

# V11/01

REVISTA DE CIÊNCIA ELEMENTAR  
CASA DAS CIÊNCIAS

MARÇO 2023



# REVISTA DE CIÊNCIA ELEMENTAR



## FICHA TÉCNICA

Rev. *Ciência Elem.*, V11(01)

Publicação trimestral  
da Casa das Ciências

ISSN 2183-9697 (versão impressa)

ISSN 2183-1270 (versão online)

[rce.casadasciencias.org](http://rce.casadasciencias.org)

DEPÓSITO LEGAL

425200/17

COORDENAÇÃO EDITORIAL

**Alexandra Coelho**

DESIGN

**Rui Mendonça**

PAGINAÇÃO

**Raul Seabra**

IMPRESSÃO E ACABAMENTO

**UniarTE Gráfica S.A.**

TIRAGEM

**3000 exemplares**

IMAGEM NA CAPA

**Flores de esteva**

© 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](mailto:rce@casadasciencias.org)

## CORPO EDITORIAL DA REVISTA DE CIÊNCIA ELEMENTAR

### EDITOR

João Nuno Tavares (UNIVERSIDADE DO PORTO)

### EDITOR CONVIDADO

Jorge Canhoto (UNIVERSIDADE DE COIMBRA)

### CONSELHO EDITORIAL

Alexandre Lopes Magalhães (UNIVERSIDADE DO PORTO)

Jorge Manuel Canhoto (UNIVERSIDADE DE COIMBRA)

Paulo Ribeiro-Claro (UNIVERSIDADE DE AVEIRO)

José Cidade Mourão (INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO)

Rute Coimbra (UNIVERSIDADE DE AVEIRO)

Sónia Gouveia (UNIVERSIDADE DE AVEIRO)

José Francisco Rodrigues (UNIVERSIDADE DE LISBOA)

### PRODUÇÃO E SECRETARIADO

Alexandra Coelho

Guilherme Monteiro

Liliana Freitas

Raul Seabra

### 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](http://rce.casadasciencias.org)



**CASA DAS  
CIÊNCIAS**

EDULOG · FUNDAÇÃO BELMIRO DE AZEVEDO

MARÇO 2023

# V11/01

## ÍNDICE

02 AGENDA

03 NOTÍCIAS

EDITORIAL

05 **Oito mil milhões.**

Jorge Canhoto

HISTÓRIA DA CIÊNCIA

07 **Grafómetro.**

Alzira Faria

ARTIGOS

11 **Teoria da radiação eletromagnética.**

Eduardo Lage

16 **Águas minerais engarradas.**

Celso de Sousa Figueiredo Gomes

21 **Deposição de argilas.**

Edite Bolacha

25 **A aventura para o conhecimento.**

Ana Gomes *et al.*

29 **Antibióticos.**

Bárbara S. Diogo *et al.*

33 **Simbiose entre figueiras e vespas.**

Francisca Maria Fernandes *et al.*

38 **CRISPR/Cas.**

Ricardo Ferraz *et al.*

AOS OLHOS DA CIÊNCIA

43 **Ambiências da Namíbia.**

Luís Vítor Duarte, Pedro Callapez

IMAGEM EM DESTAQUE

48 **Um tigre branco.**

Sandra Correia,

Luís Quintais

**08/03**  
**a 24/05** (2023)

Biologia ao fim da tarde

Dando continuidade às palestras *Biologia ao fim da tarde*, o Departamento de Biologia da FCUP e o Núcleo de estudantes de Biologia da UP vão iniciar um novo ciclo de palestras com a duração de 15/20 minutos, que abordarão alguns dos principais desafios e temáticas na área da Biologia. As palestras decorrerão às quartas-feiras, pelas 18 h, nas instalações da FCUP ou, em alternativa, para quem não se puder deslocar, através do *Zoom*. Adicionalmente serão também transmitidas através do canal da FCUP no *Youtube*. A participação presencial, ou através de *Zoom*, faz-se mediante inscrição prévia. Os participantes terão acesso ao certificado de participação após o preenchimento de um inquérito, que será enviado pelo *chat* do *Zoom* durante a sessão.

A inscrição para a primeira sessão poderá ser feita através do link.

[HTTPS://FORMS.GLE/8iC6NjVt5D6M0NWB7](https://forms.gle/8iC6NjVt5D6M0NWB7)

**16/07**  
**a 20/07** (2023)

XI Congresso Nacional de Geologia

O XI Congresso Nacional de Geologia (XI CNG) terá lugar em Coimbra, no Edifício Central da FCTUC (Polo 2 da Universidade de Coimbra). No XI CNG procurar-se-á destacar o papel das Geociências na concretização dos objetivos do desenvolvimento sustentável segundo as Nações Unidas, contribuindo assim para a resolução de 8 Desafios Globais: (1) Minerais e inovação tecnológica, (2) Materiais e economia circular, (3) Riscos naturais e alterações climáticas, (4) Acesso e qualidade da água, (5) Descarbonização e fontes de energia, (6) Saúde e qualificação ambiental, (7) Segurança e sustentabilidade urbana e (8) Geodiversidade e geoconservação.

UNIVERSIDADE DE COIMBRA, POLO 2

[HTTPS://XICNG.NET/](https://xicng.net/)

**17/07**  
**a 19/07** (2023)

VIII Encontro Internacional da Casa das Ciências

Este ano subordinado ao tema da Energia, o VIII Encontro Internacional da Casa das Ciências irá rumar à cidade dos canais.

Mantendo a estrutura de sempre, o programa vai oferecer conferências e painéis de discussão em torno do tema geral do encontro e plenárias sectoriais dedicadas especificamente aos docentes de cada área científica presente no encontro.

Para além disso, as tradicionais oficinas, com grupos mais pequenos de participantes e com uma componente mais prática, ocuparão perto de metade das 25h de formação que o Encontro Internacional oferece aos grupos 110, 230, 500, 510 e 520.

UNIVERSIDADE DE AVEIRO

[WWW.CASADASCIENCIAS.ORG/8ENCONTROINTERNACIONAL/](http://WWW.CASADASCIENCIAS.ORG/8ENCONTROINTERNACIONAL/)





## (I)literacia científica.



FIGURA 1. Revista Science & Pseudo-Sciences.

A revista *Science & Pseudo-Sciences* é uma excelente publicação que tem como objetivo informar os leitores sobre o papel da ciência na sociedade e combater a desinformação científica que circula nas redes sociais, e não só. O último número ([www.afis.org/343-janvier-2023](http://www.afis.org/343-janvier-2023)) revela as principais conclusões de um estudo do Eurobarómetro, um instrumento de análise que monitoriza a opinião pública europeia relativamente a temáticas de natureza social, económica ou política. O estudo mostra que 45% dos 37103 inquiridos acredita que os antibióticos controlam tanto os vírus como as bactérias e, mais ou menos a mesma percentagem, considera que os vírus foram produzidos em laboratórios governamentais para controlo do

crescimento demográfico. Além disso, mais de 40% das pessoas admite que o tratamento para o cancro existe, mas que é escondido pelos governos. Todos sabemos que a opinião pública tem tendência a atribuir todos os males à governação, mas daí a achar que os governos existem basicamente para nos matar é capaz de ser abusivo. Conclusão: apesar de termos uma população cada vez mais informada, e da informação científica estar cada vez mais acessível, uma parte considerável da sociedade europeia continua a acreditar em teorias da conspiração. Mais literacia científica, precisa-se!

## Brincar bem.



FIGURA 1. Legos botânicos.

*Leg godt*, as duas palavras em dinamarquês de que resultou, em 1934, uma designação global que toda a gente conhece — Lego. Ole Kirk Kristiansen, um carpinteiro dinamarquês de Billuna e criador destes pequenos tijolos que fazem a delícia de crianças e adultos, estava certamente longe de imaginar o sucesso que a empresa viria a ter. Gerida atualmente por um neto do fundador, um CEO como se diz agora, a Lego ([www.lego.com](http://www.lego.com)) é

uma das empresas de brinquedos de maior sucesso. As peças atuais foram lançadas em 1958, mas a empresa de brinquedos de madeira tornou-se um sucesso à escala global quando, em 1946, Ole Kristiansen, comprou uma máquina de moldar plástico que lhe permitiu fabricar, em 1949, as famosas peças que se interligam. Recentemente, a Lego lançou uma coleção sobre plantas que faz perder a cabeça a qualquer botânico, estando disponíveis orquídeas, suculentas, girassóis, tulipas, rosas, estrelícias e mesmo um bonsai e um *bouquet* de flores silvestres. Vantagens – não precisam de água nem de apanhar luz e quando nos aborrecemos podemos sempre desmontá-las e guardá-las na caixa. Se não gosta de flores, as possibilidades são ilimitadas: estádios de futebol, automóveis, a tradicional vespa e uma espetacular máquina de escrever. Obrigado Ole, sem ti o mundo seria menos colorido.

---

## Trigo.



FIGURA 1. Trigo.

Há inúmeras espécies de trigo, mas aquele que é mais cultivado (90% da área total) é a espécie *Triticum aestivum*, uma espécie alohexaplóide que combina seis genomas (seis

grupos de cromossomas), quatro provenientes de um outro trigo (*Triticum turgidum*) e dois de uma gramínea (*Aegilops speltoides*). Dados arqueológicos revelaram que os humanos já moíam os grãos de espécies ancestrais de trigo há cerca de 14000 anos, muito antes da sua domesticação no Crescente Fértil, há 10000 anos. O sucesso do trigo resulta das propriedades da sua farinha para a produção de pão, muito superior à de outros cereais como o centeio ou a cevada. O trigo duro, uma espécie tetraplóide, é menos cultivado (5%) e especialmente apreciado para a produção de pasta. Juntamente com o milho e o arroz, o trigo é uma das espécies que sustenta a alimentação humana, mas o seu valor de mercado é superior ao dos outros dois cereais. Sendo assim, não admira que a produção de trigo tenha assumido, ao longo de milhares de anos, uma importância geoestratégica determinante. No livro *As Guerras do Trigo*, Scott R. Nelson, professor na Universidade da Geórgia (EUA) relata como este cereal foi motivo de guerras e revoluções. Numa altura em que a Guerra da Ucrânia afeta a segurança alimentar global, este livro é uma excelente obra para nos relembrarmos que o nosso bem estar está intimamente ligado à agricultura.

---

# Oito mil milhões.

"*In God we trust; all others must bring data*". Esta frase, que tem sido atribuída a um engenheiro, estatístico e gestor americano, de seu nome William E. Deming, pretende mostrar a importância que os dados têm para a ciência e para tomada de decisões. Seguem-se alguns números sobre a população humana. Em 15 de novembro passado a população mundial atingiu o incrível número de 8000 milhões. Uma visita ao *Worldometer* ([www.worldometers.info](http://www.worldometers.info)) mostrou que no dia 25 de Fevereiro deste ano esse número tinha aumentado em cerca de 18 milhões. As estimativas da ONU para 2050, são de perto de 10000 milhões e 11200 milhões em 2100. Não querendo ser mais aborrecido que o próprio Deming, deve referir-se que em 1900, a população era de 1600 milhões e, em 1950, de 2500 milhões. Uma estimativa do número de humanos que pisaram o planeta desde há cerca de 50000 anos, ou seja na versão *Homo sapiens*, sustenta que tenham sido 106 mil milhões. Isto significa que cerca de 7,5% de todos os humanos que já existiram são nossos contemporâneos e que, desde o início do século XX, o número de humanos no planeta aumentou cinco vezes.

Aplicando esta informação ao pensamento de Bill Clinton (*It's the economy, stupid*) a conclusão só pode ser uma: é a demografia, idiota. Do ponto de vista evolutivo é muito interessante, e também irónico, que a principal ameaça a uma espécie seja ela própria e não outras espécies ou fatores ambientais. Para um problema desta complexidade não há soluções milagrosas. Políticas de limitação da natalidade, como as aplicadas na China, podem ter resolvido parcialmente o problema do crescimento populacional, mas trouxeram outros problemas, como o envelhecimento da população, para além de serem eticamente questionáveis. O grau de formação das mulheres é sem dúvida um aspeto importante desta equação. Estudos recentes na Índia, que durante este ano ultrapassará a China como o país mais populoso, mostraram uma estreita correlação entre o nível de literacia das mulheres e a taxa de fertilidade, com o número de filhos a decrescer em estados em que as mulheres têm um nível académico superior. Situações análogas verificaram-se nos países mais desenvolvidos, em que o número de nascimentos desceu consideravelmente ao longo das últimas décadas, de tal forma que isso se tornou um problema grave em muitos países, Portugal incluído.

Do ponto de vista prático a questão é mais simples embora a solução não seja menos complexa: como garantir a segurança alimentar a uma população em constante crescimento? Ou seja, como alimentar 8 mil milhões de pessoas? Não há soluções milagrosas e muitos caminhos têm sido apontados, desde a utilização de insetos, à produção de carne em laboratório ou ao incremento do consumo de algas. Passando, claro, pela diminuição das perdas das culturas

e pela redução do desperdício alimentar. Para se ter uma ideia de como estes aspetos são importantes, importa referir que se estima que mais de 40% das colheitas sejam perdidas devido a fatores bióticos (pragas, doenças) ou abióticos (condições ambientais). Se a isto juntarmos o que desperdiçamos em nossas casas e as perdas de produtos perecíveis em superfícies comerciais, facilmente concluímos que muito há a fazer. Mas não nos iludamos, a alimentação continuará a ter como base a produção de plantas quer consumidas diretamente quer para a produção de carne. E, de entre as plantas que são cultivadas para fins alimentares ou para a alimentação animal, um número muito restrito continuará a ser preponderante. É o caso dos cereais (trigo, milho e arroz), a soja, alguns tubérculos e raízes e vários frutos. Assim, o grande desafio da humanidade nas próximas décadas será produzir mais em menos terra e de uma maneira sustentável, não apenas do ponto de vista ambiental, mas também numa perspetiva socioeconómica. Não é certamente por acaso que os dois primeiros objetivos do Desenvolvimento Sustentável das Nações Unidas são: 1) erradicar a pobreza e 2) acabar com a fome.

Indiferente a estes problemas globais, a *Revista de Ciência Elementar* segue o seu caminho e chega ao 10.<sup>o</sup> aniversário. Um excelente conjunto de diversificados artigos e de rubricas que os nossos leitores podem desfrutar estão disponíveis neste número 37.

Com este número chega também uma nova estação, por isso, como diria o grande Chico “*Buarque, canta a primavera, pá*”.

Jorge Canhoto

Universidade de Coimbra



---

# Grafómetro.

**Alzira Faria**

ISEP/ P.PORTO

Os métodos de ensino da Matemática e as reformas na educação, na passagem do século XIX para o século XX, foram tema de debates internacionais e nacionais. Neste período, encontravam-se nos manuais de Matemática descrições de instrumentos utilizados na época e do modo como eram usados. José Joaquim Manso-Preto (1823), dedica uma parte da sua obra à descrição e uso de instrumentos utilizados nas operações trigonométricas e, na sua opinião, o grafómetro, um objeto que data do fim do século XVI, é um dos principais instrumentos para trabalhar no terreno apresentando vários exemplos disso.

A Aritmética, a Álgebra, a Geometria, a Trigonometria, a Cosmografia e a Geografia Matemática são disciplinas que fizeram parte do ensino e sofreram várias reformulações ao longo dos séculos XIX e XX, tendo havido uma fusão destas áreas no final da década de quarenta do século XX até à década de setenta. A Trigonometria, que estava incluída na aplicação à Topografia, foi a que menos alterações sofreu.

Os métodos de ensino da Matemática e as reformas na educação, na passagem do século XIX para o século XX, foram tema de debates internacionais e nacionais. Neste período, encontravam-se, nos manuais, descrições de instrumentos utilizados na época e do modo como eram usados. Posteriormente, estas descrições transformaram-se em pequenas notas informativas, reduzindo-se o número de problemas de aplicação da Trigonometria.

Em Portugal, José Joaquim Manso-Preto dedica a segunda parte do seu manual à descrição e uso de instrumentos utilizados nas operações trigonométricas. O grafómetro, na opinião daquele autor, é um dos principais instrumentos para trabalhar no terreno, sendo o fio de prumo e o nível de bolha de ar referidos como auxiliares das medições com ele. Na época, conhecer e saber utilizar instrumentos era condição necessária para a aprovação de candidatos à docência da Matemática e, nas primeiras décadas do século XX, discutiu-se a possibilidade de introduzir no ensino da Matemática a moderna orientação de utilização do “método de laboratório”. Com este método pretendia-se que os alunos construíssem instrumentos simples e que os utilizassem em medições de alturas, leitura de ângulos, etc.. O relato desta experiência foi feito por Ruy da Silva Leitão e encontra-se publicado na *Gazeta de Matemática*.

### Grafómetro.

O grafómetro (FIGURA 1) é um instrumento usado para medir ângulos do qual podemos dizer que é uma consequência da evolução da Dioptra e um antecessor imediato do teodolito. Desde a sua invenção em 1597, tem sido destacado pela sua simplicidade e resistência. Foi ainda, utilizado por agrimensores e geómetras, desde meados do século XVII ao final do século XIX, em várias operações como medições de terrenos, entre outras. A sua invenção foi atribuída a Philippe Danfrie, um inventor e fabricante de instrumentos matemáticos em metal e papel, dactilógrafo, editor e autor. Cerca de quarenta anos após o aparecimento do primeiro instrumento, Danfrie escreveu, projetou e publicou um tratado sobre o grafómetro — *Declaration de l'usage du graphometre*.

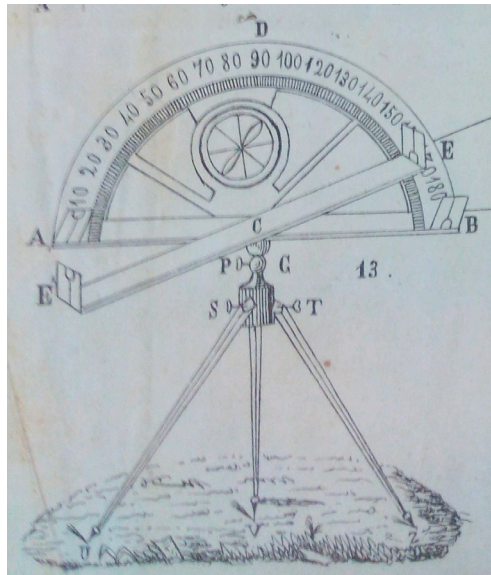


FIGURA 1. Grafómetro.

Segundo uma descrição de José Joaquim Manso-Preto o instrumento (FIGURA 1) consiste num semicírculo  $ADB$ , normalmente em latão, designado por *limbo* e está dividido em 180 graus. Designa-se por *linha de fé* a reta traçada sobre o diâmetro  $ACB$  e que passa nos pontos  $O$  e  $180$  graus. Tem, para além do diâmetro fixo, um outro  $EE'$ , formado por uma peça metálica em forma de régua que é móvel em torno de  $C$  e em que a sua extremidade  $E$  pode percorrer todas as divisões do limbo — designa-se por *alidade*.

Podemos ainda ver aplicadas perpendicularmente duas pínulas (FIGURA 2) nas extremidades do diâmetro fixo e da alidade. Estas duas peças metálicas retangulares apresentam duas aberturas, uma fenda e outra mais larga, que é atravessada por um fio fino de seda ou metal colocado sobre o prolongamento da fenda com o objetivo de estabelecer os alinhamentos.

Na parte de baixo (FIGURA 1) encontra-se uma esfera contida em dois hemisférios ocios  $G$ , que se podem apertar ou alargar por meio de um parafuso de pressão. Esta peça, designada por *joe-lho*, permite dar ao grafómetro todas as posições que se pretenda. O instrumento é sustentado sobre um pé  $TSUVZ$ , composto por três pernas  $U, V, Z$  móveis em  $S$ . No centro do instrumento encontra-se uma bússola para orientar os objetos.

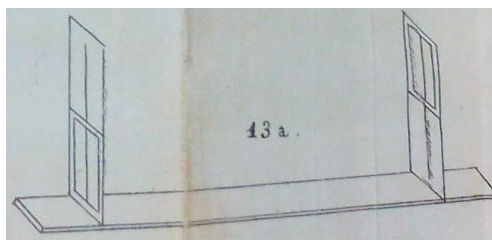


FIGURA 2. Pínulas.

### Medir com um grafómetro.

Pedro-Manso explica que para, por exemplo, medir o ângulo  $FCH$  (FIGURA 3) formado pelos ângulos de visão tirados pelo ponto  $C$  para os objetos  $F$  e  $H$ , coloca-se o centro do grafómetro no ponto  $C$ , designado por centro da estação, e gira-se o plano do limbo até que fique na direção do plano que passa pelos pontos  $C, F$  e  $H$ . De seguida, dirigem-se os fios (que passam pelas pínulas) do diâmetro fixo e da alidade para cada um dos objetos de forma que os objetos fiquem no cruzamento dos dois fios. O arco compreendido entre os dois diâmetros do instrumento será a medida do ângulo  $FCH$ . A fiabilidade da leitura do instrumento pode ser testada medindo os três ângulos internos de um triângulo, cujos vértices sejam três pontos sobre o terreno, e ver se a soma dos ângulos observados é 180 graus.

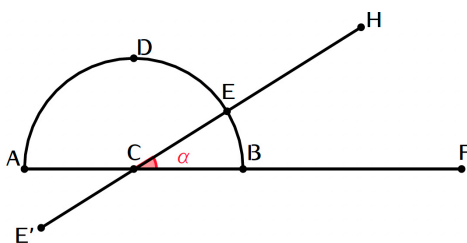


FIGURA 3. Esquema – Medir com grafómetro.

### Aplicações – problemas da Topografia.

O papel inicial da Trigonometria está associado à resolução de problemas que podiam ser relacionados com triângulos e o seu estudo desenvolveu-se a partir da necessidade sentida por diversos povos em áreas como a Navegação, Agrimensura e Topografia. Os primeiros indícios surgiram na Babilónia com o cálculo de razões entre números e entre lados de triângulos semelhantes. A Trigo-

nometria define-se como sendo a parte da Matemática que ensina a medir os lados e os ângulos dos triângulos, chegando mesmo a ser considerada uma extensão da Geometria.

No entanto, a grande instigadora do desenvolvimento da Trigonometria foi a Astronomia. O astrónomo grego Hiparco (190 a.C.–120 a.C.), fortemente influenciado pela Matemática Babilónica, é geralmente descrito como o “pai da Trigonometria” uma vez que construiu a que se pode chamar de primeira tabela trigonométrica, mas foi Ptolomeu (125 a.C.) quem, baseado nos trabalhos de Hiparco, apresenta um verdadeiro tratado de Trigonometria plana e esférica – o *Almagesto*.

Na Trigonometria plana consideramos triângulos formados sobre um plano pela interseção de três linhas. Os três ângulos são designados por  $A$ ,  $B$  e  $C$ , e os lados opostos por  $a$ ,  $b$  e  $c$ . Para apoiar a resolução das aplicações selecionadas, destaca-se três teoremas enunciados por Manso – Preto:

1. “Em todo o triângulo (...) a soma dos três ângulos internos equivale a dois retos.” (FIGURA 4).
2. “Em todo o triângulo retângulo, um cateto é igual à hipotenusa multiplicada pelo seno do ângulo oposto ao mesmo cateto.”.

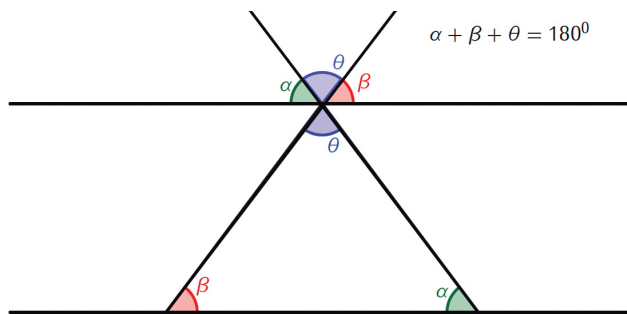


FIGURA 4. Teorema1 – esquema.



# Teoria da radiação eletromagnética.

Eduardo Lage

U. Porto

ARTIGO

11

O azul do céu e o vermelho no ocaso são manifestações da radiação eletromagnética gerada por cargas aceleradas. O campo da radiação deduz-se a partir dos potenciais retardados aqui definidos e obtidas as suas expressões exactas. Para grandes distâncias das fontes e pequenas velocidades das cargas, comparadas com a velocidade da luz, obtém-se uma boa aproximação para o campo de radiação caracterizado por depender da aceleração transversal, em relação à linha de visão do observador. Os resultados são aplicados ao estudo da radiação emitida por um oscilador harmónico e por uma carga em movimento circular, discutindo-se as difusões *Thomson* e *Rayleigh*, a instabilidade de modelos clássicos de átomos e a radiação emitida por um magneto em rotação que constitui um modelo aproximado para um pulsar.

As ondas eletromagnéticas são oscilações dos campos eléctrico e magnético que se propagam no vazio com a velocidade da luz, sendo detetadas pelas suas interações com cargas e correntes. Inversamente, cargas e correntes que variam no tempo geram ondas eletromagnéticas – são as soluções particulares das equações:

$$\frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^2} - \Delta \varphi = \frac{\rho}{\epsilon_0} \quad (1)$$

$$\frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \vec{A}}{\partial t^2} - \Delta \vec{A} = \frac{\vec{i}}{\epsilon_0 c^2} \quad (2)$$

Aqui,  $\rho$  e  $\vec{i}$  são as densidades de carga e corrente, as fontes do campo, enquanto que  $\varphi$  e  $\vec{A}$  são os potenciais eletromagnéticos a partir dos quais se deduzem os campos físicos:

$$\vec{E} = -\nabla \varphi - \frac{\partial \vec{A}}{\partial t} \quad (3)$$

$$\vec{B} = \nabla \wedge \vec{A} \quad (4)$$

Se se projetar a equação (2) nos eixos cartesianos, facilmente se percebe que as três equações assim obtidas são analiticamente idênticas à equação (1). Considerar-se-á, então, a solução particular desta equação, adaptando-se imediatamente o resultado final para a solução da equação (2). Considere-se um pequeno volume localizado na origem das coordenadas de modo que a carga instantânea nesse volume é:

$$\delta Q(t) = \rho(\vec{0}, t) dV \quad (5)$$

Será óbvio que a solução da equação (1) para esta carga apresenta simetria esférica. Assim, usando coordenadas esféricas, procura-se soluções da forma:

$$\varphi(r, t) = \frac{\psi(r, t)}{r} \quad (6)$$

Considere-se  $r \neq 0$ , de modo que o segundo membro da equação (1) é nulo para aquela carga. Obtém-se:

$$\frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \psi}{\partial t^2} - \frac{\partial^2 \psi}{\partial r^2} = 0 \quad r > 0$$

A solução genérica desta equação é a sobreposição de duas funções arbitrárias, cada uma só dependente de um único argumento:

$$\psi(r, t) = f(r - ct) + g(r + ct) \quad (7)$$

A função  $f$ , designada por solução retardada, representa uma onda esférica que se propaga a partir da origem, enquanto a função  $g$  (solução avançada) representa uma onda esférica que converge para a origem. Ora, é de esperar que a onda gerada pela carga  $\delta Q(t)$  se propague a partir da carga como exige o princípio da causalidade. Assim, será ignorada a solução avançada, o que introduz uma assimetria no tempo que não está presente nas equações de Maxwell.

Regressando à equação (1), com o segundo membro incluído e representando a carga, é evidente que, quando  $r \rightarrow 0$ , se deve encontrar o potencial eletrostático:

$$\varphi(r, t) \xrightarrow{r \rightarrow 0} \frac{\delta Q(t)}{4\pi\epsilon_0 r}$$

Então, pelas equações (6) e (7), obtém-se:

$$f(-ct) = \frac{\delta Q(t)}{4\pi\epsilon_0}$$

Ora, a função  $f$  só tem um argumento,  $r - ct$ . Assim, com o resultado anterior, obtém-se a especificação completa desta função:

$$f(r - ct) = \frac{\delta Q(t - \frac{r}{c})}{4\pi\epsilon_0} = \frac{\rho(\vec{0}, t - \frac{r}{c}) dV}{4\pi\epsilon_0}$$

Invocando a equação (6), deduz-se o potencial elétrico para esta carga situada, por hipótese, na origem:

$$\varphi(\vec{r}, t) = \frac{\rho(\vec{0}, t - \frac{r}{c}) dV}{4\pi\epsilon_0 r}$$

É, agora, possível generalizar. Primeiro, suponha-se que a posição da carga é  $\vec{r}'$  e o ponto de observação é  $\vec{r}$ , de modo que a distância entre a carga e o ponto é  $R = |\vec{r} - \vec{r}'|$ , pelo que a expressão anterior fica:

$$\varphi(\vec{r}, t) = \frac{\rho(\vec{r}', t - \frac{R}{c}) dV'}{4\pi\epsilon_0 R}$$

Segundo, para uma distribuição contínua de cargas, a solução retardada obtém-se por simples aplicação do princípio da sobreposição:

$$\varphi(\vec{r}, t) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int dV' \frac{\rho(\vec{r}', t - \frac{R}{c})}{R} \quad (8)$$

Como referido anteriormente, a solução da equação (2) é:

$$\vec{A}(\vec{r}, t) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 c^2} \int dV' \frac{\vec{j}(\vec{r}', t - \frac{R}{c})}{R} \quad (9)$$

Estas equações são as soluções exatas para distribuições arbitrárias de cargas e correntes. A partir delas deduzem-se os campos elétrico e magnético através das equações (3) e (4).



FIGURA 1. Raio de luz.

Interessa aqui considerar a geração de uma onda eletromagnética dentro de aproximações justificadas. Para isso, começa-se por notar que um raio de luz (FIGURA 1) é a propagação de energia no interior de um cone que subtende um ângulo sólido  $d\Omega$  (FIGURA 2): o fluxo de energia, na unidade de tempo, através de qualquer base esférica à distância arbitrária,  $r$ , do seu vértice é  $I r^2 d\Omega$ , onde  $I$  é a intensidade da radiação, i.e., a grandeza do vetor de Poynting:

$$\vec{S} = \varepsilon_0 c^2 \vec{E} \wedge \vec{B} \quad (10)$$

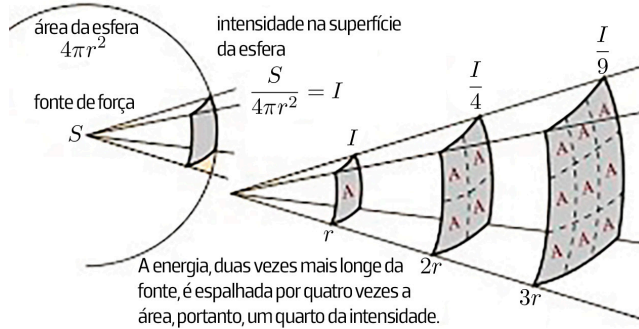


FIGURA 2. O fluxo de energia mantém-se constante para distâncias à fonte cada vez maiores.

Ora, para uma onda eletromagnética propagando-se no vácuo é  $B = \frac{E}{c}$ , pelo que  $I = |\vec{S}| \propto E^2$ . Assim, para um raio de luz, obtém-se  $E \propto \frac{1}{r}$ . É esta a característica fundamental do campo de radiação que se deve contrastar com o decaimento espacial do campo eletrostático para o qual é  $E \propto \frac{1}{r^2}$ . Considerando a origem de coordenadas num ponto qualquer no interior da região onde se situam as fontes da radiação, então, numa primeira aproximação, os potenciais ficam, para grandes distâncias dessas fontes:

$$\varphi(\vec{r}, t) \simeq \frac{1}{4\pi\varepsilon_0 r} \int dV' \rho\left(\vec{r}', t - \frac{R}{c}\right) \quad (11)$$

$$\vec{A}(\vec{r}, t) \simeq \frac{1}{4\pi\varepsilon_0 c^2 r} \int dV' \vec{i}\left(\vec{r}', t - \frac{R}{c}\right) \quad (12)$$

O cálculo dos campos elétrico e magnético, equações (3) e (4), obriga a derivar estas expressões em ordem ao tempo e às coordenadas do vetor de posição  $\vec{r}$ . Ora, em relação a estas, irão ser ignoradas as derivadas do fator  $\frac{1}{r}$ , porque levam a um decaimento espacial ainda mais rápido dos potenciais. Assim, tais derivadas serão obtidas apenas do tempo retardado:

$$t^* = t - \frac{R}{c} \quad (13)$$



Os cálculos, algo laboriosos, são apresentados na publicação eletrônica, obtendo-se:

$$\begin{aligned}\vec{E}(\vec{r}, t) &= -\frac{1}{4\pi\epsilon_0 c^2} \int dV' \left[ \frac{\partial \vec{i}(\vec{r}', t^*)}{\partial t} - \left( \frac{\partial \vec{i}(\vec{r}', t^*)}{\partial t} \cdot \vec{e}_r \right) \vec{e}_r \right] = \\ &= \frac{1}{4\pi\epsilon_0 c^2 r} \int dV' \vec{e}_R \wedge \left( \vec{e}_r \wedge \frac{\partial \vec{i}(\vec{r}', t^*)}{\partial t} \right)\end{aligned}\quad (14)$$

Quanto ao campo magnético, as equações (4) e (12) dão, nas aproximações referidas:

$$\begin{aligned}\vec{B}(\vec{r}, t) &\simeq \frac{1}{4\pi\epsilon_0 c^2 r} \int dV' \nabla \wedge \vec{i}(\vec{r}', t^*) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 c^2 r} \int dV' \nabla t^* \wedge \frac{\partial \vec{i}(\vec{r}', t^*)}{\partial t} = \\ &= -\frac{1}{4\pi\epsilon_0 c^2 r} \int dV' \frac{\vec{e}_R}{c} \wedge \frac{\partial \vec{i}(\vec{r}', t^*)}{\partial t}\end{aligned}\quad (15)$$

Para uma carga pontual  $q$  com velocidade muito menor que a da luz, obtém-se:

$$\vec{E}(\vec{r}, t) \simeq \frac{q}{4\pi\epsilon_0 c^2 r} \vec{e}_r \wedge \left[ \vec{e}_r \wedge \vec{a} \left( t - \frac{r}{c} \right) \right] \quad (16)$$

$$\vec{B}(\vec{r}, t) = \frac{\vec{e}_r}{c} \wedge \vec{E}(\vec{r}, t) \quad (17)$$

Algumas interessantes aplicações destes resultados encontram-se na versão eletrônica.

# Águas minerais engarrafadas.

Celso de Sousa Figueiredo Gomes

U. Aveiro

ARTIGO

16

As águas minerais são distintas da água pura, quimicamente apenas constituída por oxigénio e hidrogénio, porque, para além destes dois elementos químicos fundamentais, elas contêm muitos outros elementos e compostos químicos adquiridos por dissolução química dos minerais das rochas, sedimentos e solos, materiais geológicos através dos quais elas circulam.

A circulação da água na superfície e no interior do planeta Terra está bem expressa no chamado *Ciclo ou Circuito Hidrológico*, representado de modo esquemático na FIGURA 1. Neste ciclo a água passa da terra para a atmosfera, por efeito da evaporação e da respiração e transpiração de plantas e animais, e da atmosfera volta para terra, por efeito da precipitação sob a forma de chuva, neve e granizo. O *Ciclo da Água* é comandado pela energia solar e pela gravidade. Estima-se que cerca de  $435 \text{ km}^3/\text{ano}$  de água se evaporem dos oceanos, e que da água evaporada a chuva faça retornar diretamente aos oceanos cerca de  $390\,000 \text{ km}^3/\text{ano}$ .

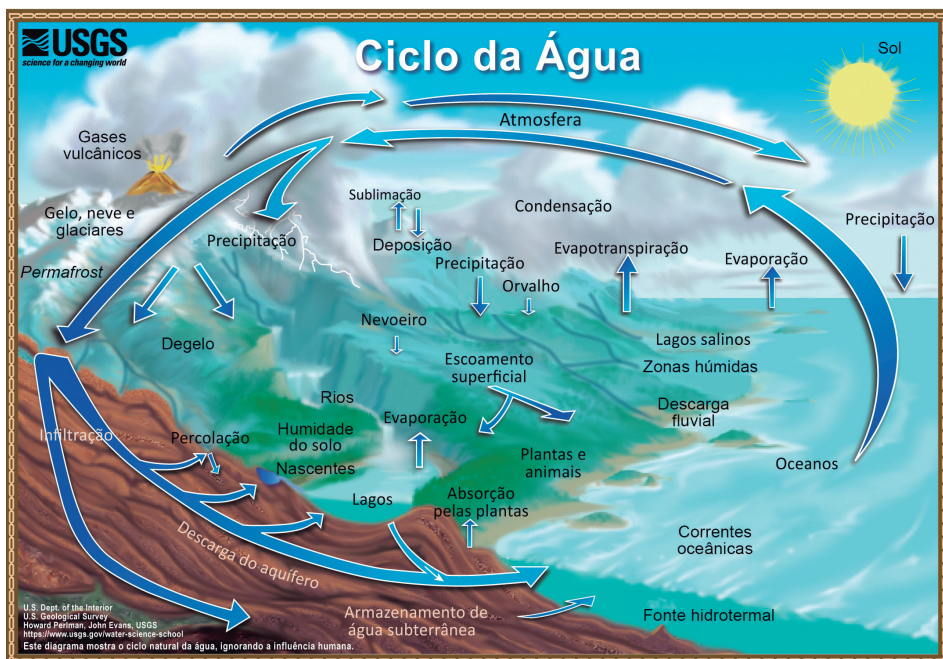


FIGURA 1. Representação esquemática do Ciclo Hidrológico.

Cerca de 45000 m<sup>3</sup>/ano são transferidos pelo vento como vapor de água dos oceanos para os continentes, valor que representa o valor total de água renovável, e expressa a diferença líquida entre a evapotranspiração continental (65000 km<sup>3</sup>/ano) e a precipitação (110000 km<sup>3</sup>/ano), acabam por fluir através dos rios e aquíferos subterrâneos para os mares e oceanos. E, só cerca de 10% do valor referido, isto é, 4500 m<sup>3</sup>/ano, faz a recarga dos aquíferos subterrâneos. Naturalmente, o ritmo de extração de água destes aquíferos deve ter em conta a velocidade de recarga dos mesmos para evitar o esgotamento. Se do volume total de água renovável e disponível fosse dividido igualmente por todos os habitantes da Terra cerca de 6000 m<sup>3</sup> caberiam a cada um, valor que é 10 vezes superior ao atual consumo *per capita*.

O Ciclo Hidrológico compreende três subciclos: direto, inverso e magmático: 1 – No subciclo direto, a água, após ser evaporada e condensada na atmosfera, precipita sob a forma de chuva ou neve, infiltra-se nos terrenos ou escoar-se pela superfície, emerge em nascentes e termina desaguardo nos oceanos, mares e lagos de onde proveio; 2 – No subciclo inverso, a água existente nos oceanos, mares e lagos, infiltra-se através de fraturas e poros das rochas seus substratos, desce, aquece por efeito geotérmico, ascende e emerge em nascentes, volta a escoar, e termina nos locais de origem; 3 – No subciclo magmático, a água resultante da destilação do magma, ascende através de fraturas, emerge à superfície pela qual se escoar e acaba alimentando rios, mares e oceanos. Importa referir que o total de água na Terra permanece constante.

Entre as águas minerais que o homem utiliza para beber e para outros fins relacionados com a saúde merecem particular distinção as chamadas águas minerais naturais e águas de nascente pela singularidade de manterem a sua pureza original e não serem submetidas a quaisquer tratamentos químicos e emprego de aditivos. Um e outras são utilizadas para beber e para fins terapêuticos e de bem-estar. A chamada água da torneira, igualmente uma água mineral que também é usada para beber e outros tipos de consumo, não é água natural, de certo modo é artificializada por ser submetida a tratamentos vários tendo em vista atingir a inocuidade química e microbiológica da água e, conseqüentemente a segurança sanitária dos consumidores.

A água mineral natural é uma água bacteriologicamente aceitável, de circulação profunda ou extensa na crosta terrestre, que possui propriedades físico-químicas estáveis na sua origem e lhe conferem interessantes propriedades terapêuticas, ou simples efeitos favoráveis à saúde, devido à natureza e teor em minerais — oligoelementos ou outros constituintes — que contém.

A água de nascente é uma água bacteriologicamente aceitável, particularmente utilizada engarrafada para ser consumida em ambiente doméstico ou em ambiente de restauração.

A água mineral, ao contrário da água pura, é a água natural que é essencial à vida do homem, de outros animais e das plantas. A água mineral utilizada pelo homem é extraída de reservatórios ou aquíferos, tanto superficiais (rios e lagos naturais ou não), como subterrâneos, por meio de bombagem, captação e bombagem em furos, mais ou menos profundos, e, também de nascentes.

É reconhecido, desde há vários séculos, que os minerais existentes em solução nas águas minerais são essenciais para humanos, diferentes minerais tendo diferentes funções. A água é um constituinte essencial do corpo humano e os minerais nela contidos condicionam as propriedades físicas, químicas e físico-químicas da água de beber, que deve ser sanitariamente segura, tanto química como microbiologicamente. Sem água não há vida. No corpo de um adulto pesando 70 kg a água representa cerca de 60%. Se não beber água, o ser humano entra em processo de desidratação, podendo morrer em 2–3 dias.

A qualidade da água é uma das maiores preocupações da humanidade no século XXI. As chamadas doenças com origem na água são causadas por contaminantes químicos e micro-organismos patogénicos presentes na água de beber. E, em consequência das chamadas mudanças climáticas, o aumento de temperatura e os cada vez mais frequentes episódios severos de chuva e cheias, favorecerão a disseminação de doenças igualmente severas com origem na água, em particular de doenças infecciosas, tais como febre amarela, malária e dengue.

As águas minerais podem ser classificadas na base das origens respetivas:

1. Meteorológicas – as que ocorrem em aquíferos superficiais produzidos pela chuva, neve e degelo;
2. Juvenis – as que naturalmente emergem à superfície;
3. Fósseis – as que existem confinadas em aquíferos subterrâneos, quer em áreas continentais, quer em áreas marítimas.

Nos países da União Europeia estão estabelecidas duas categorias principais de águas para consumo humano: águas minerais naturais e águas de nascente:

1. As águas minerais naturais distinguem-se da água de beber normal pela sua pureza na origem ou fonte, e pelo teor constante dos minerais que contém; as águas de nascente são preferentemente utilizadas no consumo humano, no seu estado natural e, para o efeito são engarrafadas na origem ou fonte;
2. A Diretiva da Comissão Europeia 2009/54/EC regula a produção e a comercialização das águas minerais naturais. Certas normas desta Diretiva são também aplicáveis às águas de nascente, casos de requisitos microbiológicos e requisitos de rotulagem;
3. A Diretiva da Comissão Europeia 2003/40/EC de 16 Maio 2003 define a lista de parâmetros, os limites das concentrações e os requisitos de rotulagem para as águas minerais naturais, assim como as condições do uso de ar enriquecido em ozono no tratamento de águas minerais naturais e de águas de nascente;
4. A pesquisa e aproveitamento das águas minerais naturais é condicionada a um processo de autorização e concessão pelas Autoridades Competentes de cada País Membro da EU.

Em Portugal, do ponto de vista legislativo e regulamentar, as águas minerais naturais e as águas de nascente, como recursos geológicos que são, estão enquadradas pelo DL n.º 90/90 (Recursos Geológicos), de 16 de março. As águas minerais naturais estão integradas no domínio público (DL n.º 86/90) e, a sua exploração, gestão e valorização, em regime de concessão, depende da autorização do Ministério da Economia, após parecer favorável da DGEG e da DGS;

por sua vez, as águas de nascente estão integradas no domínio privado (DL n.º 84/90) e, a sua exploração e comercialização, em regime de licença, depende da autorização do Ministério da Economia, após pareceres favoráveis da DGEG e da DGS.

### **Água, saúde e bem-estar.**

A água mineral contribui significativamente e decisivamente para a saúde humana. Porém, o papel protetor da água é pouco e indevidamente considerado nos países mais desenvolvidos. A contribuição da água para a saúde é feita de 2 modos: diretamente através da alimentação e nutrição; indiretamente como meio de manter e assegurar um ambiente natural diverso e saudável. Estes dois recursos preciosos — água e saúde — podem juntos aumentar as expectativas do desejável desenvolvimento social.

Nos humanos, cerca de 60% a 65% da massa corporal corresponde ao valor Total de Água Corporal (TBW, em Inglês), água que ocupa os compartimentos dos fluidos intracelular e extracelular, que contêm cerca de 65% e 35% do total de água corporal, respetivamente.

A água está presente em todas as células do corpo humano, no líquido intercelular e ainda nos chamados fluidos orgânicos (plasma sanguíneo, urina, linfa, etc.).

A água é o principal veículo de transporte de nutrientes e outras substâncias no sistema circulatório, sendo também o veículo para a eliminação de metabolitos e toxinas através dos sistemas vascular, renal e hepático. Cerca de 70% do peso do corpo humano é constituído por água, havendo órgãos que contêm mais água que outros.

No corpo de um jovem adulto pesando 60–70 kg existem 40–42 litros de água, cerca de 25 litros no interior das células — a chamada água intracelular —, cerca de 17 litros no exterior das células — a chamada água intersticial —, e cerca de 4 litros da chamada — água intravascular. Este último tipo de água está no sangue que contém cerca de 90% de água fazendo parte principalmente do plasma sanguíneo, que para além de água contém glóbulos vermelhos e brancos, plaquetas, minerais (Na, K, Ca, Mg, Fe, Zn, Cr, P,...), proteínas e glicose.

Os minerais referidos e outros na forma iónica são constituintes importantes do corpo humano, todos essenciais à vida, de cuja natureza e concentração depende a função celular. O total de minerais no corpo humano corresponde a cerca 5% da massa respetiva. Em geral, os homens têm mais 15% de água que as mulheres.

A membrana celular regula a troca iónica entre os compartimentos celulares antes referidos, mas a concentração iónica da água é sempre mantida. No líquido extracelular predominam,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  e  $\text{CO}_3\text{H}^-$ , enquanto que no líquido intracelular predominam,  $\text{K}^+$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ , ácidos orgânicos e proteínas. A saúde perfeita exige um “equilíbrio dinâmico” ou “equilíbrio hidro-eletrolítico” entre os conteúdos dos compartimentos intracelulares e extracelulares. Qualquer rutura deste equilíbrio pode resultar da ingestão excessiva de alimento (água incluída) ou da perda excessiva de líquidos e, naturalmente de minerais na forma iónica que eles contêm, devido a sudação excessiva por efeito de trabalho ou de exposição ao sol, ou devido a doença (diarreia ou vômito), podendo assim causar desidratação e, eventualmente, até a morte.

A água está envolvida em muitas funções corporais, uma vez que é ela que transporta os nutrientes e outras substâncias no sistema circulatório. Acresce que a água é o veículo que excreta os metabolitos e elimina toxinas, e lubrifica e proporciona suporte estrutural aos tecidos e articulações. Porém, não existe um mecanismo eficiente para o corpo armazenar água, daí que é necessário o fornecimento constante de fluidos de modo a manter constante o conteúdo de água.

No livro intitulado *Drinking Water, Minerals and Mineral Balance: Importance, Health Significance, Safety Precautions* é apresentada a atualidade do conhecimento dos efeitos, tanto benéficos como deletérios, dos minerais presentes em solução na água, na saúde do homem e de outros animais. Está reconhecido que os minerais são mais facilmente absorvidos no intestino a partir da água do que a partir do alimento.

Vários tópicos interessantes em termos de saúde são tratados no dito livro. Um deles é a possibilidade de interação negativa entre certos minerais presentes na água, como é o caso da interação antagónica Ca/Mg. Quando o Ca, essencial para a formação de ossos e dentes saudáveis, está em excesso na água, tal pode contrariar a incorporação de Mg, essencial para um coração saudável. Portanto, um balanço ótimo entre os dois minerais presentes na água que se bebe é fundamental. A razão, Ca: Mg, ideal situa-se no intervalo 2–3:1.

### **Água mineral para beber, da torneira e engarrafada. Tipologias.**

As águas minerais que o homem consome são classificadas em três tipos fundamentais: água mineral natural, água de nascente e água da torneira. Os dois primeiros tipos são águas de circulação subterrânea extraídas para consumo de reservatórios ou aquíferos localizados a maior ou menor profundidade, o último é captado em nascentes ou captado em rios e lagos, em reservatórios superficiais construídos para o efeito e, raramente em aquíferos subterrâneos.

A água mineral natural é caracterizada por ter circulação extensiva no interior da crosta terrestre, por ser bacteriologicamente aceitável e, por apresentar propriedades físico-químicas estáveis na sua emergência. Os valores dos parâmetros físico-químicos da água mineral natural são definidos pela Diretiva 2009/54/EC do Parlamento Europeu e do Conselho Europeu, de 18 de junho.

Por sua vez, os valores dos parâmetros físico-químicos da água de nascente, porque a circulação subterrânea é relativamente menos profunda e menos extensiva, são um pouco mais tolerantes, e são ainda mais tolerantes para a água da torneira. Em Portugal, os valores de referência dos parâmetros físico-químicos da água de nascente são definidos pelo Decreto-Lei n.º 306/2007, de 7 de agosto.

A água ao circular através das rochas extrai por dissolução os minerais constituintes das rochas os elementos químicos na forma iónica que são constituintes dos minerais, tais como Na, K, Ca, Mg, Fe, Si, Al, etc. e, as propriedades da água resultante podem proporcionar benefícios terapêuticos ou simplesmente efeitos favoráveis à saúde.



---

# Deposição de argilas.

Onde e quando acontece?

**Edite Bolacha**

Escola Secundária D. Dinis/ Lisboa

As atividades experimentais em Geologia têm estado ausentes nos exames nacionais do secundário, contrariamente à natureza desta Ciência. Neste artigo revisita-se uma tradicional atividade de simulação da deposição das argilas, com base experimental, realizável em sala de aula ou em ambiente de divulgação. As argilas mais comumente transportadas pelos rios acabam por sedimentar principalmente quando a salinidade da água começa a aumentar, ou seja, próximo do oceano. O outro fator determinante para a sua deposição é o hidrodinamismo. É possível simular essas condições de forma científica, utilizando alguns materiais comuns como a água da rede pública e o sal marinho.

As atividades experimentais em Geologia, geralmente simulam processos fora da escala humana, quer espacial quer temporal, como por exemplo, quando decorrem em escalas micro ao nível molecular, ou macro ao nível das centenas ou milhares de quilómetros, ou por serem muito lentos ou muito rápidos, ou ainda não presenciáveis por simplesmente não conseguirmos estar no local quando acontecem. É, por isso, necessário encená-los como quando a partir de um livro se constrói um guião que depois é transformado em filme. Os pioneiros da modelação análoga em Geologia utilizaram profusamente a fotografia, para fixarem os diversos momentos da experimentação e compreenderem as causas das estruturas produzidas e que observavam no campo. Como evidenciam trabalhos do século XIX, e que são relatados em diversas sínteses, a Geologia é uma ciência experimental desde a sua individualização como ciência autónoma, mesmo que, por vezes, seja desvalorizada essa sua vertente.

A Geologia combina uma série de técnicas lógicas para a resolução de problemas entre as quais a simulação de processos naturais para melhor entendê-los, colocando hipóteses e controlando e manipulando variáveis.

Uma variável é um fator que pode ser alterado por quem controla a experiência, e manipula as suas quantidades, e cuja grandeza pode variar em função do fator (variável) que é manipulado. Ao primeiro atribui-se o nome de variável independente enquanto o segundo toma a designação de variável dependente. Na natureza, os fatores atuam em simultâneo, mas no laboratório é possível estudar a influência de cada um deles em separado ou de alguns em conjunto. Nunca é demais lembrar que a natureza é muito mais complexa do que a simulação experimental realizada, seja no laboratório, no campo ou simplesmente na sala de aula. “Simplesmente na sala

de aula”, porque mesmo numa sala normal, que não tenha as características do laboratório, é possível com materiais vulgares do dia-a-dia realizar atividades experimentais sem negligenciar o rigor científico. Até as receitas de cozinha para serem replicáveis têm que utilizar os ingredientes em quantidades aferidas. Seja para fins de investigação ou didáticos, é fundamental a realização de um ou mais ensaios cujos resultados são comparados com os resultados do(s) ensaio(s) principal(ais), tomando a designação de “controlo(s)”.

Antes da realização da atividade, é essencial saber exatamente o que pode ou não vir a acontecer para que não seja apenas uma experiência, mas uma atividade com um específico enquadramento teórico e com sentido lógico.

Muitas das experiências que se realizam em Geologia para compreender processos geológicos recorrem a métodos comuns à Química, à Física e mesmo à Matemática pelo que podem e devem ser realizadas num enquadramento interdisciplinar ou transdisciplinar.

Para além de haver uma preocupação de realizar atividades transdisciplinares porque, entre outros argumentos, na vida real é preciso saber resolver problemas que mobilizam saberes de várias áreas, há também atualmente orientações nacionais e internacionais para que ensino, aprendizagem e avaliação se realizem em simultâneo e façam parte de um mesmo desenho didático. Dentro da avaliação, a avaliação formativa deve ser sistemática e contínua, tendo por fim a melhoria das aprendizagens. No entanto, os alunos também são sujeitos a avaliações sumativas que avaliam as aprendizagens e que podem ter ou não fins classificatórios. Neste sentido quer a avaliação interna quer a avaliação externa que se efetiva no ensino secundário nos cursos científico-humanísticos através dos exames nacionais, devem conter tarefas e questões que sejam familiares aos alunos. Para além disso, é preconizado que devam abranger as aprendizagens essenciais dos dois anos, no caso de disciplinas bienais como Biologia e Geologia e distribuídas equitativamente pelas duas componentes da disciplina.

Nos exames nacionais da disciplina Biologia e Geologia, sendo a matéria alvo de avaliação distribuída equitativamente pelas duas componentes, também as atividades experimentais que apresenta deveriam abranger não só a Biologia, como se tem verificado, mas igualmente a Geologia.

Com este trabalho revisitamos uma atividade de Geologia que envolve processos externos e que é realizável em ambientes de aprendizagem formal ou não formal consoante o local, os intervenientes e o tempo disponível. O enquadramento experimental que sugerimos segue os pressupostos dos exames nacionais dos últimos anos.

A atividade experimental simula algumas das condições naturais (ambiente estuarino ou deltaico) em que pode ocorrer a deposição das argilas. Dois fatores muito importantes para a ocorrência deste processo são: a salinidade das águas e o seu hidrodinamismo.

A granulometria ( $<2 \mu\text{m}$ ) das argilas permite que sejam os últimos produtos de alteração (= meteorização) das rochas a sedimentar. Isso acontece, geralmente, em zonas onde a energia da massa de água diminui, como são as margens de rios ou os fundos oceânicos (FIGURA 1).



FIGURA 1. Margem do Tejo (zona de estuário, "Mar da Palha") onde se observam, na maré baixa, depósitos de sedimentos finos e matéria orgânica.

Transportadas por uma água pouco salina (a salinidade da água dita "doce" é menor que 0,05%), a maioria das partículas argilosas ficam em suspensão. A presença de sedimentos transportados em suspensão é notada nos rios pela cor acastanhada das águas o que é muito raro no oceano. Mas a que se atribui esta particularidade?

As argilas em contacto com a água destilada ficam em suspensão, formando assim uma mistura heterogénea. No entanto, quando a água contém uma quantidade apreciável de sais em solução, as argilas floculam, formando pequenos agregados que, sendo mais densos do que a água, acabam por depositar. Isto acontece devido à existência de cargas negativas superficiais nas argilas que, ao estabelecerem ligações com os cátions do NaCl ( $\text{Na}^+$ ), formam agregados.

A percentagem em que alguns iões se encontram em média nos oceanos tem-se mantido de forma equilibrada ao longo da História da Terra, apesar das ligeiras oscilações devido a alterações na evaporação ou na entrada de água doce. Assim, considera-se como salinidade média atual dos oceanos cerca de 3,5%, ressalvando que se trata de um valor médio pois a salinidade varia consoante o local do globo e ao longo do ano, para o mesmo local. Temos o exemplo do território português em cujas zonas costeiras (W e S) é possível medir salinidades diferentes das águas marinhas. A experiência diz-nos que um banho no Algarve nos deixa a pele mais seca do que em qualquer praia da costa ocidental.

Os iões cloreto ( $\text{Cl}^-$ ) e sódio ( $\text{Na}^+$ ) são os mais representativos da salinidade dos oceanos, constituindo, em conjunto, cerca de 86% da mesma.

A água para consumo doméstico, vulgo "água da torneira" também contém vários sais em solução, entre os quais, o NaCl. Em análises da EPAL para verificar a qualidade da água da rede de distribuição da cidade de Lisboa na torneira do consumidor, verificam-se, no 1.º trimestre de 2022, valores máximos e mínimos de concentração em cloretos e sódio em mg/l, respeti-

vamente, de 33,3 e 21,9 e de 33,0 e 18,2, respetivamente, logo, como seria de esperar, muito abaixo dos que apresenta a água do mar e dentro dos valores paramétricos que são exigidos para consumo humano.

Uma atividade experimental com vista ao estudo das condições de floculação e deposição das argilas pode utilizar o cloreto de sódio (NaCl) industrial ou o sal marinho, dado este sal ser o mais abundante nos oceanos. O objetivo da atividade é com efeito a mimetização dos fatores naturais.

Sendo o grau de salinidade e o hidrodinamismo os fatores principais de que depende a deposição das argilas, sugere-se o seguinte protocolo (TABELA 1). As quantidades de argila devem ser iguais em todos os ensaios, assim como as quantidades de água destilada, de água da torneira e de solução de NaCl. Para simular a salinidade dos oceanos, sugere-se a preparação de uma solução de NaCl a 4%.

TABELA 1.

Recipientes	Conteúdo	Agitação após mistura
1	Argila + água destilada	Não (deixar em repouso)
2	Argila + água da torneira	Não (deixar em repouso)
3	Argila + solução de NaCl	Não (deixar em repouso)
4	Argila + água destilada	Agitar
5	Argila + água da torneira	Agitar
6	Argila + solução de NaCl	Agitar

Os ensaios podem ser realizados sequencialmente ou em simultâneo e os seus resultados comparados. Pode ser contado o tempo que demora a deposição da argila quando tal se verifique.

Ao comparar o conteúdo dos recipientes no final de todo o processo é possível averiguar a ocorrência de deposição das argilas e a velocidade comparativa de deposição nos casos em que esta ocorre.

Os recipientes 1, 2, 4 e 5 servem apenas de controlo, ou seja, para comparar os resultados respetivamente com os recipientes 3 e 6, visto que em ambiente natural a água tem sempre sais em solução. Constituem-se como variáveis independentes: a salinidade do conteúdo (pode fazer-se a preparação de mais misturas com diferentes concentrações de NaCl) e a agitação do conteúdo dos recipientes, e como variável dependente a quantidade de argila depositada no fundo dos recipientes.

Extrapolando para a realidade, poder-se-ia concluir que, em ambientes aquáticos com uma concentração salina considerável e com pouco hidrodinamismo, há condições para uma maior deposição de argilas (como nas margens continentais) embora, em ambientes salinos com algum hidrodinamismo como deltas e estuários (ditos ambientes de transição) se verifique uma maior deposição de argilas. Daí a pouca ou ausente coloração acastanhada das águas oceânicas.

# A aventura para o conhecimento.

Um jogo que ensina como se investigaram as alterações ambientais que ocorreram em Moçambique durante o Holocénico.

**Ana Gomes<sup>\*</sup>, Cristina Veiga-Pires<sup>\*,‡</sup>, Sónia Oliveira<sup>\*,‡</sup>, Aurora Coelho<sup>†</sup>, Luís Gonçalves<sup>\*,‡</sup>,  
Luís Porto<sup>‡</sup>, David Nora<sup>\*,#</sup>, Simon Connor<sup>§</sup>, Mussa Raja<sup>\*,n</sup>, Elena Skosey-LaLonde<sup>\*,Δ</sup>,  
Maria João Fernandes Martins<sup>\*</sup>**

<sup>\*</sup>ICArEHB/CIMA-ARNET/ABC/UAlg | <sup>†</sup>CCVALg | <sup>‡</sup>Na Mira | <sup>#</sup>IA/HUJI | <sup>§</sup>CABAH/CHL/ANU | <sup>n</sup>DAA/UEM | <sup>Δ</sup>UCONN

Neste artigo pretende-se apresentar o jogo de tabuleiro *A aventura para o conhecimento* como uma ferramenta facilitadora do processo de ensino-aprendizagem. Este foi criado para auxiliar a disseminação e comunicação de ciência no âmbito de um projeto de investigação internacional e interdisciplinar que estuda as alterações ambientais que ocorreram ao longo dos últimos 7500 anos na costa sudeste de Moçambique. No jogo cada jogador(a) é convidado(a) a assumir o papel de um investigador(a) que participa num trabalho de campo onde irá criar conhecimento para escrever um livro. Para tal vai necessitar de recursos materiais e humanos para analisar diversos indicadores paleoambientais, e a velocidade com que vai fazê-lo vai depender de diversas condicionantes.

## O que são paleoambientes e porque é importante estudá-los ao longo do Holocénico?

Quando falamos de paleoambientes referimo-nos aos ambientes que existiram no passado num determinado local. Descobrir como foram esses ambientes passados e como evoluíram ao longo do tempo permite-nos compreender melhor quais foram os fatores que promoveram as suas alterações (alterações climáticas naturais ou atividades humanas) e as interações entre a Humanidade e o ambiente. Este conhecimento é também essencial para sermos capazes de prever melhor o futuro, ajudando a sociedade a compreender como pode adaptar-se às futuras alterações climáticas e ambientais.

## Como e onde se podem estudar os paleoambientes?

Os estudos paleoambientais podem ser feitos em diversas escalas temporais e espaciais e em diversos ambientes, isto é, podemos estudar:

- Como um ambiente se alterou ao longo dos últimos 2000 anos ou 2,6 milhões de anos ou noutro intervalo de tempo (em função da idade do registo geológico que se pretende estudar);
- A evolução de ambientes marinhos, terrestres ou ambientes de transição (que fazem fronteira entre a terra e o mar) onde se acumulam sedimentos nos quais a história dessa evolução fica registada.

Naturalmente, os métodos utilizados para efetuar estes estudos são variados e a sua seleção depende do objetivo do estudo.

No âmbito do projeto *InMoz*, uma equipa internacional e interdisciplinar reuniu-se para estudar as alterações paleoambientais que ocorreram ao longo dos últimos 7500 anos num lago localizado entre as dunas da planície costeira da região sudeste de Moçambique (FIGURA 1). Além disto, esta equipa correlaciona os dados ambientais com dados arqueológicos para compreender melhor como as alterações paleoambientais influenciam a população humana e como a paisagem evoluiu em função das interações entre os humanos e o ambiente que os rodeia.

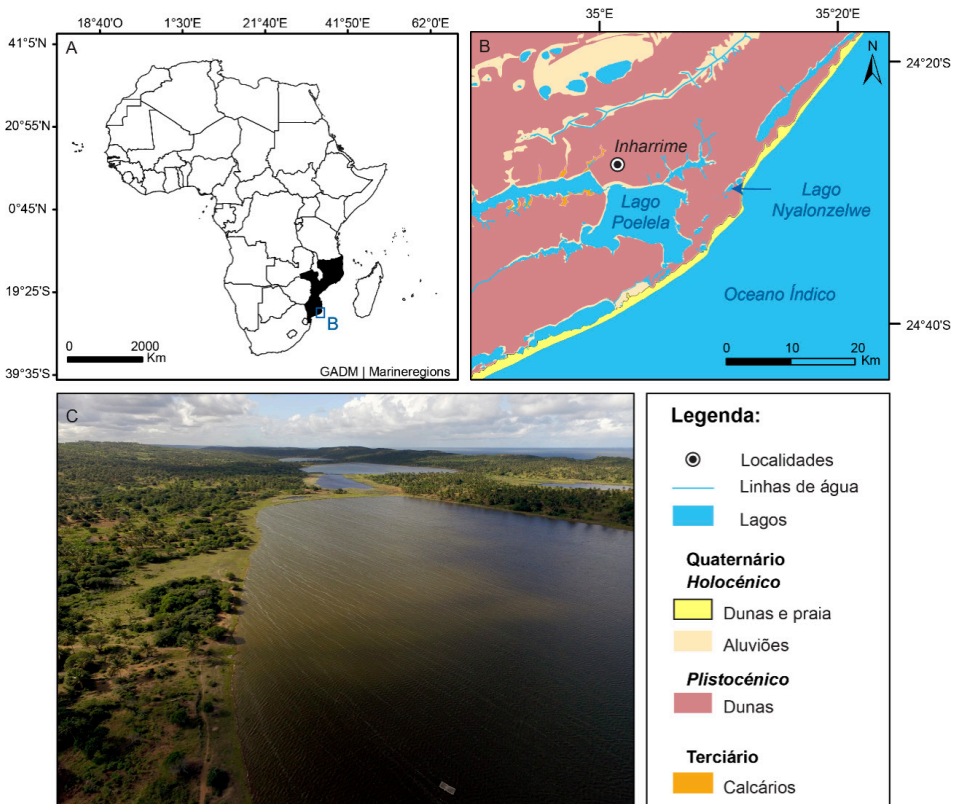


FIGURA 1. Localização do lago Nyalonzelwe, onde se efetuou um estudo sobre as alterações paleoambientais que ocorreram ao longo dos últimos 7500 anos, no âmbito do projeto *InMoz*: A) Localização de Moçambique. B) Localização do Lago Nyalonzelwe e geologia da planície costeira da região sudeste de Moçambique onde o lago se encontra (Província de Inhambane). C) Fotografia aérea do lago Nyalonzelwe, de Brandon Zinsious.

Várias razões levaram a equipa do *InMoz* a escolher a região sudeste de Moçambique para efetuar este estudo. A primeira de todas foi a África ser um continente muito importante para o estudo da evolução e do comportamento humano. Em segundo lugar, no continente africano, Moçambique tem uma localização chave para efetuar este tipo de estudos em termos arqueológicos e paleoantropológicos. Além disso, em contraste com outras zonas do globo, existem

poucos estudos paleoambientais em África que se foquem no período Quaternário. Por último, na região sudeste de Moçambique é possível encontrar muitos lagos que preservam o registo das alterações paleoambientais recentes (Quaternário). Os lagos são um dos melhores locais para efetuar estudos interdisciplinares, pois os sedimentos que se depositam no fundo destes são pouco afetados por ondas e correntes e contêm fósseis de muitos organismos sensíveis a alterações ambientais.

Após efetuarem-se sondagens para recolher testemunhos dos sedimentos que se depositaram no fundo do lago Nyalonzelwe, estes sedimentos foram analisados utilizando vários indicadores sedimentológicos (como por exemplo, a determinação do diâmetro das partículas que constituem as amostras de sedimento – análise textural), químicos (como por exemplo, a determinação da composição química elementar dos sedimentos) e biológicos (determinação das espécies fósseis, como por exemplo, diatomáceas). É através da interpretação conjunta da informação dada por todos estes indicadores, e muitos mais, que é possível desvendar a história da evolução ambiental deste lago e da área que o rodeia.

### **A ciência e a sociedade: o jogo *A aventura para o conhecimento*.**

Atualmente, a disseminação e comunicação de ciência para o público em geral é um elemento fundamental da ciência aberta, que pode fazer uso de diversas ferramentas (como por exemplo, programas de televisão, canais de *YouTube*, revistas científicas, dias abertos, jogos de tabuleiro). A equipa de investigadores do projeto *InMoz*, em cooperação com especialistas de disseminação e comunicação de ciência do Centro Ciência Viva do Algarve e do canal de *YouTube Na Mira*, desenvolveram o jogo de tabuleiro *A aventura para o conhecimento* com o objetivo de aproximar de forma criativa a sociedade à ciência e aos conhecimentos que se produzem através desta (FIGURA 2). Especificamente, este jogo pretende dar a conhecer o processo que permite obter os dados necessários e descobrir quais foram as alterações ambientais que ocorreram no passado, perceber como a Humanidade interage com o ambiente na situação específica deste “caso de estudo”, perceber como as informações arqueológicas podem dar pistas sobre alterações ambientais e mostrar o carácter interdisciplinar e a importância do trabalho em equipa.

Para tal, cada jogador(a) é convidado(a) a assumir o papel de um investigador(a) que participa num trabalho de campo na Província de Inhambane em Moçambique. Durante o trabalho de campo os investigadores(as) vão poder “criar conhecimento” visitando ao longo do tabuleiro do jogo casas de lagos e dunas onde se encontram os indicadores que podem ser estudados em cada um destes ambientes se tiverem os recursos humanos (*i.e.*, conhecimento para obter informação a partir da análise dos diversos indicadores) e materiais (*i.e.*, equipamentos ou materiais necessários para estudar os indicadores) necessários para tal. Além de criarem conhecimento, nas casas de dunas e de lagos, os(as) investigadores(as) podem ganhar pontos de *História mais longa* que podem ser convertidos em conhecimento, visto a escala temporal ser uma variável muito importante neste tipo de investigação. Os recursos humanos



e materiais podem ser obtidos em casas do tabuleiro de jogo ou através do estabelecimento de colaborações (i.e., trocas e cedências de recursos) com os outros investigadores(as) em jogo. Contudo, quando se faz trabalho de campo, tudo pode correr de acordo com o plano inicial ou o plano pode sofrer atrasos ou ser mais rápido de acordo com diversas condicionantes. Estas condicionantes estão representadas nas casas de trânsito que vão definir a velocidade de progressão da investigação durante o trabalho de campo. O jogo termina quando um(a) dos(as) investigadores(as) obter o conhecimento necessário para escrever um livro (casa de chegada).



FIGURA 2. Jogo de tabuleiro *A aventura para o conhecimento*.

Este jogo destina-se a jogadores(as) com mais de 12 anos. Pode ser jogado em museus, escolas ou em ambiente familiar, está disponível *online* no site do Centro de Ciência Viva do Algarve, onde é também possível encontrar um filme que explica as regras do jogo produzido pelo canal de YouTube “Na Mira”.

---

# Antibióticos.

Do passado ao presente, passando pelo Ambiente.

**Bárbara S. Diogo, Sara Rodrigues, Sara C. Antunes**

CIIMAR/ U. Porto

Os antibióticos são, possivelmente, uma das mais bem-sucedidas formas de tratamento da história da medicina, porém, o seu uso excessivo tem-se revelado uma ameaça global para a saúde pública e ambiental. Se por um lado a descoberta destes compostos é considerada uma das maiores descobertas científicas do século passado e o seu uso resultou na redução significativa de taxas das mortalidade, por outro, atualmente, o impacto destes fármacos no ambiente é uma preocupação emergente, principalmente devido à ineficácia de estações de tratamento de água na sua eliminação e ao aparecimento de espécies multirresistentes.

Segundo a definição clássica, os antibióticos são todos os metabolitos microbianos naturais que, em baixas concentrações, inibem o crescimento de outros microrganismos. No entanto, atualmente são considerados antibióticos todos os compostos que têm essa mesma função, mas que são obtidos por processos químicos (antibióticos sintéticos), ou pela modificação de antibióticos naturais (antibióticos semissintéticos). Assim, podemos considerar que os antibióticos são compostos naturais, sintéticos ou semissintéticos que têm a capacidade de matar ou inibir o crescimento de microrganismos como, fungos, protozoários ou bactérias. Para além da ampla utilização na medicina humana e veterinária, estes são ainda utilizados em várias partes do mundo como substâncias promotoras de crescimento em animais destinados à produção de alimentos, como a pecuária e aquacultura (exceto na União Europeia que proibiu o seu uso para esse fim em 2006). Estes compostos podem ser divididos em diferentes grupos, de acordo com diferentes critérios, nomeadamente: a estrutura química, o espectro de ação (largo ou pequeno espectro) e o mecanismo de ação (quebra da estrutura ou função da membrana celular, inibição da estrutura e função dos ácidos nucleicos, inibição da síntese proteica e bloqueio das principais vias metabólicas, como por exemplo vias de síntese de vitaminas).

O primeiro antibiótico sintético, conhecido como a *bala mágica*, surgiu em 1910, quando Paul Ehrlich desenvolveu o composto arsfenamina (mais tarde designado *salvarsan*) para curar uma doença endémica e praticamente incurável da altura, a sífilis. Em 1928 surgiu uma das maiores descobertas na medicina, a penicilina. Este antibiótico natural, produzido pelo fungo *Penicillium notatum* foi descoberto acidentalmente pelo jovem médico Alexandre Fleming enquanto estudava uma bactéria capaz de provocar graves infeções, *Staphylococcus aureus*.

Dada a sua elevada capacidade de agir contra microrganismos patogénicos, a descoberta dos antibióticos foi uma das maiores conquistas científicas até hoje, permitindo o tratamento de infeções antes consideradas mortais, promovendo o aumento da qualidade de vida humana e animal. Atualmente, e de acordo com a sua estrutura química, são conhecidas várias classes de antibióticos, como tetraciclina, fluoroquinolonas, sulfonamidas,  $\beta$ -lactâmicos, macrólidos, aminoglicosídeos e cefalosporinas.

Com o aumento da população e crescente proliferação de doenças, a quantidade de antibióticos usados no tratamento ou prevenção das mais variadas doenças (quer em humanos, quer em animais) tem aumentado exponencialmente. Apesar disso, nos últimos anos, o uso de antibióticos em humanos tem diminuído na União Europeia (o consumo total de antibióticos passou de 19,9 doses diárias definidas por 1000 habitantes em 2019, para 16,4 em 2020, o que representa um decréscimo de 17,6% nas taxas de consumo diárias). Este resultado parece ser um efeito positivo das iniciativas/tentativas de consciencialização dos riscos associados ao uso inadequado destes compostos, desenvolvidas pela Organização Mundial de Saúde (OMS) nos últimos anos. O uso indevido e indiscriminado de antibióticos representa um grave problema económico, ambiental e de segurança alimentar. Segundo a OMS, a resistência antimicrobiana é um problema mundial e uma das maiores ameaças à saúde pública deste século. O uso excessivo destes compostos representa também um risco para os ecossistemas, contribuindo para o desenvolvimento e propagação de resistência a antibióticos (surgimento de bactérias multirresistentes) e, consequentemente perda da eficácia destes compostos.

### **Antibióticos e o ambiente.**

Muitos resíduos de antibióticos acabam por entrar nos ecossistemas naturais durante o seu fabrico, utilização e eliminação (FIGURA 1), sendo geralmente detetados em baixas concentrações (ng/L ou  $\mu$ g/L). São vários os estudos que reportam a deteção de antibióticos em águas superficiais (p.ex.: rios e lagos) e subterrâneas, mas principalmente em efluentes de estações de tratamento de águas residuais em todo o mundo. As concentrações ambientais e o destino final destes fármacos dependem de vários fatores, como por exemplo da sua estrutura química, processos de transformação, taxas de degradação, complexação com outros compostos e/ou matéria orgânica.

A entrada contínua de antibióticos nos ecossistemas pode afetar os organismos dos diferentes níveis tróficos e induzir efeitos adversos (p.ex.: mortalidade, alterações de comportamento, danos no DNA, alterações nas taxas de crescimento, reprodução e/ou alimentação) em organismos não alvo (bactérias, fungos, protozoários, algas, microcrustáceos e peixes), devido à sua atividade biológica. Mesmo a baixas concentrações estes compostos podem comprometer o funcionamento normal dos organismos, sendo capazes de interagir com sistemas biológicos específicos (enzimas ou recetores), desencadear diferentes respostas metabólicas ou fisiológicas e afetar os órgãos e/ou sistemas. Em casos mais graves, podem também afetar níveis de organização biológica mais elevados, como populações ou comunidades, o que pode provocar a rutura das cadeias alimentares e afetar a dinâmica do ecossistema.

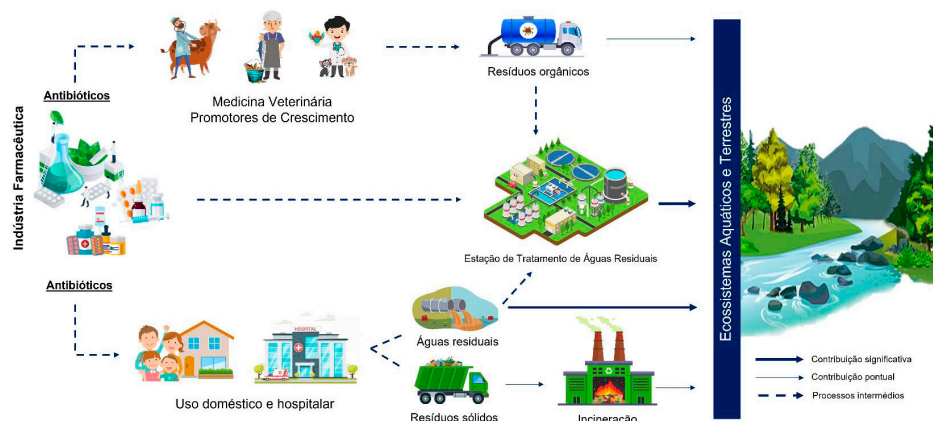


FIGURA 1. Vias de entrada de antibióticos em ecossistemas aquáticos e terrestres.

Apesar da biodisponibilidade e natureza física e química de cada antibiótico poder alterar o seu potencial de bioacumulação, e a sua integração nas redes alimentares, a biodisponibilidade e bioacumulação destes no ambiente pode ainda variar de acordo com as características físicas e químicas do meio (pH e temperatura). Estudos indicam que estes parâmetros podem afetar a estabilidade química e biológica dos compostos, sendo capazes de alterar a toxicidade, comportamento de absorção, fotoreatividade e atividade antibiótica.

Para entender as consequências que a contaminação por antibióticos pode provocar no ambiente é essencial estudar os eventuais efeitos a curto e longo prazo desta contaminação na conservação, biodiversidade e funcionalidade dos ecossistemas aquáticos, atendendo a que estes últimos representam, maioritariamente, o seu destino final (FIGURA 1). Para isso é necessário investir na monitorização e avaliação do impacto ambiental destes compostos e dos seus produtos de degradação. Este tipo de avaliação pode ser desenvolvida com base em protocolos padronizados envolvendo ensaios ecotoxicológicos (ensaios em laboratório de avaliação da toxicidade – efeitos sobre os organismos expostos) com diferentes organismos modelo e de diferentes níveis tróficos (microalga – *Raphidocelis subcapitata*, macrófita – *Lemna minor*, crustáceo – *Daphnia magna*, peixes – *Danio rerio* e *Oncorhynchus mykiss*). Os resultados destes ensaios permitem avaliar e compreender os mecanismos toxicológicos dos antibióticos (ou outros contaminantes ambientais), prevenindo ou mitigando potenciais consequências no ambiente. Estas ferramentas têm mostrado sensibilidade na avaliação de efeitos tóxicos quer de compostos individuais bem como de misturas complexas, situação que ocorre normalmente no ambiente (podendo ocorrer sinergismo, antagonismo, potencialização). Se o objetivo for avaliar uma resposta rápida e mais severa (mortalidade, inibição de crescimento) realizam-se ensaios agudos, onde num curto período de tempo de exposição são testadas concentrações elevadas do composto em estudo. Por outro lado, se o objetivo for avaliar o efeito a longo prazo (reprodução, comportamento), maior relevância ecológica, realizam-se ensaios crónicos, onde num longo período de tempo de exposição são testadas concentrações do composto já reportadas

no ambiente. González-Pleiter *et al.*, testou concentrações ambientalmente relevantes de diferentes antibióticos e misturas, e observou que certas combinações podem representar risco ecológico para os ecossistemas aquáticos, nomeadamente, tetraciclina e eritromicina afetaram o crescimento de organismos não alvo (microalga *Raphidocelis subcapitata*). Rodrigues *et al.*, observou também que eritromicina provoca danos no DNA de truta arco-íris (*O. mykiss*), após exposição a concentrações ambientalmente relevantes.

Nos últimos anos, devido ao amplo uso em medicamentos humanos e veterinários, bem como a sua persistência no meio ambiente, são vários os antibióticos que têm sido incluídos na Lista de Observação sob a Diretiva-Quadro da Água, para serem monitorizados em águas superficiais interiores em toda a UE. Esta lista funciona como um sistema de alerta precoce para contaminantes de preocupação emergente, servindo para preencher as lacunas de conhecimento sobre os mesmos, reunindo dados de qualidade para determinar o risco que estes podem representar para os ecossistemas. Além disso, outras entidades como a OMS ou a Organização das Nações Unidas para a Agricultura e a Alimentação (*Food and Agriculture Organization of the United Nations – FAO*), têm reunido esforços para tentar prevenir, reduzir e gerir as fontes de poluição da água, prestando atenção aos poluentes de preocupação emergente como os resíduos farmacêuticos.

Para cumprir as metas de redução da contaminação ambiental é crucial reunir esforços a nível mundial de modo a aprimorar metodologias mais fidedignas e desenvolver métodos analíticos mais sensíveis para conhecer a realidade ambiental e determinar de forma mais efetiva as concentrações de antibióticos (e respetivos metabolitos) presentes nos ecossistemas. Além disso, é necessário aumentar a consciencialização para o tratamento de resíduos e apostar na revisão e atualização da legislação vigente dos diferentes países tendo como objetivo garantir a preservação dos ecossistemas. A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável constitui um plano de ação (composto por 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS)) para acabar com a pobreza, proteger o planeta e melhorar a qualidade de vida à escala global. Apesar desta agenda alertar para problemas ambientais (a libertação de produtos químicos e materiais perigosos para os ecossistemas aquáticos – ODS 6; impacto das alterações climáticas – ODS 13; libertação de resíduos para o ar, água e solo – ODS 12; degradação dos solos e perda de biodiversidade – ODS 15) que colocam em perigo a saúde ambiental e humana, existem vários fenómenos como os problemas associados ao uso excessivo de antibióticos (propagação de resistência a antibióticos e perda da eficácia dos mesmos, surgimento de bactérias multirresistentes) que não estão contemplados na lista dos ODS. Estudar o efeito individual ou em mistura de antibióticos não é apenas uma questão de saúde pública e ambiental, mas também é fundamental para o progresso do desenvolvimento global, e para o sucesso das várias metas propostas na Agenda 2030.

# Simbiose entre figueiras e vespas.

Francisca Maria Fernandes\*, Luís Mendonça de Carvalho‡, Maria de Fátima Nunes\*

\*IHC/ CEHFCI-U. Nova de Lisboa | †IPB | \*U. Évora

A relação simbiótica entre a figueira, *Ficus carica* L., e a sua vespa, polinizadora *Blastophaga psenes* L., é explicitada tendo como objetivos a divulgação científica deste exemplo notável de simbiose e a disponibilização de uma versão atualizada e facilitadora do ensino e aprendizagem de relações interespecíficas, coevolução e mecanismos de controlo pré-zigótico do fluxo génico entre espécies filogeneticamente próximas.

A relação interespecífica de mutualismo obrigatório entre figueiras e vespas ocorre há, aproximadamente, 40 milhões de anos, com benefícios para as diversas espécies do género *Ficus* L., família *Moraceae*, e para as espécies de vespas da família *Agaonidae*, ordem *Hymenoptera*. As figueiras são polinizadas pelas vespas e estas recebem, no interior dos figos, proteção e alimento para a sua descendência. O género *Ficus* inclui cerca de 850 espécies monoicas de trepadeiras, arbustos e árvores, e cada uma tem uma espécie de vespa que a poliniza. As figueiras produzem síconos – inflorescências que, por maturação, se transformam em infrutescências (FIGURA 1).



FIGURA 1. Ramo de figueira composto por várias folhas e diversos síconos. Fotografia realizada, em Oeiras, a 17 de maio de 2022.

As inflorescências são constituídas por flores masculinas, com perianto de três peças, e por flores femininas, com perianto de cinco peças, que se dispõem na superfície de um receptáculo espesso, invaginado, piriforme e com uma abertura apical denominada ostíolo (FIGURA 2).



**FIGURA 2.** Corte longitudinal de sícono imaturo.  
Fotografia realizada, em Oeiras, a 17 de maio de 2022.

A inflorescência evolui para uma infrutescência carnuda e suculenta (FIGURA 3) constituída por aquénios — frutos secos, monospérmicos, nos quais a semente se une ao pericárpio por um só ponto (*Flora Ibérica*).



**FIGURA 3.** Síconos maduros desidratados. No sícono aberto são visíveis os aquénios, esferoidais e de cor amarela. Ao lado estão alguns aquénios destacados da infrutescência e no extremo da fotografia está uma semente, de cor castanha. Fotografia realizada, em Oeiras, a 17 de maio de 2022.



A espécie-tipo do género *Ficus* é a espécie *Ficus carica* L. – nativa da região Mediterrânea e da Ásia Ocidental. Nesta espécie, cultivada como frutícola e ornamental, as flores masculinas, com filetes mais longos do que o perianto e anteras dorsifixas, inserem-se no topo do sícono, junto ao ostíolo (FIGURA 4).



FIGURA 4. Ilustração, de uso livre, onde estão representados:

A – ramo com folhas e síconos, 1 – sícono cortado longitudinalmente, 2 – flor masculina, 3 – flor feminina, 4 – sícono em fase avançada de maturação, 5 – aquénio, 6 – aquénio cortado longitudinalmente.

As flores femininas inserem-se nas paredes do recetáculo, a maior distância do ostíolo, e, podem ser férteis, se os estiletos forem longos, ou estéreis, se os estiletos forem curtos (FIGURA 4). A reprodução sexuada das figueiras está dependente das vespas que as polinizam. A espécie *Ficus carica* L. é polinizada pelas vespas fêmeas da espécie *Blastophaga psenes* L. (FIGURA 5).



FIGURA 5. Ilustração, de uso livre, de uma vespa fêmea de *Blastophaga psenes*.

Ao entrar pelo ostíolo, que se encontra protegido por escamas, a vespa fêmea, com o comprimento de cerca de dois milímetros, perde as asas e as antenas. Esta dirige-se para as flores femininas, depositando nas de estilete curto, com o seu ovíscapo, também ele curto, um ovo no ovário de cada flor. Os ovários destas flores transformam-se em pequenas zoocécidas (galhas), estruturas que protegem e alimentam as larvas. A vespa poliniza as flores femininas de estilete longo, com o pólen que trouxe do sícono de outra figueira, onde nasceu. No final deste processo, a vespa conclui o seu ciclo de vida, morre e é digerida pela ficina, enzima proteolítica existente no figo; os produtos resultantes desta digestão são absorvidos pelo sícono. Os seus descendentes machos haploides (n), provenientes de óvulos, tornam-se ativos antes das fêmeas diploides (2n) que se desenvolvem a partir de ovos (FIGURA 6).

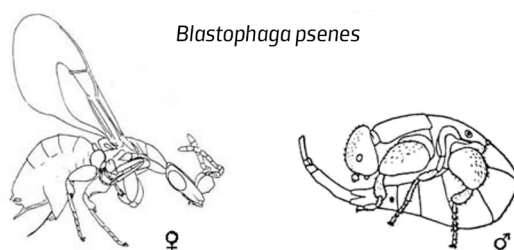


FIGURA 6. Ilustração, de uso livre, de uma vespa fêmea e de um macho de *Blastophaga psenes*.

Desprovidos de asas, os machos são mais pequenos do que as fêmeas, terminam a fase de pupa mais cedo, movem-se no interior do sícono até encontrarem as fêmeas, que inseminam, por vezes, ainda na fase de pupa. Cumprida esta função, os machos fazem uso das suas robustas mandíbulas para criarem túneis que terminam no ostíolo, o qual alargam em diâmetro. Nesta fase, os machos podem cair e morrer no solo ou morrer dentro do figo. Enquanto o corpo da sua progenitora foi absorvido ainda numa fase imatura do figo, os machos morrem numa

fase avançada de maturação do figo; deste modo, os vertebrados que ingerirem os figos estão, simultaneamente, a ingerir os corpos dos machos mortos. As suas irmãs atingem a fase adulta quando as anteras das flores masculinas estão prontas para libertar o pólen. Em seguida, rastejam pelos túneis criados pelos machos, em direção ao ostíolo, encontrando, aí, as anteras com os grãos de pólen que aderem aos seus corpos e que são armazenados passivamente nas suas pregas intersegmentares. Isto ocorre porque da passagem do estado de pupa para o estado adulto, o corpo das vespas perde água, o que promove a invaginação das membranas intersegmentares, formando-se, assim, dobras estreitas onde o pólen previamente espalhado sobre as membranas fica aprisionado. As fêmeas saem do sícono, pelo ostíolo alargado, com as asas e as antenas intactas. Nesta fase, despendem tempo e energia a remover os grãos de pólen que aderiram às restantes partes do seu corpo. Subsequentemente procuram os compostos voláteis emanados pelos síconos de outras figueiras. Esta mensagem química é detetada a uma distância máxima de seis metros, dando-lhes a informação de que aqueles síconos têm flores femininas prontas para serem polinizadas. A vespa fêmea entra, perde asas e antenas, e, em condições favoráveis encontrará flores femininas de estilete curto; caso contrário, morrerá sem descendência, mas efetuará a polinização passiva, não intencional, com o pólen que trouxe do figo onde nasceu. Isto ocorre porque num figo recetivo à polinização, a humidade é mais elevada, a vespa fica intumescida o que em conjugação com as contorções que efetua, expõe o pólen aprisionado nas pregas intersegmentares ao contacto com os estigmas recetivos. Esta última situação ocorre quando as vespas entram nos figos de figueiras da cultivar de *Smyrna*, cujas flores são todas de estilete longo. Caso a vespa efetue postura, as larvas morrem por falta de alimento porque a vespa não consegue ovipositar no ovário da flor de estilete longo. Estas figueiras são funcionalmente fêmeas e os seus figos são muito apreciados pelos humanos. Contudo, para se desenvolverem, é necessário que a vespa os polinize, caso contrário os figos permanecem imaturos e caem. Se a vespa entrar em figos de *Capri* (*Ficus carica* var. *silvestris*), produzidos por figueiras funcionalmente machos, encontra flores masculinas e flores femininas de estilete curto onde pode depositar os seus óvulos e ovos. Para esta diferenciação sexual aparente contribuiu a simbiose reprodutora estabelecida entre a espécie *Ficus carica* L. e as vespas da espécie *Blastophaga psenes*. Ao longo de milhões de anos, no decurso da relação de interdependência entre as figueiras e as suas vespas polinizadoras, ocorreu coevolução, a qual se reflete na compatibilidade de tamanho entre o estilete de algumas flores e o ovíscapo das vespas. As espécies do género *Ficus* são acentuadamente seletivas, no que respeita ao seu polinizador, e exercem um mecanismo pré-zigótico de isolamento reprodutivo, controlando, assim, o pólen que recebem. Conseguem-no pelo diâmetro do ostíolo, que se relaciona com a largura da cabeça das vespas polinizadoras (FIGURA 5), impedindo, deste modo, que as vespas polinizadoras acasalem, dentro do figo, com vespas de espécies próximas, o que mantém a integridade da espécie e reduz o fluxo génico entre espécies filogeneticamente próximas.

---

# CRISPR/Cas.

Definição, aplicações e desafios na biotecnologia vegetal.

**Ricardo Ferraz<sup>\*,‡</sup>, Sílvia Coimbra<sup>‡,\*</sup>, Sandra Correia<sup>\*</sup>, Jorge Canhoto<sup>\*</sup>**

<sup>\*</sup> CEF/LAT/DCV/U.Coimbra | <sup>‡</sup> LAQV/SC/U.Porto | <sup>\*</sup> DB/U.Porto

As técnicas de modificação de genomas têm como objetivo a alteração de uma sequência específica de DNA. Com o evoluir destas técnicas foi possível desenvolver sistemas que envolvem enzimas reprogramáveis que estão no cerne das técnicas de edição genética atuais. Entre estas novas abordagens, um novo sistema viria revolucionar o mundo da engenharia genética, a técnica CRISPR/Cas. Esta técnica apresenta diversas aplicações na edição de genomas de espécies vegetais, tendo sido utilizada para melhorar diversas características, como a produtividade e a gestão de stresse, em plantas com interesse económico como o tomateiro. Embora esta nova abordagem apresente alguns pormenores que podem ainda ser melhorados, a potencialidade que apresenta para a modificação de genomas torná-la-á muito importante no melhoramento de plantas num futuro próximo.

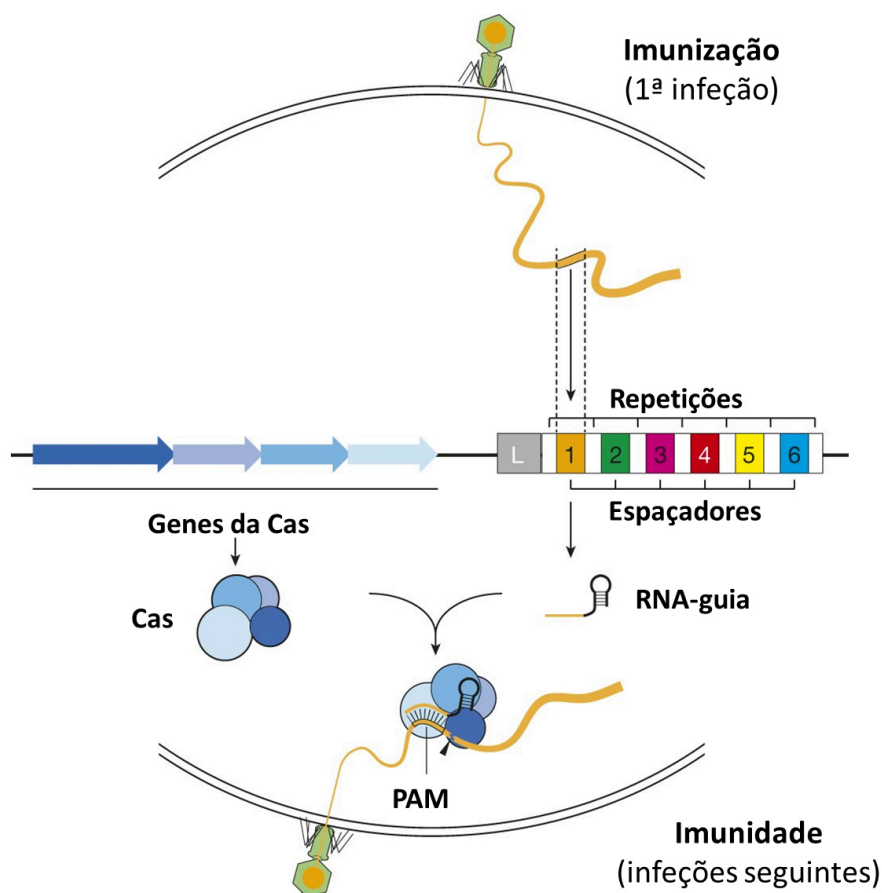
As tecnologias de modificação de genomas têm como objetivo a alteração de uma sequência específica de DNA. A edição genética com fins biotecnológicos começou a ser aplicada nos anos 70 do século XX, com o estudo da recombinação homóloga, processo no qual uma sequência de DNA ladeada por regiões homólogas do DNA hospedeiro pode ser integrada no genoma deste. No entanto, a utilização direta desta técnica apresenta várias limitações, como a baixa eficácia de recombinação e a integração aleatória em zonas do genoma não desejadas. Para além disso, embora a utilização de organismos geneticamente modificados tenha um forte e positivo impacto no melhoramento de espécies vegetais com interesse económico, estas tecnologias não têm uma aceitação pública generalizada, em especial nos países europeus, o que tem dificultado a sua adoção. A aplicação da recombinação homóloga no melhoramento de plantas envolve a adição de material genético numa planta de interesse, modificando assim o seu genoma, sendo que o material genético adicionado pode ser da mesma planta ou ser estranho à planta a ser modificada, que, neste último caso, passa a ser designada de planta transgénica. A baixa frequência de integração num local específico desejado e a necessidade de utilizar genes marcadores e/ou de seleção limitam bastante a utilização das técnicas de recombinação genética.

Com a evolução das técnicas de edição genética, foi possível desenvolver novos sistemas que não envolvem as antigas enzimas de recombinação, mas sim novas enzimas de restrição e nucleases reprogramáveis que estão no cerne das técnicas de edição genética atuais. Para além disso, foi também crucial a associação entre as quebras na dupla cadeia

do DNA (*Double-Strand Breaks*, DSB) e uma maior integração de DNA estranho no material genético de células de mamíferos. A descoberta de meganucleases, enzimas de restrição com sequências de reconhecimento de 20 a 30 pares de bases (pb) envolvidas na duplicação de genes, deu-se em 1985, mas foi nove anos mais tarde, com a descoberta das DSB, que estas enzimas foram associadas pela primeira vez à edição genética. Após DSB, a maquinaria de reparação do DNA da célula repara a quebra: ou por ligação de extremidade não homóloga (*Non-Homologous End Joining*, NHEJ), inserindo ou retirando nucleótidos, o que pode levar a um *knock-out* do gene onde se deu a quebra; ou por reparação direcionada por homologia (*Homology-Directed Repair*, HDR), inserindo um fragmento de DNA fornecido à célula. No entanto, esta técnica envolve a síntese de uma meganuclease específica de cada fragmento de DNA alvo. Também em 1985, foram descobertas pequenas proteínas que, devido à presença de um íon de zinco que estabiliza a ligação ao DNA e de um conjunto de motivos que se ligam a sequências de três pares de bases específicas do DNA alvo, apresentam uma elevada versatilidade na ligação ao DNA. Em 1996, com a fusão destas proteínas a domínios de clivagem de DNA, foram criadas *Zinc Finger Nucleases* (ZFN). Em 2010, novas nucleases programáveis foram concebidas, as nucleases efetoras semelhantes a ativadores de transcrição (*Transcription Activator-Like Effector Nucleases*, TALEN), enzimas que juntam, também, enzimas de clivagem de DNA a módulos de ligação a nucleótidos de DNA, sendo que nesta técnica cada módulo liga-se a um nucleótido, usando para tal apenas dois aminoácidos, o que torna a conceção destas nucleases bastante mais fácil do que as ZFN. Todas estas técnicas envolvem a morosa tarefa de construção de novos domínios ou módulos proteicos para cada sequência alvo a editar. Contudo, um novo sistema viria resolver este problema e revolucionar o mundo da engenharia genética, a técnica CRISPR/Cas.

Nos finais da década de 80 do século XX, foram observadas sequências de DNA repetidas no genoma de *Escherichia coli*, designadas repetições, e espaçadas regularmente por sequências não repetidas derivadas de vírus, os espaçadores. Mais tarde, aquelas repetições foram também identificadas noutros genomas de bactérias e de *Archaea* (arqueias) e associadas a genes conservados que expressam endonucleases, passando este conjunto de repetições a ser denominado de *Repetições Palindrômicas Curtas Agrupadas e Regularmente Interespaçadas* (*Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats*, CRISPR). Posteriormente, os espaçadores foram, também, encontrados em genomas de fagos e noutros elementos genéticos estranhos, levando a que, por fim, o conjunto de repetições CRISPR fosse associado a um sistema de defesa bacteriano contra material genético estranho. Neste sistema, numa primeira infeção por uma dado material genético estranho (fase de imunização), este é fragmentado e inserido entre as repetições, constituindo os tais espaçadores do CRISPR que, numa segunda infeção pelo mesmo material genético (fase de imunidade), irão direcionar a nuclease Cas para o genoma invasor, cortando-o de forma precisa. Para tal, a enzima Cas usa como guia um RNA transcrito dos espaçadores inseridos no seu genoma na fase de imunização, o RNA-guia,

que então se liga por complementaridade ao DNA alvo da Cas, o material genético estranho desta segunda infecção. Para que a enzima Cas o reconheça, este DNA alvo tem de estar adjacente a um motivo protoespaçador (*Protospacer Adjacent Motif*, PAM), fulcral para a clivagem do DNA alvo e para distinguir este DNA dos segmentos anteriormente incluídos no CRISPR (FIGURA 1). Este sistema foi posteriormente adaptado para outras espécies e testado *in vitro* e *in vivo*, constituindo assim uma tecnologia de edição de genomas bastante mais prática e económica do que as anteriores, pois apenas envolve a síntese de uma pequena molécula de RNA-guia para cada alvo a ser editado, tendo sido utilizado na edição de genomas de praticamente todos os organismos modelo.



**FIGURA 1.** Sistema de defesa bacteriano que utiliza o CRISPR. Neste sistema, numa primeira infecção por um dado material genético estranho (imunização), este é fragmentado e inserido entre as repetições, constituindo os tais espaçadores do CRISPR que, numa segunda infecção pelo mesmo material genético (imunidade), irão direccionar a nucleasa Cas, expressa por genes associados ao CRISPR, para o genoma invasor, cortando-o de forma precisa. Para tal, a enzima Cas usa como guia um RNA transcrito dos espaçadores inseridos no seu genoma na fase de imunização, o RNA-guia, que então se liga por complementaridade ao DNA alvo da Cas, o material genético estranho desta segunda infecção. Para que a enzima Cas o reconheça, este DNA alvo tem de estar adjacente a um motivo protoespaçador (PAM), fulcral para a clivagem do DNA alvo e para distinguir este DNA dos segmentos anteriormente incluídos no CRISPR.

Relativamente à aplicação da técnica CRISPR/Cas na edição de genomas de espécies vegetais, este sistema tem sido utilizado para melhorar diversas características, como a produtividade e a gestão de stress biótico e abiótico, em plantas com interesse económico, como o arroz, a cevada, o milho, o trigo, o algodão, o tomateiro, a soja, citrinos, a batateira, a videira, a melancia, a bananeira, a cenoura, leguminosas, a mandioca e a batata-doce. A expressão do gene da nuclease Cas, bem como dos RNA-guia nas células alvo, é suficiente para a modificação do genoma de interesse. Em 2013 iniciaram-se as primeiras edições de genomas de plantas, quer em dicotiledóneas com *Arabidopsis thaliana*, uma planta modelo, quer em monocotiledóneas com o arroz, *Oryza sativa*. Enquanto que em *Arabidopsis* a primeira edição genética com esta tecnologia se centrou em provar que também funciona em plantas, tendo os autores mutado com elevada eficiência três genes relacionados com a fenologia da planta, no caso do arroz, embora o objetivo da investigação fosse também a prova de conceito, a função dos genes mutados está associada ao controlo de respostas a stresses bióticos e abióticos.

Para além do seu interesse económico, o tomateiro é uma espécie ideal para testar técnicas de edição genómica dada a disponibilidade de métodos de transformação eficazes, a caracterização genómica já alcançada nesta espécie e a existência de um grande historial de melhoramento. No que toca ao melhoramento de qualidade, esta planta já foi alvo de várias intervenções usando a técnica CRISPR/Cas, como obtenção de frutos partenocápicos, aumento do tempo de prateleira e aumento de produtividade. Num dos estudos mais impactantes de edição do genoma do tomateiro, foi possível através da técnica CRISPR/Cas mutar a zona autoinibitória da enzima descarboxilase do glutamato, responsável pela produção de ácido gama-aminobutírico (*Gamma-AminoButyric Acid*, GABA) a partir do glutamato, levando à acumulação de GABA no tomate. GABA é um aminoácido não proteico com benefícios para a tensão arterial. Um estudo posterior envolveu a criação de um mutante para quatro genes relacionados com o metabolismo do GABA, levando também à sua acumulação. Graças a estes melhoramentos, o tomate enriquecido em GABA foi o primeiro alimento editado pela técnica CRISPR/Cas a entrar no mercado. No controlo de respostas a stresses, a utilização de dois RNA-guia na edição do gene *Mildew Resistant Locus O* (MLO), gene com um grande impacto na suscetibilidade ao fungo *Oidium neolycopersici*, fungo responsável pela doença do oídio no tomateiro, permitiu uma deleção de 48 pb neste gene e, conseqüentemente, a resistência a este fungo, criando a variedade não transgénica Tomelo.

No entanto, a técnica CRISPR/Cas apresenta alguns desafios. Já na fase inicial de experiências de edição genómica por CRISPR/Cas duas abordagens foram testadas relativamente à transformação de plantas com o vetor que contém o gene da Cas e os RNA-guia: em *Arabidopsis* o método optado foi o *floral dip*, segundo o qual os botões florais nas suas fases iniciais de desenvolvimento são mergulhados numa solução contendo bactérias da espécie *Agrobacterium tumefaciens* previamente transformadas com o plasmídeo contendo os genes que expressam a endonucleases Cas9 e os RNA-guia utilizados; por outro lado, nos primeiros estudos com o arroz,



o método seguido foi a transformação química de protoplastos e o bombardeamento de *calli*. Aqui encontramos um dos desafios da técnica CRISPR/Cas, a escolha do método de transformação da espécie desejada, que terá em conta quer o processo de regeneração, quer a transmissão da mutação induzida às gerações seguintes. Geralmente, as mutações originadas em *Arabidopsis* por esta técnica, quando o método de transformação utilizado é o *floral dip*, apresentam uma baixa taxa de transmissão às gerações seguintes, devido à utilização de promotores constitutivos na regulação da expressão da enzima Cas. A adoção de enzimas Cas, cujo gene é regulado por um promotor específico das células germinativas, resolveu este problema. Por outro lado, no caso descrito no arroz a fase de transformação ocorreu em culturas de tecidos utilizando a totipotência das células para potenciar a transmissão da modificação. No entanto, nem todas as plantas de interesse económico são facilmente regeneradas a partir de culturas de tecidos, como as leguminosas, tendo já sido desenvolvidos diferentes protocolos otimizados de regeneração em diferentes espécies. Para espécies recalcitrantes têm sido desenvolvidos novos sistemas vetoriais dos genes necessários ao CRISPR/Cas, como a edição genómica induzida por genes virais, onde vetores baseados em vírus são replicados na planta infetada, propagando a mutação por toda a planta incluindo nas células germinativas, e a edição genómica de linhas elite por cruzamento com linhas mutadas menos recalcitrantes. Relativamente ao complexo Cas-RNA-guia e à sua especificidade, as mutações efetuadas pela enzima Cas em genes inespecíficos constituem um dos grandes problemas da técnica e apoiam alguns argumentos éticos contra a sua utilização, principalmente quando empregue em espécies com genomas grandes e onde a totalidade do genoma não é conhecida. Embora os RNA-guia contêmham 20 nucleótidos o mais específicos possível para o gene que se pretende mutar, outros aspetos, como a estrutura do RNA-guia, o local PAM escolhido e a estrutura final do complexo RNA-guia – Cas-gene alvo podem afetar a especificidade do corte efetuado pela endonuclease. A utilização de endonucleases modificadas de elevada fidelidade, rácios Cas/RNA-guia otimizados, plataformas de desenho de RNA-guia mais fiéis e genomas de referência de elevada qualidade podem solucionar este problema. Também a introdução de genes estranhos por HDR após o corte da Cas apresenta grandes dificuldades em eucariotas no que toca à precisão e exatidão da inserção. Algumas das soluções consistem em desligar por mutagénese os mecanismos de NHEJ, ou expressar enzimas de modificação do DNA no genoma de interesse, com o intuito de modificar a sua tipologia e facilitar a HDR, ou ainda a utilização de outros estimulantes deste processo.

---

# Ambiências da Namíbia.

Da geologia à época dos navegadores portugueses.

**Luís Vítor Duarte<sup>\*,†</sup>, Pedro Callapez<sup>‡,†</sup>**

<sup>\*</sup>MARE | <sup>†</sup>CITEUC | <sup>‡</sup>DCT-FCT/U. Coimbra

Depois da Bacia de Benguela, da vizinha Angola, voltamos à África Austral, agora de visita à Namíbia. Mais um pedaço de Terra inóspita, desértica, de paisagens despidas de vegetação. As suas gentes e faunas fundem-se nos seus habitats perfeitos, quase intocáveis e de fácil observação. Nesta incursão pela Namíbia vamos percorrer apenas uma ínfima parte do seu apelativo território, mais concretamente a sua porção noroeste e central. Ficam de fora desta prosa a Faixa de Caprivi, a caminho do Botswana e de onde sobressai o delta do Okavango — o rio que desagua no deserto do Kalahari —, e outros lugares icónicos, como as dunas vermelhas de Sossusvlei e o Fish River Canyon, este último, já na fronteira com a África do Sul. Também os diamictitos de Fransfontein Ridge, o melhor dos registos, à escala mundial, do maior evento glacial de toda a história da Terra, ocorrido há cerca de 645 milhões de anos. Motivos mais que suficientes para outras visitas, obrigatórias, para quem desfruta o fascínio pela Natureza.

No entanto, a presente expedição, que na realidade foram duas, também não fica por menos, tantos os lugares de atração e de referência mundial, todos dominados por ambiente desértico ou semidesértico: o lago seco do Etosha, que alberga uma das mais interessantes reservas de vida selvagem do planeta, a geomorfologia do Vale de Ugab, a floresta petrificada de Khorixas, a cidade mineira de Uis, terminando na longa Costa dos Esqueletos, onde o deserto de areia encontra o Atlântico Sul com três pontos de extraordinária identidade: *Cape Cross*, *Walvis Bay*, concluindo-se a visita no lugar de *Sandwich Harbour* (FIGURA 1). Começando pelo Norte, entramos na chamada Bacia do Owambo, cuja história geológica mais antiga remonta ao Proterozoico, uma idade muito bem preservada nas rochas por este lado do mundo.

Estamos na reserva natural do Etosha, na região do Cunene, onde é possível o contacto, quase num frente-a-frente, com os *Big Five*. Sem esquecer todos os outros animais selvagens que andam por este tipo de paragens. A intenção é mesmo observar a diversidade faunística de quatro patas que por aqui vive, protegida, bastando para isso procurar os múltiplos charcos que existem em toda a reserva, que se enchem de água em torno do verão austral. A perpétua busca pelo bem mais precioso da vida.

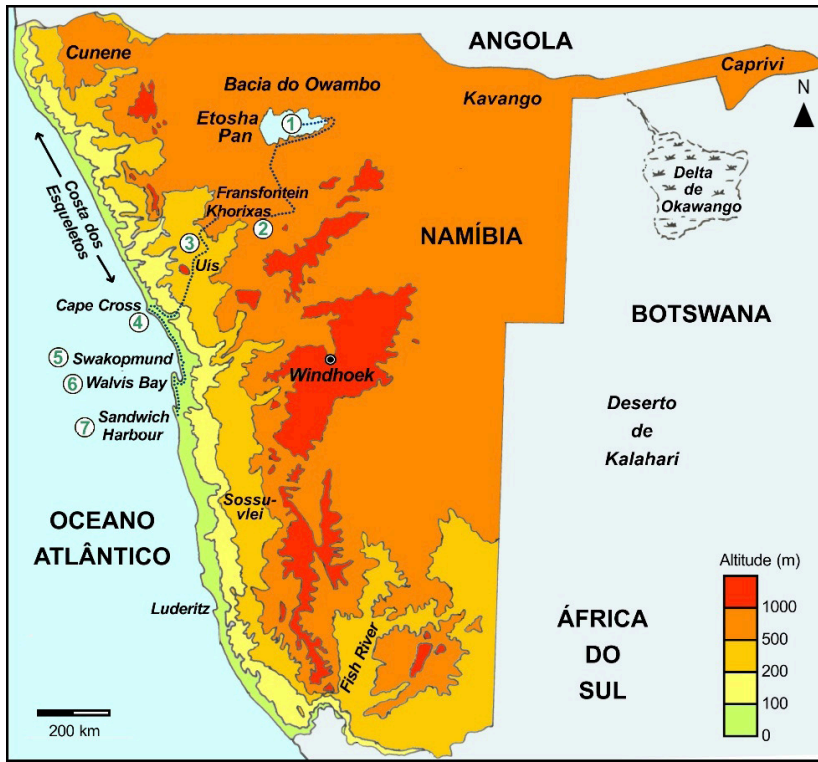


FIGURA 1. Localização dos pontos de visita pela Namíbia, bem como outros locais de referência deste país do sudoeste africano.

Atente-se que, devido ao facto do clima não ser totalmente árido, uma parte significativa desta área converte-se num lago sazonal durante o curto período das chuvas. Este vasto espaço tem um substrato de rochas sedimentares pouco permeáveis, onde se incluem evaporitos, carbonatos, lutitos e arenitos, numa sucessão de idade bastante recente, datada do Neogénico (Miocénico – Holocénico). Este registo, por vezes com uma mineralogia bastante singular, conta com meia centena de metros de sedimentos, e alguns níveis a exibirem evidências fossilíferas muito próximas dos parentes atuais, entre os 6 e os 4 milhões de anos. Todo este conjunto de sedimentos ter-se-á formado em ambiente lacustre, quando as condições climáticas eram ligeiramente diferentes das atuais (FIGURA 2). Um paleolago com muita história, muito para além da biodiversidade que hoje se observa.

Em direção a sul, e antes da visita a Khorixas, a passagem pelo Vale de Ugab, o rio que dá nome à região, é obrigatória. Continuamos em terrenos cenozoicos, embora mais antigos do que os do Etosha. Na paisagem despontam uma série de geformas notáveis, resultantes da intensa erosão entre as várias unidades sedimentares de natureza arenosa e conglomerática que aqui se encontram registadas. Estamos a referir-nos às conhecidas “mesas de Ugab”, onde se inclui, também, a afamada e icónica *finger rock*, a *Vingerklip*, em africâner (FIGURA 3).

Todo um lugar que, pela geomorfologia e pelos processos envolvidos, nos faz lembrar outras paragens, a começar pelo faroeste americano.



FIGURA 2. O lago seco do Etosha, em torno do qual está instituída a reserva de vida selvagem com o mesmo nome. Neste caso, com uma manada de zebras a servir de escala.



FIGURA 3. Geomorfologia do vale de Ugab, com duas das suas mesas, e com a icónica Vingerklip.

Entretanto, estamos perto de um dos lugares de maior relevância geológica desta região. Quase no meio do nada, em termos de civilização humana, entramos no Monumento Nacional da Floresta Petrificada de Khorixas (FIGURA 4A)). Na realidade, fica a algumas dezenas de quilómetros desta localidade, por caminho penoso e pedregoso. Mas, a visita vale “muito a pena”, pela oportunidade de se observar uma fossilização excepcional de restos vegetais de grande porte, que terá ocorrido há cerca de 280 milhões de anos. Associado a um ambiente fluvial de inundações extremas, os troncos de tamanho gigante terão sido rapidamente arrastados e soterrados por depósitos siliciclásticos, os quais terão ajudado à sua excepcional preservação. Com o decorrer do tempo, e em Geologia isso significa milhões de anos, o carbono da matéria orgânica deu lugar à sílica, um composto químico que domina a crosta terrestre, que ajudou a preservar até hoje estes belos exemplares da flora do final da Era Primária (Pérmico), e que os processos erosivos puseram a descoberto. Um fenómeno em tudo semelhante ao observado na *Petrified Forest* do sudoeste dos Estados Unidos da América, neste caso de idade triásica, um dos exemplos do género mais conhecidos no mundo global. Mas Khorixas não fica por aqui, já que tem um grande bónus para os naturalistas, ímpar em todo o mundo. A possibilidade de associar na mesma imagem um tronco fóssil de uma conífera, dos finais do Paleozoico, com a endémica *Welwitschia mirabilis*, exclusiva desta região desértica. Perfeita simbiose para os botânicos e geólogos, num puro capricho da Natureza (FIGURA 4B)).

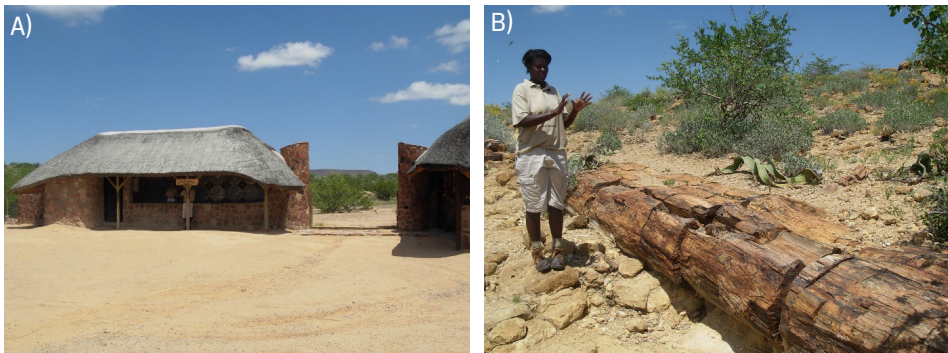


FIGURA 4. A) A “porta” de entrada, oficial, no Monumento Natural Nacional da Floresta Petrificada de Khorixas. B) Um dos maiores troncos silicificados, de idade pérmica, observados na Floresta Petrificada de Khorixas. No centro da imagem, um pequeno espécime de *Welwitschia mirabilis*, planta endémica desta região do globo.

Mais para sul, a caminho do litoral Atlântico, entramos na região de Erongo, onde nos vamos manter até ao final desta viagem. A paragem em Uis também é indispensável. Um pequeno aglomerado populacional, antigo centro mineiro, que durante décadas viveu à custa da exploração de pegmatitos com cassiterite. O mesmo é dizer, particularmente ricos em estanho, com concentrações bem acima dos valores normais da crosta terrestre. Nesta região estão cartografados mais de uma centena de corpos magmáticos, intruídos em xistos quartzo-bio-



títicos da *Formação Amis River*, com dimensões que chegam a atingir mais de um quilómetro de extensão. Para além das crateras de origem antrópica, que resultaram da extração do referido minério a céu-aberto, a “atmosfera” mineira é tão grande, que os pequenos hotéis de Uis podem ser autênticos museus, repletos de motivos alusivos (FIGURA 5). Até os quartos levam nomes de minerais... Na boa memória, ficou uma performance acústica que rezava qualquer coisa como “*rocks and stones are in my bones*”. Naquilo que parecia ser um encontro de mineiros (e geólogos) aposentados. Dará para imaginar...



FIGURA 5. Um dos múltiplos sinais dedicados à geologia e prospeção mineira presentes num hotel de Uis.

E chegamos à lendária e agreste Costa dos Esqueletos, que é uma espécie de cemitério de embarcações naufragadas e de ossadas de mamíferos marinhos, amplamente conhecida da etimologia geográfica. Andamos pelos 21º de latitude sul, que aqui interseta o percurso para norte da corrente fria de Benguela. Por isso, esta é uma das zonas de *upwelling* mais conhecidas do globo e, conseqüentemente, das mais ricas em ictiofauna. Os efeitos da aridez são visíveis, através da quase ausência de vegetação e pelos campos dunares que cobrem grande parte da paisagem. De norte para sul, começamos no *Cape Cross*, onde afloram, de modo envergonhado, rochas intrusivas básicas (tipo gabros) do chamado *Complexo de Cape Cross*. Um lugar que muito diz aos portugueses pela passagem do navegador *Diogo Cão*, que aqui ergueu um padrão com as armas de D. João II, em 1485. Numa viagem que contrariou o efeito das *trade winds* dos dois hemisférios, e que terá deixado o rasto para as futuras incursões de Bartolomeu Dias e de Vasco da Gama pelo Atlântico Austral. Era, até então, o feito mais meridional conquistado pelos portugueses.

# Um tigre branco.

in.casadasciencias.org/banco-imagens

Rodeava-o um campo onde cresciam, indomesticáveis, os morangos brancos.

Entrei no Templo. Tudo era escuro primeiro e luminoso depois. Um humano — era decididamente um humano — trabalhava dentro de uma caixa negra sob uma luz rubra. Aproximou-se, destemido, e disse-me: *“És um tigre branco. Nunca tinha visto nenhum por aqui. Não fui eu quem te fez, isso sei-o. O que procuras?”* Expliquei-lhe ao que vinha. Ele observou-me longamente. Depois disse. *“Sim, chegaste ao sítio certo. Farei um tigre branco, idêntico àquele que és. Descobrirás então o que é a amizade? Talvez. Não te asseguro que a conquistarás. Apenas que a reconhecerás como ideia. Uma ideia de tigre que eu não entenderei, mesmo que a expliques. Descobrirás o lugar da diferença que te cabe. Não haverá nenhum outro igual a ti.”* Pediu-me para entrar na caixa negra, e foi então que tudo começou.

Adormeci profundamente. Sonhei com os morangos brancos rodeando o Templo.

Luís Quintais

Universidade de Coimbra

Os frutos têm um papel muito importante na nossa alimentação, combinando o seu papel nutricional com uma diversidade de aromas únicos e cores vibrantes que os tornam irresistíveis. Os morangos brancos são ainda uma novidade para a maioria dos consumidores, gerando curiosidade sobre as suas qualidades e muitas dúvidas sobre o modo como são produzidos.

Apesar de poderem ser confundidos com morangos imaturos, estes morangos permanecem brancos durante todo o amadurecimento, uma vez que não produzem uma proteína com funções importantes na via biossintética das antocianinas, que iriam conferir a cor vermelha.

Esta diversidade genética ocorre em diversos cultivares obtidos através de processos de melhoramento seletivo. Um dos cultivares mais comuns é um híbrido, desenvolvido através do cruzamento das espécies silvestres *Fragaria chiloensis* e *Fragaria virginiana*, e conhecido como *pineberry* (do inglês *pineapple*, ananás, e *strawberry*, morango), devido ao seu aroma único semelhante ao ananás.

Sandra Correia

Laboratório Colaborativo *InnovPlantProtect*





VIII ENCONTRO  
INTERNACIONAL  
DA CASA  
DAS CIÊNCIAS

UNIVERSIDADE  
DE AVEIRO

17, 18 + 19  
JULHO  
2023

EM MEMÓRIA DO SENHOR VASCO DE GÓMEZ LUIS

ENERGIA