma incursão pelo Jurássico Inferior português, patente num lugar representativo em termos científicos à escala internacional, e de elevadíssimo valor cénico e patrimonial da nossa zona costeira e do que é considerado como Bacia Lusitânica: a península de Peniche (FIGURA 1). E que atrai multidões por outras boas e objetivas razões.

Peniche acumula vários tipos de interesse. Fazendo uma análise histórica em termos temporais, desde o mais recente ao mais antigo, a cidade de Peniche é hoje conhecida não só pela sua caldeirada de peixe - e pratos afins. É mundialmente reconhecida como a capital nacional da ONDA. Tudo por culpa dos tubos perfeitos que o mar desenvolve junto à praia, arenosa, de Supertubos. A Fortaleza de Peniche, construída com base na rocha calcária existente na zona, constitui uma referência, de má memória, do período ditatorial que preencheu grande parte da nossa história do século XX.



FIGURA 1. Vista aérea da península de Peniche com o arquipélago das Berlengas no horizonte. De notar o pequeno relevo onde se encontra a cidade de Peniche que resulta de substrato rochoso de natureza calcária, contrastando com o cordão de areia que liga a península ao resto do continente: o tómbolo de Peniche (imagem cedida pela Câmara Municipal de Peniche).

Sempre com a sua tradição marítima, até porque na Idade Média Peniche terá sido uma ilha, isolada do resto do continente, ficou associada, injustamente, à expressão “amigos de Peniche”. Os falsos (ou maus) amigos, no caso, os ingleses que terão desembarcado ao largo de Peniche, durante o período de vigência castelhana de 1580-1640. Do período pré-histórico, mais precisamente desde o Paleolítico médio, temos a ocupação humana na não menos conhecida gruta da Furninha, implantada em terrenos calcários do Jurássico, e que tem muito para contar sobre o Plistocénico e os seus habitantes. Com pequenos registos (geológicos) do resto do Cenozoico e de grande parte do Mesozoico, onde ressalta o singular Tufo-brecha da Papôa (FIGURA 2A), corpo muito provavelmente associado à forte atividade vulcânica que assolou a atual região da Estremadura no final do Cretácico, é o Jurássico que se encontra particularmente bem representado na região. Estando representada a maioria dos seus pequenos compartimentos temporais, conhecidos como andares. Desde a sucessão margo-calcária do Baleal (que mostra uma porção do Jurássico Médio), disposta em camadas, como se tratasse de um conjunto de livros inclinados numa estante (FIGURA 2 B)), à extremidade sul do pequeno concelho, na Consolação (Jurássico Superior), onde afloram, de forma espetacular, calcários coralíferos, a demonstrar que as águas de então teriam sido muito mais quentes do que as atuais.

Mas, excluindo o arquipélago das Berlengas, granítico e metamórfico do Paleozoico, já que se trata de uma espécie de “xenólito” (corpo estranho) em termos morfoestruturais e estratigráficos, é à volta da cidade de Peniche, ao longo do perímetro da sua península, que se observa o mais antigo e melhor dos registos sedimentares: as unidades carbonatadas do Jurássico Inferior, como veremos, de grande importância à escala internacional.

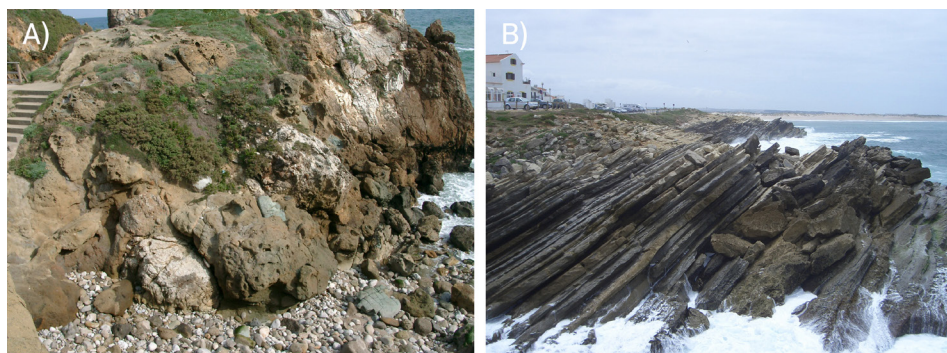


FIGURA 2. Alguns aspetos geológicos relevantes da região de Peniche. A) O tufo-brecha da Papôa, dominado por materiais de origem vulcânica, mas onde sobressaem corpos litológicos bem volumosos de natureza carbonatada. B) Sucessão margo-calcária de origem marinha do Jurássico Médio do Baleal.

Foram muitos anos a caminhar para Peniche, a medir espessuras de camadas, a fazer descrições - algumas delas sobre descrições previamente realizadas -, a recolher (vários) milhares de amostras com vista a estudos petrográficos, geoquímicos e paleontológicos, com dezenas de investigadores das mais diversas instituições portuguesas e internacionais. Que aprendizagem! A sucessão sedimentar da península, gerada pelo menos entre os 195 e os 174 milhões de anos (Ma), contabiliza mais de 450 metros de sedimentos, com diversas litologias afins do calcário e de diferentes grupos de fósseis de invertebrados marinhos. A ocorrência de amonoides, em parte significativa da coluna sedimentar, permite datar nas arribas de Peniche três dos andares do Jurássico Inferior – Sinemuriano, Pliensbaquiano e Toarciano. Nesta sucessão definem-se cinco unidades litostratigráficas formais, entre elas e por curiosidade adicional, as formações de Coimbra – a mesma que ocupa o substrato de grande parte da cidade de Coimbra, de onde deriva o nome, Vale das Fontes – uma unidade margosa, muito negra, devido à sua grande riqueza em matéria orgânica e, por isso, com potencial de geração de hidrocarbonetos, e a Formação do Cabo Carvoeiro – unidade gerada quando a Berlenga já seria uma ilha, e que devido à sua natureza sedimentológica, é exclusiva de Peniche.

Toda esta sucessão é apontada como a principal referência do Jurássico Inferior da Bacia Lusitânica. Mas, o estado de conhecimento geológico configura muito mais do que isso. Entre os numerosos aspetos de interesse científico, o limite Pliensbaquiano – Toarciano, aflorante na Ponta do Trovão, ocupa o lugar cimeiro, pelo facto de constituir uma espécie de padrão à escala global: o chamado *Global Boundary Stratotype Section and Point* (GSSP) do Toarciano (FIGURA 3). Um limite sustentado essencialmente pelo registo fóssil, a partir dos amonoides, e que do ponto de vista geocronológico é marcado à volta dos 183 Ma. Ao tempo da sedimentação marinha aqui ocorrida, ainda (muito) antes da génese do Oceano Atlântico, Peniche era um ponto de encontro de

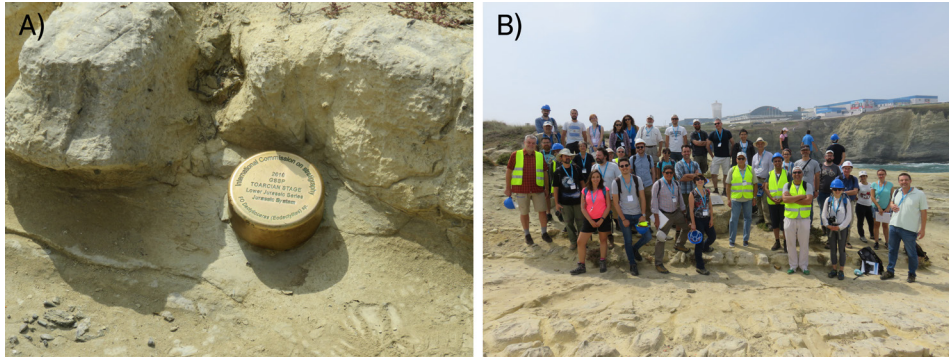


FIGURA 3. O limite Pliensbaquiano-Toarciano na Ponta do Trovão. A) Prego dourado, símbolo universal da formalização dos limites cronostratigráficos à escala global, colocado em Peniche a 25 de julho de 2016; B) Imagem do grupo participante na *field trip* realizada no âmbito do 2nd *International Workshop on the Toarcian Oceanic Anoxic Event*, em setembro de 2018.

Mas o impacto do Jurássico de Peniche, em especial do seu Toarciano (~ 183-174 Ma), é desde há cerca de 10 anos de investigação permanente, mais do que o já demonstrado. Em breves dois a três minutos, calcorreando a pé o afloramento costeiro, desde a Ponta do Trovão, entramos na pequeníssima praia do Abalo. Uma coincidência de nomes, com denominador comum a perpassar, inexplicavelmente, o “telúrico”. Subimos na sequência de estratos da Formação do Cabo Carvoeiro, não mais do que 1 milhão de anos relativamente ao GSSP do Toarciano, e entramos na sucessão que regista o evento anóxico oceânico do Toarciano inferior. Um dos intervalos de tempo do Mesozoico de maior mudança registada à escala planetária, de intensa perturbação do ciclo do carbono, e que envolveu um conjunto de interações entre os oceanos, a litosfera, a atmosfera e a biosfera. Entre esses eventos, que se sobrepõem, destacam-se uma importante extinção em massa, a forte atividade vulcânica ocorrida na província meridional de Karoo-Ferrar, anoxia e (possível) acidificação de alguns ambientes marinhos espalhados pelo planeta, e amplificação do efeito de estufa com o conseqüente aquecimento da água do mar. O Toarciano de Peniche ficou mundialmente conhecido através de estudos isotópicos de carbono aqui realizados, e que demonstraram que a dita perturbação do ciclo do carbono se terá estendido dos oceanos à atmosfera. Desde aí, a investigação aqui realizada, de elevado nível, tem sido uma constante e, muito provavelmente, aos dias deste escrito, sem paralelo na geologia sedimentar portuguesa.

Parece claro que o impacto cénico das falésias calcárias da península de Peniche não

desmerece no conjunto de tantos outros locais icónicos de Portugal. Ainda mais, reunindo as diversas histórias geológicas que aqui se podem contar, e que inclui um Jurássico de exceção. Em tempo de grande e às vezes pouco fundamentado alarido sobre o que são as alterações climáticas, a geologia de Peniche permite-nos conhecer bastante mais sobre o funcionamento do planeta e a interação entre os seus diversos subsistemas. Para além disso, podemos ainda acrescentar ao “cardápio”, as acumulações exclusivas de *Pentacrinus penichensis* (FIGURA 4 A), os sublimes lapiás do Cabo Carvoeiro (FIGURA 4 B), sobranceiros ao Atlântico, e contemplar a Nau dos Corvos. Todas imagens de marca desta zona costeira. Mas podemos ir ainda mais longe nas nossas cogitações. Por exemplo, imaginar como será a morfologia (e a geologia) do fundo marinho entre o Cabo Carvoeiro e a Berlenga. Um percurso de 10 quilómetros que há cerca de 20 mil anos poderia ser realizado, imagine-se, por via terrestre, quando o nível do mar estava cerca de 120 metros mais baixo. A geologia é isto mesmo. Tão real como o festim que certamente será do maior agrado, depois de um dia passado nas falésias de Peniche. Tal como a gastronomia, a geologia de Peniche estará sempre na “boca do mundo”!

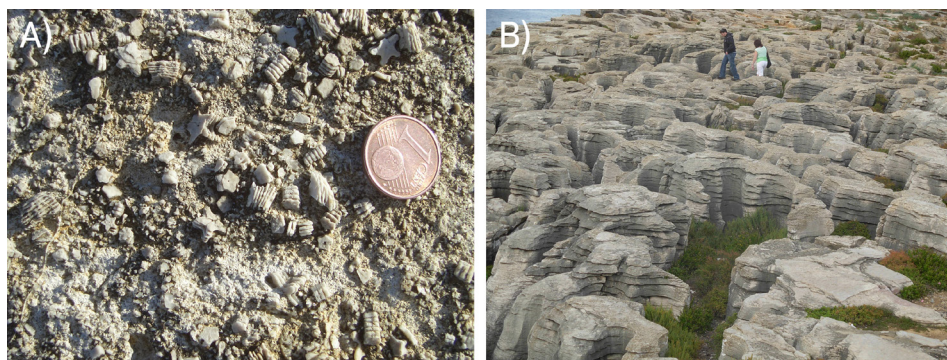


FIGURA 4. Aspectos do registo sedimentar do topo da Formação do Cabo Carvoeiro (Toarciano superior) aflorante no Cabo Carvoeiro. A) O simbólico registo de artigos de crinoides da espécie *Pentacrinus penichensis*. B) Campo de lapiás junto ao farol do Cabo Carvoeiro, uma das feições cársticas mais características de Peniche.

O lado invisível das rochas

in casadasciencias.org/banco-imagens

Toda a imagem é um enigma que cristaliza num ponto singular o movimento perpétuo do Mundo. Mesmo que de rochas estejamos a falar, sabem bem os nossos colegas geólogos que a acinesia é ilusória. A relatividade do movimento assenta sempre numa escala espacial. No caso particular desta imagem a ausência de uma referência dimensional desorienta o observador no espaço levando à perda de objetividade na sua interpretação. Numa primeira abordagem vi nela uma linda fotografia de satélite de uma região costeira pintalgada por alvas formações nebulosas de onde se destaca uma ilha num círculo quase perfeito. Por fim, a leitura da explicação dada pelo autor provocou-me uma queda vertiginosa de 9 ou 10 ordens de grandeza para a escala das imagens micrométricas de rochas obtidas sob luz polarizada que, quase sempre, se revelam assaz belas.

Com este apontamento geológico, fica aqui provado que a Ciência não se resume a uma visão fria e utilitária do Mundo e pode despertar-nos sentimentos de outras dimensões.

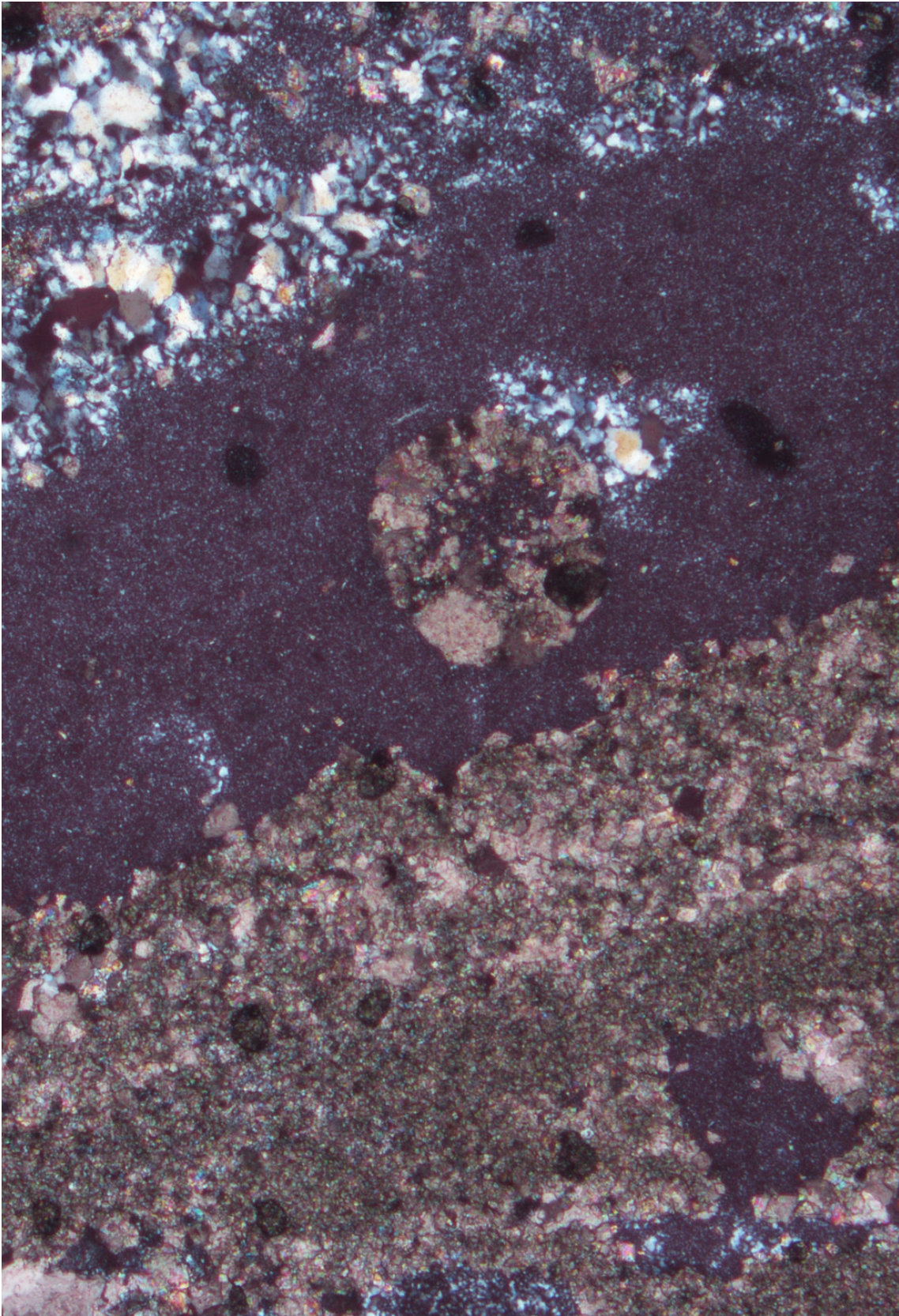
Alexandre Lopes Magalhães

DQB/ Universidade do Porto

A base do conhecimento geológico alicerça-se nas rochas. O seu estudo mais clássico, independentemente do tipo de litologia, assenta na análise petrográfica que envolve observações à escala microscópica, tirando partido das características óticas dos diversos minerais em lâmina delgada. É o caso da presente fotomicrografia (sem escala), obtida sob luz polarizada, que combina duas massas minerais, bem distintas, de uma rocha formada em ambiente sedimentar. A de cor acastanhada, particularmente cristalina, corresponde a um carbonato de cálcio e magnésio, a dolomite, normalmente tido como um mineral “problemático” quanto à sua génese. A massa acinzentada, materializada por diferentes graus de cristalinidade, está associada a uma fase de precipitação siliciosa, com características semelhantes às do quartzo. A análise da imagem, auxiliada pelo manuseamento de todas as potencialidades do microscópio petroográfico, mostra uma combinação de processos sedimentares algo complexos, entre a deposição e a fase subsequente, a diagénese. E o que falta dizer (...).

Luís Vítor Duarte

MARE/ DCT/ Universidade de Coimbra



VII ENCONTRO
INTERNACIONAL
DA CASA
DAS CIÊNCIAS

08 A 10
JULHO
2020

POLITÉCNICO
DO PORTO
INSTITUTO
SUPERIOR
DE ENGENHARIA
DO PORTO

CLIMA E SUSTEN- TABI- LIDADE

ADMINISTRAÇÃO, AGRICULTURA E ZOOLOGIA

