

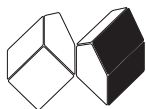
DEZEMBRO 2021

# V9/04

REVISTA DE CIÊNCIA ELEMENTAR. CASA DAS CIÊNCIAS



# REVISTA DE CIÊNCIA ELEMENTAR



## FICHA TÉCNICA

*Rev. Ciência Elem.*, V9(04)

**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

2800 exemplares

IMAGEM NA CAPA

Plantação de algodão

Kimberly Vardeman

[casadasciencias.org/banco-imagens](http://casadasciencias.org/banco-imagens)

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



## PROPRIETÁRIO

Casa das Ciências/ICETA

Faculdade de Ciências,

Universidade do Porto

Rua do Campo Alegre, 687

4169-007 Porto

[rce@casadasciencias.org](mailto:rce@casadasciencias.org)

## CORPO EDITORIAL DA REVISTA DE CIÊNCIA ELEMENTAR

### EDITOR

João Nuno Tavares (UNIVERSIDADE DO PORTO)

### EDITORA CONVIDADA

Maria João Ramos (UNIVERSIDADE DO PORTO)

### CONSELHO EDITORIAL

João Lopes dos Santos (UNIVERSIDADE DO PORTO)

Jorge Manuel Canhoto (UNIVERSIDADE DE COIMBRA)

José Francisco Rodrigues (UNIVERSIDADE DE LISBOA)

Luís Vítor Duarte (UNIVERSIDADE DE COIMBRA)

Maria João Ramos (UNIVERSIDADE DO PORTO)

Paulo Fonseca (UNIVERSIDADE DE LISBOA)

Paulo Ribeiro-Claro (UNIVERSIDADE DE AVEIRO)

### PRODUÇÃO E SECRETARIADO

Alexandra Coelho

Guilherme Monteiro

### NORMAS DE PUBLICAÇÃO NA RCE

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

### INFORMAÇÃO PARA AUTORES E REVISORES

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

Para mais informação sobre o processo de submissão de artigos, consulte a página da revista em [rce.casadasciencias.org](http://rce.casadasciencias.org)



DEZEMBRO 2021

# V9/04

## ÍNDICE

- 02 AGENDA
- 03 NOTÍCIAS
- 05 PROFESSORA DO ANO 2021
- EDITORIAL
- 07 **Feliz Natal e Bom Ano Novo...  
com bactérias!**  
Maria João Ramos
- ARTIGOS
- 09 **Circuitos elétricos**  
Eduardo Lage
- 13 **Zona de audibilidade**  
João Nuno Tavares
- 17 **Enzima Tmprss2**  
Filipa Leça Santos *et al.*
- 22 **Infertilidade**  
Ana Margarida Aleixo, Vasco Almeida
- 26 **Talassoterapia**  
Celso de Sousa Figueiredo Gomes
- 31 **Serpentes venenosas  
e acidentes ofídicos**  
Luis M. P. Ceriaco, Mariana P.  
Marques
- 36 **MHETase**  
Catarina Ferreira *et al.*
- 40 **O que é a computação de alto  
desempenho?**  
Maria João Ramos
- PROJETO DE SUCESSO
- 44 **Educar para as alterações  
climáticas**  
António José Monteiro *et al.*
- IMAGEM EM DESTAQUE
- 48 **"Tão natural"**  
Pedro Alexandrino Fernandes,  
Francisco Fidalgo Félix

**até 08/03** (2022)

Biologia ao fim da tarde

Abordando vários temas, da genética à aquacultura sustentada passando pela biotecnologia e biologia sintética, o ciclo de palestras **Biologia ao fim da tarde** é o ciclo de palestras que o Departamento de Biologia da Faculdade de Ciências da UP vai dinamizar até 8 de março de 2022. Com a duração de 15 minutos, este evento conta com a colaboração com o Núcleo de Estudantes de Biologia da UP decorrerá quinzenalmente, às terças-feiras, pelas 18h30, nas instalações da FCUP ou, em alternativa, através da plataforma Zoom. A entrada é gratuita, mas sujeita a inscrição obrigatória.

**Mais informações:**

BIOLOGIA.FIM.TARDE@FC.UP.PT

**até 31/05** (2022)

Reservas da Biosfera

Exposição dedicada à exploração e conhecimento do património natural dos territórios que constituem a Rede dos países da CPLP, considerados verdadeiros laboratórios vivos de sustentabilidade, distinguidos pela Unesco pela qualidade do seu património natural e cultural, e pela harmonia que privilegiam entre a salvaguarda do património e o bem-estar das comunidades residentes.

PARQUE SERRALVES

**4.ª feiras**

Visitas às Quartas

Visita orientada: Uma farmácia no Jardim

Sabia que em quase todos os jardins, tal como na paisagem, podemos encontrar plantas medicinais? Na verdade, muitos dos medicamentos são feitos à base de plantas, e as plantas medicinais estão praticamente em todo o lado. Na companhia de Fernanda Botelho, será possível conhecer alguns fármacos fitoterápicos feitos com ginkgo, oliveira, pilriteiro, eucalipto... No final da visita, ficará a saber que no Jardim Gulbenkian há plantas com efeitos sedativos, anti-inflamatórios, diuréticos, antibacterianos, calmantes e reguladores.

JARDIM GULBENKIAN

**20/07**  
**a 22/07** (2022)

VII Encontro Internacional da Casa das Ciências

Clima e Sustentabilidade

O Encontro Internacional da Casa das Ciências regressa ao Porto em 2022 num formato próximo do que já é bem característico da Casa das Ciências. À componente plenária, juntamos pelo menos 2/3 do tempo de formação em pequenos grupos de cerca de 20 pessoas para melhor contacto com os formadores. Esta formação é acreditada pelo CCPFC.

**Esteja atento à abertura das inscrições!**

PORTO, ISEP-IPORTO

[WWW.CASADASCIENCIAS.ORG/7ENCONTROINTERNACIONAL/](http://WWW.CASADASCIENCIAS.ORG/7ENCONTROINTERNACIONAL/)

**Nesta ocasião festiva, a Casa das Ciências deseja a todos um Bom Natal e um ótimo ANO NOVO de 2022... sem vírus!**

**Será um ano com várias novidades da CdC, a retoma dos Grandes Encontros e outras iniciativas de interesse para toda a comunidade educativa.**

**Obrigado por continuar connosco. Visite o nosso portal para se manter atualizado sobre os nossos projetos.**

A COORDENAÇÃO

---

## Aprendizagem automática prevê a propagação da resistência aos antibióticos

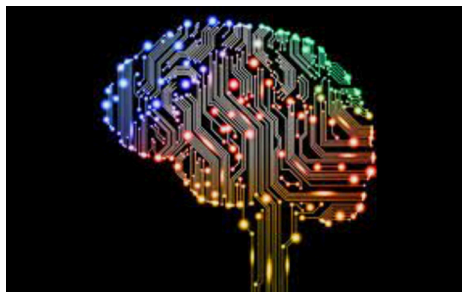


FIGURA 1. *Machine learning*.

Investigadores de Cornell utilizaram aprendizagem automática (*machine learning*) para classificarem organismos pelas suas funções e utilizar esta informação para prever com precisão quase perfeita como os genes são transferidos entre eles, uma abordagem que poderia ser potencialmente utilizada para impedir a propagação da resistência aos antibióticos.

Uma das descobertas mais surpreendentes foi que a modelação previu várias transferências possíveis de resistência aos antibióticos, entre bactérias e agentes patogénicos associados ao ser humano, que ainda não foram observadas. Estes prováveis, mas ainda não detetados, eventos de transferência eram quase exclusivos de bactérias associadas ao ser humano no microbioma intestinal ou no microbioma oral. Pode imaginar-se que se conseguirmos prever como estes genes se propagam, po-

deremos intervir ou escolher um antibiótico específico, dependendo do paciente.

---

## Armazenar energia em plantas com raízes eletrónicas

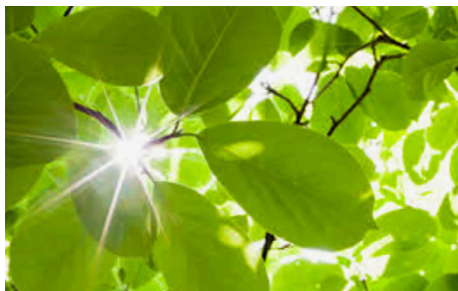


FIGURA 1. Armazenamento de energia pelas plantas.

Ao regar plantas de feijão (*Phaseolus vulgaris*) com uma solução que contém oligómeros conjugados, os investigadores do Laboratório de Eletrónica Orgânica, na Universidade de Linköping Suécia, mostraram que as raízes daquelas plantas se tornam condutoras elétricas, podendo armazenar energia.

Os investigadores estudaram a possibilidade de utilizarem as raízes para armazenar energia, e construíram um supercondensador, no qual as raízes funcionam como elétrodos durante a carga e a descarga.

Os resultados, publicados na revista científica *Materials Horizons*, são muito significativos, não só para o desenvolvimento do armazenamento de energia sustentável, mas também para o desenvolvi-

mento de novos sistemas bio-híbridos, tais como materiais funcionais e compósitos. As raízes eletrônicas representam uma contribuição importante para o desenvolvimento de uma comunicação perfeita entre sistemas eletrônicos e biológicos.

---

## Será que os corticosteróides inalados podem aliviar os sintomas precoces da COVID-19?

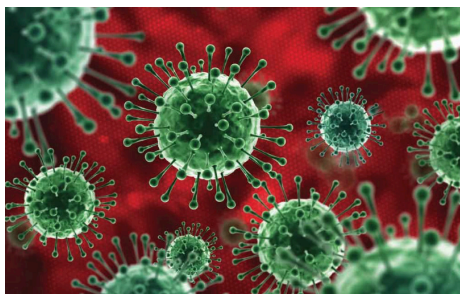


FIGURA 1. Vírus de SARS-CoV-2.

Os resultados de um primeiro ensaio de esteróides inalados, contra a COVID-19, conduzido por uma equipa de investigadores no Instituto de Investigação do Centro para a Saúde da Universidade McGill, Montreal, em colaboração com cientistas do Centro *Sunnybrook* para as Ciências da Saúde de Toronto, Instituto de Investigação em Saúde do Litoral de Vancouver e a Universidade da Columbia Britânica em Vancouver, mostram que os corticosteróides inalados para ajudar jovens saudáveis com COVID-19, a melhorar

mais rapidamente, não têm resultados superiores aos de placebo.

Com base no pressuposto de que o tratamento seria mais eficaz se ministrado no início do processo da doença, os participantes foram recrutados no prazo de cinco dias após o resultado positivo de um teste PCR contra o SARS-CoV-2 e o início dos sintomas. Nenhum participante vacinado foi incluído no ensaio.

O estudo não mostrou qualquer diferença significativa entre o grupo de intervenção e o grupo de controlo. Após sete dias de tratamento, 40% (42/105) dos participantes que tomaram o medicamento em estudo já não apresentavam febre e sintomas respiratórios, contra 35% (34/98) dos que tomaram o placebo. No 14º dia, estes números ascendiam a 66% (69/105) no grupo da ciclesonida, contra 58% (57/98) no grupo do placebo. As diferenças são demasiado pequenas para serem significativas.

Apesar dos resultados deste estudo, os investigadores ainda acreditam no potencial dos esteróides inalados para tratar a COVID-19, nas populações mais velhas em risco, sendo necessária mais investigação.

# Professora do Ano 2021



Carla Pereira Menino

A Carla Pereira Menino é professora de Tecnologias de Informação e Comunicação na Escola Portuguesa de São Tomé e Príncipe na sequência de um voluntariado realizado entre 2012 e 2013 como agente de Desenvolvimento, ao serviço da ONGD Leigos para o Desenvolvimento, tendo-lhe sido reconhecido o estatuto de agente da cooperação, por despacho do Senhor Secretário de Estado dos Negócios Estrangeiros e da Cooperação.

Licenciada em Informática de Gestão na Universidade Portucalense Infante D. Henrique em 1999, realizou entre 2003 e 2005 a Profissionalização em serviço na Escola Superior de Educação do Instituto Politécnico do Porto, tendo concluído posteriormente (em 2012) uma Pós-graduação, em Sistemas Gráficos e Multimédia no Instituto Superior de Engenharia do Porto.

Coordenadora do Clube de Robótica e Programação e responsável pelo projeto

*Africa Code Week (ACW) desenvolveu ao longo dos últimos anos uma significativa atividade no domínio do ensino da tecnologia e da sua envolvimento na aprendizagem em geral, sendo responsável por projetos nesta área que envolveram desde a participação no *First Global Challenge 2021* (uma competição internacional de robótica de estilo olímpico que decorre num país diferente em cada ano) até à configuração e organização de todas as disciplinas e turmas na plataforma *Classroom* de forma a facilitar as aulas online aquando da aclamação do estado de calamidade em S. Tomé e Príncipe.*

A sua passagem pelas várias escolas onde lecionou, com particular relevo para o Colégio dos Carvalhos onde foi aluna e docente, deixou significativas marcas como atestam os testemunhos que dela dão, aqueles com quem privou.

*É uma mulher compreensiva, incentivadora, apaixonada pela docência. ... está sempre a querer fazer mais pelo agrupamento, a tentar implementar alguma ideia nova, ... tenta que todos os que a rodeiam consigam voar mais alto, na sua carreira profissional e na sua vida pessoal, incentivando-os a acreditarem nas suas potencialidades.*

Maria José Ferreira Álvares, Professora e Delegada de Grupo da Secundária Manuel Laranjeira

*A Carla não é só uma colega que estava sempre disponível para auxiliar nos contratempos da profissão e a encaminhar-me na resolução de situações mais adversas, mas também uma amiga que, nas horas de aflição, nos puxa para cima e nos mostra o caminho a seguir.*

Susana Alves, Colega e amiga

*É uma colega de trabalho que todos os anos se coloca a si desafios profissionais, que “inventa que fazer”, que “põe a lenha toda na fogueira”, e que facilmente convence e contagia quem a rodeia. Que humildemente reconhece que não sabe tudo, que tem tantas dúvidas como certezas, mas que vai aprender para saber fazer e ajudar. Que põe os alunos a brilhar! E uma pessoa deste calibre está predestinada a ter sucesso naquilo que faz e a ser reconhecida pelos pares.*

António Menino, Marido

*Três palavras para descrever a Carla Menino: discricção; rigor; disponibilidade.*

Manuel Silva Pinto, Professor

*“Professor do Ano” é a distinção atribuída anualmente pela Comissão Editorial da Casa das Ciências a um professor em reconhecimento do seu mérito como docente do ensino básico ou secundário e da sua disponibilidade de partilhar a sua experiência com os colegas.*



---

# Feliz Natal e Bom Ano Novo... com bactérias!

O termo enzima<sup>1</sup> foi definido pela primeira vez por Wilhelm Kühne em 1867 e o seu estudo proporcionou 37 prémios Nobel nos campos da Química e da Medicina. Enzimas são proteínas, macromoléculas espantosas que funcionam como catalisadores biológicos, com uma aplicabilidade cada vez maior à nossa vida, tal como a vivemos. As enzimas existem no organismo humano mas também existem noutras espécies, como sejam as bactérias, e, tanto umas como outras, ocupam o seu lugar na nossa sociedade.

Há inúmeros exemplos da aplicação de enzimas nas indústrias alimentar, têxtil, papel, detergentes, química, biocombustíveis e saúde.

A indústria farmacêutica é uma das que mais beneficia da utilização de reações enzimáticas como precursores de antibióticos, ou em quimioterapia ou, ainda, em substituição, por exemplo, de complicadas vias sintéticas. Uma percentagem muito considerável dos fármacos existentes são, na realidade, inibidores de enzimas.

Recentemente, foi reportada uma notícia muito interessante em Itália que, como sabemos, tem variadíssimas cidades com ruas repletas de antiguidades maravilhosas que encantam todos os viajantes que as percorrem. Mas todas estas antiguidades estão sob o perigo constante da poluição que ameaça destruí-las gradualmente. Para enfrentar a poluição devastadora, está a ser utilizada uma tecnologia nova que emprega enzimas bacterianas que, ao cobrirem os mármore antigos, depositam sobre eles carbonato de cálcio, resultando numa calcificação natural do mármore das antiguidades. Exemplos de sucesso da utilização desta nova tecnologia são o Arco de Septímio Severo, no Forum Romano, e a Capela dos Médici, em Florença, esta última desenhada pelo famoso Michelangelo no século XVI. É espantoso pensar que, cada vez mais, os trabalhos de restauração estão a ser realizados a um nível molecular.

Numa das edições da revista *Science*, de 2021, foi reportada a descoberta da bactéria *Ideonella sakaiensis* 201-F6, que tem a particularidade de crescer no plástico PET (te-

reftalato de polietileno), utilizando-o como fonte principal de energia e carbono. O PET é o plástico mais utilizado na produção de garrafas que todos usamos diariamente... infelizmente... Esta estirpe bacteriana produz duas enzimas, PETase e MHETase, ambas necessárias para converter o PET em dois monómeros, o ácido tereftálico e o etilenoglicol — os compostos a partir dos quais o PET é sintetizado, os dois ambientalmente benignos. Assim, fica constituído um 'ciclo enzimático verde' segundo o qual ambas aquelas enzimas degradam o PET nos seus constituintes naturais, o ácido tereftálico e o etilenoglicol. A MHETase é um dos temas abordados nesta edição.

E a capa desta edição retrata uma plantação de algodão, onde o uso de bactérias substituiu o habitual de pesticidas!

Em conclusão, as bactérias têm uma reputação injusta na medida em que são prioritariamente associadas a infeções, embora as suas funções sejam muito mais complexas, dado que apenas um número muito pequeno de bactérias é patogénico. Na realidade, mais de 95% das bactérias não são nocivas para os humanos que vivem no meio delas e graças a elas!

<sup>1</sup> Em português, o termo enzima é utilizado indiscriminadamente como sendo feminino ou masculino.

Maria João Ramos

Editora convidada

# Circuitos elétricos

Eduardo Lage  
Universidade do Porto

Circuitos elétricos fazem parte da nossa experiência quotidiana, das correntes contínuas geradas por baterias em automóveis ou pilhas em telemóveis, às correntes alternadas que alimentam fogões e frigoríficos ou iluminam as ruas das cidades. Em todos, há dissipações de calor em resistências elétricas, sempre presentes e que se juntam a bobinas e condensadores para completarem os elementos dos circuitos mais simples. As leis de associação destes elementos facilitam a análise de qualquer circuito, ainda mais simplificada pelo conceito de impedância que unifica o estudo de circuitos *cc* e *ac*, ambos sujeitos às leis de Kirchhoff.

Aplicando um campo elétrico a um metal verifica-se o aparecimento de uma corrente elétrica que satisfaz à lei de Ohm (1827):

$$\vec{j} = \sigma \vec{E} \quad (1)$$

Aqui,  $\sigma$  é a condutividade do metal, designando-se por resistividade o seu inverso:  $\rho = \frac{1}{\sigma}$  (unidade S.I.  $\text{ohm}\cdot\text{m}$ ). A tabela seguinte mostra os valores da resistividade, à temperatura ambiente, para alguns metais. A resistividade aumenta com a temperatura, tipicamente da ordem de 0,5%/K.

Metal	$\rho (\times 10^{-8} \Omega m)$
Alumínio	2,65
Constantan	47
Cobre	1,7
Prata	1,6
Ouro	2,4
Ferro	10
Níquel	59
Platina	11
Aço	96
Zinco	5,9



FIGURA 1. George Ohm (1789-1854).

A equação (1) exhibe claramente uma quebra de simetria por inversão do tempo, uma propriedade característica de um fenómeno irreversível. E, de facto, o trabalho realizado pelo campo eléctrico em cada segundo e por unidade de volume, é convertido em calor (calor de Joule).:

$$\frac{\delta^2 W}{\delta V \delta t} = \vec{i} \cdot \vec{E} = \rho \vec{i}^2 \quad (2)$$

A FIGURA 2 mostra uma porção de um condutor cilíndrico (raio  $a$ , comprimento  $l$ ), nas extremidades do qual é aplicada uma diferença de potencial  $V_A - V_B$ . O cilindro é atravessado por uma corrente, de intensidade  $I$ , que se distribui uniformemente na secção transversal e ao longo do eixo.

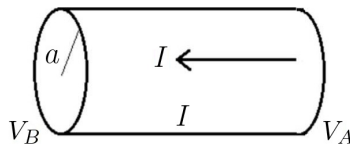


FIGURA 2. Condutor cilíndrico.

Assim, é  $i = \frac{I}{\pi a^2}$  e, da equação (1), resulta:

$$V_A - V_B = El = \frac{\rho l}{\pi a^2} I \equiv RI \quad (3)$$

onde:

$$R = \frac{\rho l}{\pi a^2} \quad (4)$$

é a resistência do troço considerado. Esta expressão é generalizável a qualquer outro tipo de secção reta, bastando substituir o denominador pela área dessa secção. Se se considerar um condensador plano cujas armaduras são as bases destes cilindros, a sua capacidade é  $C = \frac{\varepsilon_0 \pi a^2}{l}$ , pelo que  $RC = \varepsilon_0 \rho$ . Ver-se-á que esta relação é mais geral do que aparenta neste exemplo.

A FIGURA 3 representa duas superfícies cilíndricas coaxiais, de comprimento  $l$  e raios  $a < b$ . O meio entre as superfícies é um condutor ( $\rho$ ). O cilindro interior é mantido ao potencial  $V_i$  e o exterior ao potencial  $V_e < V_i$ , pelo que existe um campo eléctrico radial que origina uma corrente também radial,  $i_r = \frac{I}{2\pi r l}$ . Pela lei de Ohm, é:

$$E_r = \rho i_r = \frac{\rho I}{2\pi r l} = -\frac{\partial \varphi}{\partial r} \rightarrow V_i - V_e = \frac{\rho I}{2\pi l} \log\left(\frac{b}{a}\right)$$

Assim, a resistência deste condutor é:

$$R = \frac{\rho}{2\pi l} \log\left(\frac{b}{a}\right) \quad (5)$$

Comparando este resultado com a capacidade de um condensador formado pelas mesmas superfícies cilíndricas, obtém-se  $RC = \rho \varepsilon_0$ , como no exemplo anterior.

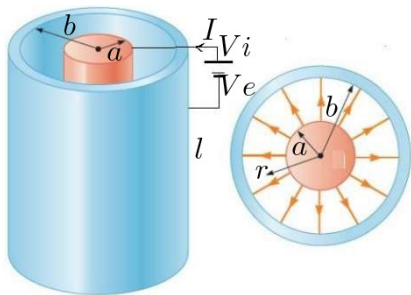


FIGURA 3. Condutor cilíndrico.

A FIGURA 4 mostra duas superfícies esféricas, concêntricas, de raios  $R_i < R_e$ . O espaço entre as superfícies é inteiramente ocupado por um meio condutor. Estabelecendo uma diferença de potencial  $V$  entre as esferas, é criado um campo eléctrico radial e, portanto, também uma corrente radial  $i_r = \frac{I}{4\pi r^2}$ . A lei de Ohm dá:

$$E_r = \rho i_r = \frac{\rho I}{4\pi r^2} \rightarrow V = \frac{\rho I}{4\pi} \left( \frac{1}{R_i} - \frac{1}{R_e} \right)$$

A resistência deste condutor é:

$$R = \frac{\rho}{4\pi} \left( \frac{1}{R_i} - \frac{1}{R_e} \right) \quad (6)$$

Comparando com a capacidade de um condensador com a mesma geometria, obtém-se  $RC = \rho\epsilon_0$ , como antes.

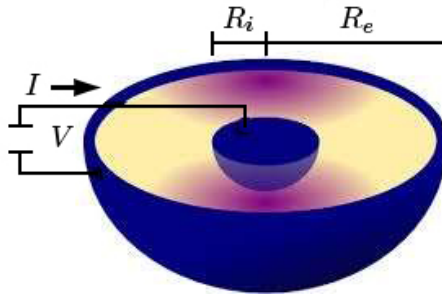


FIGURA 4. Condutor esférico.

Esta relação, verificada nestes três exemplos, entre capacidade de um condensador e a resistência de um condutor com a mesma geometria, não é fortuita. Basta lembrar que, para a mesma diferença de potencial (e, portanto, o mesmo campo elétrico), esta determina a carga do condensador (multiplicando aquela por  $C$ ) e a corrente no condutor (dividindo aquela por  $R$ ). A relação é bastante genérica.

# Zona de audibilidade

João Nuno Tavares

CMUP/ Universidade do Porto

Deitados na praia, vemos um avião voar, a uma certa altitude. É claro que não ouvimos instantaneamente o som emitido pelos motores, no instante em que ele passa sobre nós. O som tem uma certa velocidade de propagação e, por isso, demora a chegar a nós. O que ouvimos é o som emitido antes. O que vamos discutir neste pequeno artigo é a chamada zona de audibilidade, isto é, a região do solo (suposto plano) onde se ouve o ruído dos motores do avião.

## Descrição do problema

Um avião voa com uma velocidade  $V$ , superior à velocidade do som,  $S$ . Em cada instante, o motor do avião emite um som que se propaga no espaço, com velocidade  $S$ , em todas as direções, sob a forma de ondas esféricas — estas esferas chamam-se as frentes de onda. Quando atingem o solo, intersectam-no em círculos cujo raio vai crescendo à medida que o tempo avança. Se um habitante da região sobrevoada pelo avião estiver dentro destes círculos, ele ouvirá o ruído dos motores do avião.

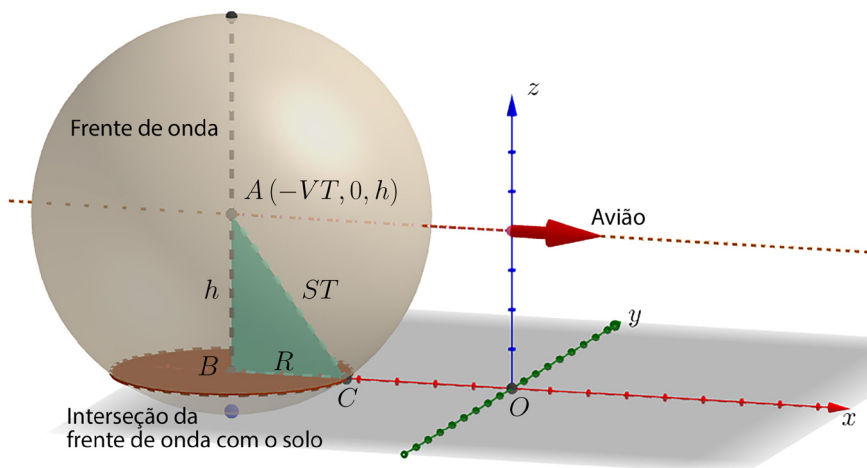


FIGURA 1. Avião, frente de onda, emitida no ponto  $A = (-VT, 0, h)$ , e sua interseção com o solo (o plano  $Oxy$ ).

## Objetivo

Analisar a zona de audibilidade num certo instante. Por outras palavras, fixamos um instante, digamos, o instante 0 (congelamos o tempo nesse instante), onde o avião está no ponto  $(0, 0, h)$ , e vemos como é a região do solo onde o avião foi ouvido (FIGURA 1).

### Dados do problema:

- A altura  $h > 0$  do voo (suposta constante), medida em km.
- A velocidade  $V$  do avião (suposta constante), medida em km/h.
- A velocidade  $S$  de propagação do som (suposta também constante), medida em km/h.
- O avião desloca-se em movimento retilíneo uniforme, ao longo da reta paralela ao eixo dos  $x$ 's, no plano  $Oxz$ , a uma altura  $h$  do plano do solo — o plano  $Oxy$ . O avião voa da esquerda para a direita, no sentido positivo do eixo dos  $x$ 's. Supomos ainda que o voo é supersónico:  $V > S$ .

### Cálculos

Analisemos então a zona de audibilidade no instante 0. Neste instante o avião está no ponto  $(0, 0, h)$ , por cima da origem das coordenadas,  $O$ .  $T > 0$  horas mais cedo o avião estava no ponto  $A = (-VT, 0, h)$  (FIGURA 1). No ponto  $A$ , o motor do avião emitiu um som que se propaga em todas as direções com velocidade  $S < V$ . A frente de onda tem pois a forma de uma esfera cujo raio cresce com velocidade  $S$ .

### Qual o raio dessa esfera no instante 0?

Como passaram  $T$  horas, até o avião chegar ao ponto  $(0, 0, h)$ , é claro que esse raio é igual a  $ST$ . Essa esfera, no instante  $t = 0$ , intersesta o solo segundo uma circunferência centrada em  $(-VT, 0, 0)$ , e cujo raio é  $R = \sqrt{(ST)^2 - h^2}$ , como se deduz facilmente, aplicando o teorema de Pitágoras ao triângulo retângulo  $ABC$ , e atendendo a que  $\overline{AB} = h$  e  $\overline{AC} = ST$  (FIGURA 1).

### Generalização

O mesmo acontece em cada instante  $t : 0 < t \leq T$  — nesse instante o avião está no ponto  $(-Vt, 0, h)$  e, nesse ponto, o motor do avião emite um som que se propaga em todas as direções com velocidade  $S$ . A frente de onda correspondente tem mais uma vez a forma de uma esfera cujo raio cresce com velocidade  $S < V$ . Essa esfera, no instante  $t = 0$ , tem um raio igual a  $St$  e intersesta o plano do solo segundo uma circunferência  $C_t$ , centrada em  $(-Vt, 0, 0)$  e cujo raio é  $\sqrt{(St)^2 - h^2}$ .

No plano  $Oxy$ , a equação dessa circunferência é

$$C_t : (x + Vt)^2 + y^2 = (St)^2 - h^2 \quad (1)$$



### Zona de audibilidade

É agora claro que a zona de audibilidade, no instante 0 é constituída por todos os pontos do solo que estão dentro dos círculos delimitados por todas estas circunferências  $C_t$ , para  $t : 0 < t \leq T$  (FIGURA 2), isto é, por todos os pontos  $(x, y)$  do solo, que satisfazem as inequações (uma para cada  $t$ ):

$$(x + Vt)^2 + y^2 \leq (St)^2 - h^2, \quad \forall t : 0 \leq t \leq T \quad (2)$$

ou, fazendo as contas:

$$(V^2 - S^2)t^2 + 2Vxt + (x^2 + y^2 + h^2) \leq 0 \quad \forall t : 0 \leq t \leq T \quad (3)$$

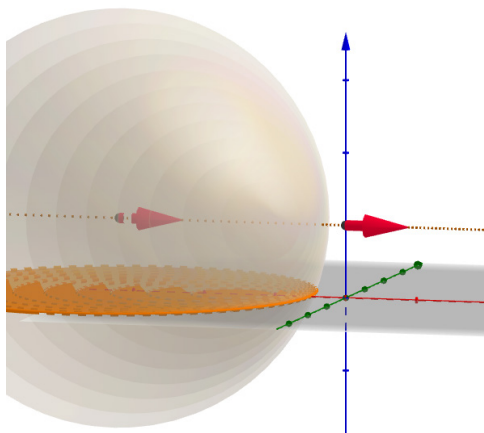


FIGURA 2. Zona de audibilidade, no instante 0.

Para cada  $t$ , esta é uma inequação do segundo grau em  $t$ . Quais as condições em que admite solução? A resposta está dada no teorema seguinte, cuja demonstração é simples:

### Teorema

Considere um polinómio quadrático da forma:

$$at^2 + bt + c$$

com coeficientes  $a > 0$  e  $c > 0$ . Para que exista um  $t \geq 0$  que satisfaça a inequação:

$$at^2 + bt + c \leq 0$$

é necessário e suficiente que:

1.  $b < 0$
2.  $b^2 - 4ac \geq 0$ .

No nosso caso, a inequação é (3) com:

$$a = V^2 - S^2 > 0, \quad b = 2Vx \quad \text{e} \quad c = x^2 + y^2 + h^2 > 0$$

Aplicando os critérios do teorema, concluímos que:

1.  $b = 2Vx < 0 \Leftrightarrow x < 0$
2.  $b^2 - 4ac \geq 0 \Leftrightarrow (2Vx)^2 - 4(V^2 - S^2)(x^2 + y^2 + h^2) \geq 0$

Esta última desigualdade pode ser escrita na forma:

$$\frac{x^2}{[(V^2 - S^2)/S^2]h^2} - \frac{y^2}{h^2} \geq 1$$

ou, fazendo  $k = \frac{V}{S}h$ , na forma:

$$\frac{x^2}{k^2 - h^2} - \frac{y^2}{h^2} \geq 1 \quad (4)$$

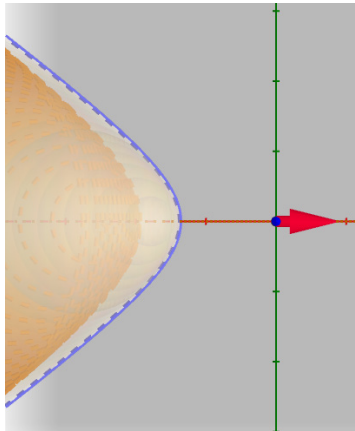


FIGURA 3. Zona de audibilidade no solo, no instante 0.

### Conclusões

1. A zona de audibilidade no instante  $t = 0$  consiste de todos os pontos  $(x, y)$  do solo, que satisfazem:

$$\frac{x^2}{k^2 - h^2} - \frac{y^2}{h^2} \geq 1 \quad \text{e} \quad x < 0 \quad (5)$$

2. A hipérbole de equação:

$$\frac{x^2}{k^2 - h^2} - \frac{y^2}{h^2} = 1 \quad (6)$$

é a envolvente das circunferências  $C_t$ , dadas por (1) (FIGURA 3).

---

# Enzima TMPRSS2

## Um alvo promissor para a terapia da COVID-19

Filipa Leça Santos, Pedro A. Fernandes, Maria João Ramos

Universidade do Porto

ARTIGO

17

**A enzima protease serina transmembranar 2 (TMPRSS2) é um elemento necessário à infeção pelo vírus SARS-CoV-2, o vírus causativo da pandemia COVID-19. A TMPRSS2 é, portanto, um alvo importante para novos fármacos que podem tratar a infeção por SARS-CoV-2.**

Após a Organização Mundial de Saúde declarar a COVID-19 uma pandemia, a 11 de março de 2020, a vida como se conhece sofreu muitas alterações. Até hoje, a humanidade sofreu muitas perdas, tendo-se registado, em julho de 2021, cerca de 172 milhões de casos de infeção por SARS-CoV-2, e destes, 3 milhões não sobreviveram, tornando-se esta pandemia uma ameaça mundialmente significativa. Como em qualquer pandemia, a melhor arma para a combater é a Ciência. Através desta, surgiram as vacinas, que previnem, em média, quatro a cinco milhões de mortes por ano.

É crucial ter em mente que um vírus, como o SARS-CoV-2, sofre rápidas mutações. Isto significa que cada vez que o vírus se instala num novo hospedeiro tem uma probabilidade de sofrer uma mutação, que pode ou não ser mais patológica ou mais infecciosa. Os vírus mutantes mais contagiosos tornam-se dominantes na população dando origem a novas estirpes virais. Em apenas um ano de pandemia, já se desenvolveram a estirpe inglesa, a brasileira, a sul-africana e a indiana. Constata-se pois, que este vírus é propício a mutações e que apesar do muito esforço e dedicação por parte de todos os investigadores, algumas dessas alterações genómicas acabam por beneficiar o vírus e, consequentemente, prolongar a sua permanência na população, com o risco de fazer com que todas as vacinas já criadas e aprovadas possam vir a ser ineficientes, ou menos eficientes, contra as novas variantes. Assim sendo, é muito importante controlar a propagação do vírus para que a probabilidade de mutações seja o mais diminuta possível. Visto isto, quanto mais conhecimento e estratégias forem adquiridas maior será a vantagem do ser humano no combate à pandemia atual.

Muitos foram os temas já abordados e investigados. No entanto, ainda há vários caminhos por explorar; um deles é o estudo da enzima protease serina transmembranar 2, mais

conhecida por TMPRSS2. Apesar de esta enzima não pertencer ao SARS-CoV-2, foi constatado que ela tem um papel fundamental na infecção do hospedeiro, e, por esse motivo, poderá ser uma potencial via ao combate da pandemia atual.

### Enzima TMPRSS2

As proteases são enzimas que clivam ligações peptídicas, que são as ligações formadas entre os aminoácidos que constituem as proteínas. O processo é chamado clivagem proteolítica, um mecanismo comum de ativação ou inativação de enzimas.

As proteases serina são endopeptidases — clivam as partes internas das proteínas e apresentam um resíduo de serina no centro ativo que atua como nucleófilo. As proteases serinas são caracterizadas por um centro ativo que contém três aminoácidos altamente conservados - serina (Ser), histidina (His) e aspartato (Asp) - formando a chamada tríade catalítica. Com base na sua preferência para substratos, as proteases serina subdividem-se em vários tipos, tais como tipo tripsina ou quimotripsina, entre outros. A protease serina transmembranar 2 (TMPRSS2) é uma protease serina transmembranar do tipo II, codificada pelo gene TMPRSS2. Esta enzima pertence ao tipo tripsina e, estas enzimas, normalmente, clivam ligações peptídicas que envolvem aminoácidos de lisina ou arginina.

### Estrutura da enzima TMPRSS2

De acordo com o *Universal Protein Resource* "UniProtKB" database, a enzima TMPRSS2 é constituída por 492 aminoácidos. Contém um domínio transmembranar do tipo II; um domínio recetor LDL (do inglês *low-density lipoprotein*) classe A (LDLRA), aminoácidos 112-149, que contém um centro de coordenação para um ião  $\text{Ca}^{2+}$ ; um domínio recetor rico em cisteína (SRCR), aminoácidos 150-242, que está envolvido na ligação a outras moléculas na superfície celular ou no meio extracelular; um domínio de protease serina, aminoácidos 256-489, e um local de clivagem, aminoácidos 255-256, que o domínio protease serina tem de (auto)clivar para que a enzima se torne ativa. O domínio protease serina possui uma tríade catalítica essencial para a atividade proteolítica constituída pelos aminoácidos serina441, histidina296 e aspartato345, localizados numa cavidade que liga o substrato e denominada de centro ativo da enzima.

A região N-terminal da enzima encontra-se localizada no citoplasma e, junto a este, situa-se o domínio transmembranar hidrofóbico que pode interagir com componentes citoesqueléticos e moléculas de sinalização, podendo ser importante para o correto transporte intracelular do péptido. Já os domínios LDLRA, SRCR e o domínio protease serina localizam-se no espaço extracelular. Os domínios LDLRA e SRCR constituem um domínio denominado de haste, que pode participar em interações proteína-proteína. O domínio catalítico cliva recetores de membrana celular, fatores de crescimento, citocinas e componentes da matriz extracelular. Este domínio sofre autoclivagem, secreção no epitélio e interage com as

proteínas da superfície celular, a matriz extracelular e as proteínas das células vizinhas. Na FIGURA 1, pode-se observar um esquema ilustrativo da proteína TMPRSS2.

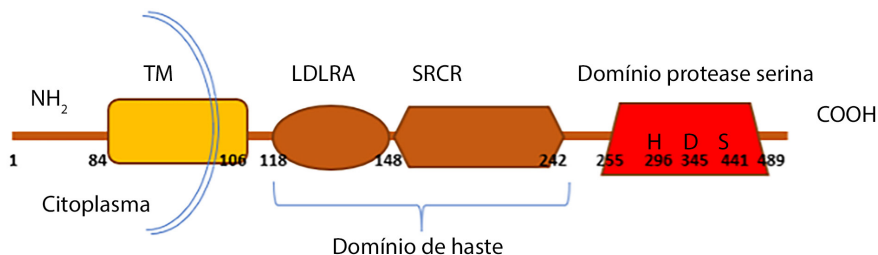


FIGURA 1. Esquema da proteína TMPRSS2 com 492 aminoácidos - TM é o domínio transmembranar, LDLRA é o domínio recetor LDL classe A, SRCR é o domínio recetor rico em cisteína. H, D e S são a tríade catalítica de aminoácidos His, Asp e Ser, essenciais para a atividade proteolítica.

Em termos de estrutura tridimensional, apenas a estrutura do domínio rico em cisteínas e domínio protease serina foram determinados na estrutura depositada na base de dados *Protein Data Bank*, com o código 7MEQ. A estrutura terciária destes domínios é constituída por hélices- $\alpha$ , folhas- $\beta$ , hélices 3.10, pontes- $\beta$ , ganchos (em inglês *turns*) e enrolamentos desordenados (em inglês *random coils*) (FIGURA 2A). Na FIGURA 2B), pode-se observar a representação de tais domínios.

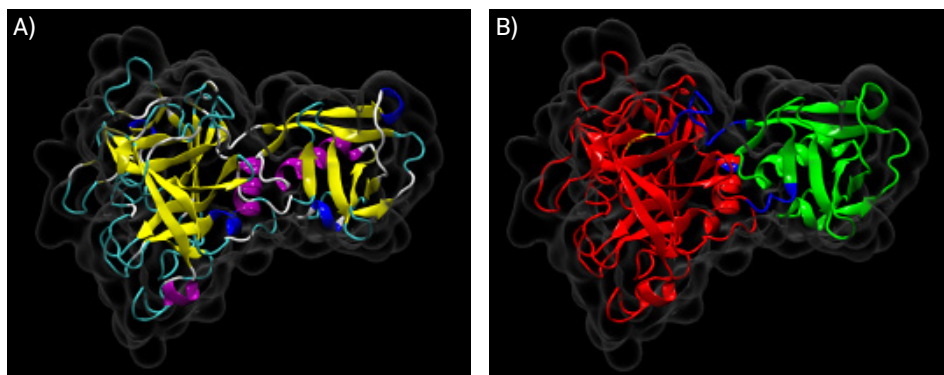


FIGURA 2. A) Representação da estrutura secundária dos domínios resolvidos da enzima TMPRSS2: hélices- $\alpha$  a roxo, folhas- $\beta$  a amarelo, hélices 3.10 a azul, pontes- $\beta$  a bronze, ganchos a ciano e enrolamentos desordenados a branco. B) Representação dos domínios protease serina e rico em cisteínas, e do local de clivagem para auto-ativação da enzima TMPRSS2. O domínio recetor rico em cisteína a verde, domínio protease serina a vermelho e local de clivagem para auto-ativação a amarelo. Os restantes resíduos encontram-se a azul.

A tríade catalítica (His296, Asp345 e Ser441) localiza-se no centro ativo com a Ser441 de um lado e a His296 e o Asp345 do outro lado da cavidade onde se liga o substrato, sendo esta importante no encaixe do aminoácido a clivar. Os resíduos Asp345, Gly462 e Gly472 criam nesta cavidade um local carregado negativamente e a combinação de Ser441,

Gly462 e Gly472 formam uma cavidade hidrofóbica profunda para acomodar aminoácidos hidrofóbicos do substrato. A cavidade oxianiónica característica das enzimas proteases serina é formada por Gly439 e Ser441. O local de ligação do substrato é formado pelos resíduos Ser460, Trp461 e Gly462, que se espera que formem uma folha antiparalela com a estrutura de base dos resíduos P1-P3 dos seus substratos. Na FIGURA 3A), é evidenciado o centro ativo da protease serina e os aminoácidos que formam a cavidade onde se liga a região clivável do substrato. Esta estrutura é estabilizada por cinco pontes dissulfureto, onde as pontes formadas por Cys172–Cys231 e Cys185–Cys241 encontram-se no domínio SRCR e as pontes formadas por Cys281–Cys297, Cys410–Cys426 e Cys437–Cys465 encontram-se no domínio protease serina, FIGURA 3B).

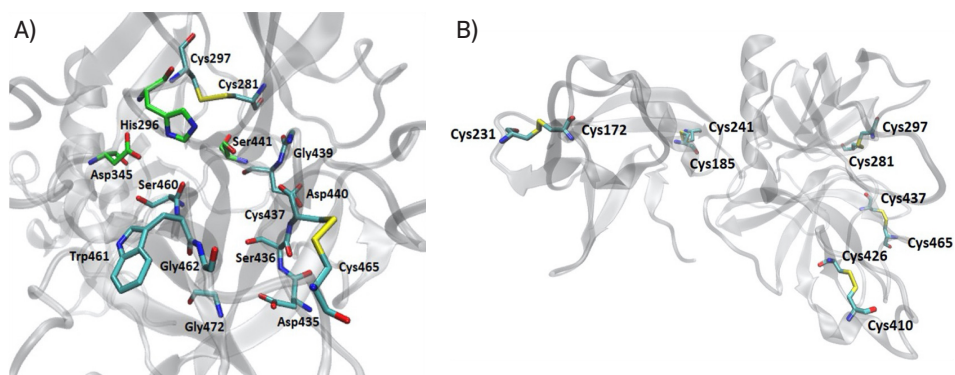


FIGURA 3. A) Centro ativo da protease serina mostrando a tríade catalítica (verde) e aminoácidos que formam a cavidade de que liga a região clivável do substrato (ciano) e as duas pontes dissulfureto Cys281-Cys297 e Cys437-Cys465 (amarelo). B) Representação das ligações dissulfureto (amarelo) que são responsáveis pela estabilização da estrutura da proteína.

## Função

Em termos de função, a enzima TMPRSS2 tem sido associada a processos fisiológicos e patológicos tais como digestão, remodelação de tecidos, coagulação do sangue, fertilidade, respostas inflamatórias, invasão de células tumorais, apoptose e dor. No entanto, a sua função específica permanece ainda desconhecida.

## Papel da enzima TMPRSS2 na infecção viral pelo SARS-CoV-2

Para que o vírus SARS-CoV-2 infete uma célula, a proteína de espícula (do inglês *spike*) necessita de se ligar a um recetor da célula hospedeira humana denominado ACE2 (do inglês *Angiotensin Converting Enzyme 2*). Após a ligação entre ambas, há a necessidade de ocorrer clivagem da proteína de espícula, por parte da enzima TMPRSS2, para que a fusão entre as membranas celulares viral e hospedeira tenha lugar (FIGURA 4). A clivagem da proteína de espícula expõe uma região denominada “péptido de fusão”, que permite a entrada viral. Este processo envolve uma mudança estrutural na proteína de

espícula. Após a entrada, o genoma viral, que tem a forma de RNAmensageiro, é liberado no citoplasma celular do hospedeiro. Estas alterações conformacionais e o processo de fusão requerem a ação de proteases celulares, cuja disponibilidade é uma etapa limitadora de velocidade na entrada do coronavírus. Em particular, as proteases serina transmembranares do tipo II são ancoradas nas membranas citoplasmáticas e a enzima TMPRSS2 é uma delas. A protease pulmonar TMPRSS2 cliva a proteína de espícula em múltiplos locais, para que a fusão entre as membranas celulares viral e hospedeira possa ocorrer. Este evento provoca a diminuição da sensibilidade viral à inibição através da neutralização de anticorpos, ou seja, conferindo resistência ao processo.

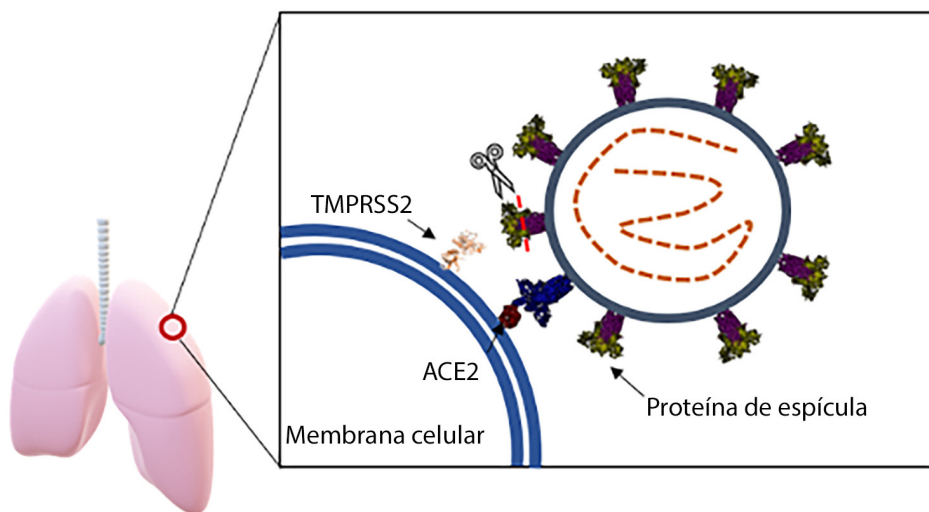


FIGURA 4. Processo de infecção viral através da interação das proteínas de espícula do vírus SARS-CoV-2 com as proteínas TMPRSS2 e ACE2, evidenciando a clivagem da proteína de espícula pela TMPRSS2 e a sua interação com ACE2, nos pulmões.

Como a enzima TMPRSS2 subsiste dentro e fora do pulmão, pode contribuir para a propagação extrapulmonar do vírus, o que justifica uma maior exploração desta enzima como um potencial alvo para limitar a propagação viral e, conseqüentemente, a infecciosidade. De facto, já foram realizados testes *in vitro* e *in silico* que demonstraram que a inibição da TMPRSS2 diminui a infecção da célula hospedeira, e por isso, a comunidade científica tem insistido na procura e desenvolvimento de inibidores para esta enzima para que estes possam ser administrados em humanos. Assim, será possível combater a infecção pelo vírus SARS-CoV-2 de forma eficaz.

---

# Infertilidade

Ana Margarida Aleixo\* e Vasco Almeida †

\* CIIMAR/ Universidade do Porto

† DB/ FCUP

**A infertilidade, definida como dificuldade em obter uma gravidez clínica após 12 meses de relações sexuais regulares e desprotegidas, afeta, em todo o mundo, cerca de 15% dos casais em idade fértil. Muitos fatores contribuem para este quadro, podendo ser exclusivamente femininos, exclusivamente masculinos, estar presentes nos dois membros do casal ou, numa significativa percentagem de situações, ser de causas desconhecidas.**

A capacidade de engravidar e gerar um filho são acontecimentos extremamente importantes na vida de muitas pessoas, fortemente associados aos objetivos de alcançar uma vida plena, feliz e socialmente integrada. Contudo, estima-se que 10 a 15% dos casais em idade fértil não consigam alcançar este objetivo, revelando, portanto, problemas de infertilidade. Esta dificuldade em ter filhos afeta pessoas em todo o mundo, causando grande sofrimento emocional e psicológico. Pode levar a estados de angústia e depressão, discriminação e ostracismo, precisamente porque a pessoa não consegue alcançar este tão ambicionado projeto de vida.

A Organização Mundial de Saúde (OMS) e a Comissão Internacional para a Monitorização da Reprodução Medicamente Assistida (ICMART – *International Committee for Monitoring Assisted Reproductive Technology*) reconhecem a infertilidade como “uma doença do sistema reprodutivo definida pela falha em obter uma gravidez clínica após 12 meses ou mais de relações sexuais regulares e desprotegidas”. Considera-se que a infertilidade é primária quando não houve uma gravidez prévia e secundária quando um dos membros do casal já conseguiu uma gravidez, mesmo que tenha sido ectópica ou que tenha resultado em aborto.

A infertilidade sempre foi vista como estigmatizante. Contudo, no passado, era considerada uma fatalidade biológica, um “castigo dos deuses” e, portanto, algo impossível de ultrapassar. Atualmente, muitas pessoas recusam essa situação, uma vez que as técnicas de reprodução humana assistida permitem, com frequência, inverter a dificuldade em engravidar, permitindo a realização do objetivo de ter filhos. Estudos recentes mostram que 1 em cada 50 crianças que nascem na Europa são resultado deste tipo de tratamentos, mas esta é uma forma difícil e dispendiosa de ultrapassar os efeitos da infertilidade. Idealmente, cada pessoa deve ter consciência dos seus fatores de risco e adotar estilos de vida que favoreçam a sua possibilidade de, agora ou no futuro, gerar um filho.



Muitos fatores contribuem para um quadro de infertilidade, incluindo fisiológicos, genéticos, ambientais e sociais.

Historicamente, a infertilidade começou por ser tratada como um assunto exclusivamente feminino. Ainda hoje somos reféns dessa herança cultural e esse facto nota-se na quantidade muito menor de estudos científicos que abordam a perspectiva masculina do problema. Só na segunda metade do século XX, com o aparecimento da especialidade médica em andrologia, é que a comunidade científica começou a dar a devida importância ao papel do homem na reprodução e, portanto, ao seu contributo para a problemática da infertilidade de um casal.

As percentagens relativas a cada fator de infertilidade não são concensuais mas, de forma geral, pode considerar-se uma diversidade de causas exclusivamente masculinas, causas exclusivamente femininas, conjugação de fatores relacionados com os dois membros do casal ou até mesmo causas inexplicadas. O aumento dos estudos científicos e o avanço dos meios de diagnóstico tem permitido uma clarificação cada vez maior das causas de infertilidade, aumentando a percentagem de causas atribuídas ao parceiro masculino e diminuindo as causas inexplicadas. Atualmente estima-se que o fator masculino contribui para a infertilidade em 30-40% dos diagnósticos e é a única causa em mais de 20% dos casos.

Um dos fatores mais determinantes da fertilidade de um casal e, portanto, dos que mais influencia a taxa de sucesso de qualquer técnica de reprodução humana assistida, é a idade da mulher: entre os 30 e os 35 anos há uma diminuição da fertilidade para metade e entre os 35 e os 40 anos, a mulher sofre uma diminuição para um terço da fertilidade inicial. Este fator é tão importante que, no caso da mulher ter idade superior a 35 anos, o processo de avaliação e tratamento é iniciado após um período de apenas 6 meses de relações sexuais regulares e desprotegidas, sem que daí tenha resultado uma gravidez.

Adiar o projeto de ter filhos é uma atitude característica das sociedades atuais mas essa opção tem consequências graves: da parte da mulher ocorre uma diminuição drástica da quantidade e da qualidade dos ovócitos. Desta forma, é profundamente afetada a capacidade de engravidar de forma natural, mas também é comprometida a taxa de sucesso de qualquer técnica de reprodução humana assistida e a mulher vê agravadas as complicações obstétricas associadas a uma gravidez de idade mais avançada.

Relativamente à influência da idade masculina, esta tem efeitos mais tardios mas, obviamente, que não são de desprezar. Está relacionada essencialmente com a diminuição da qualidade seminal (redução dos parâmetros do espermograma – volume, contagem, morfologia e mobilidade dos espermatozoides) e da integridade genética dos gâmetas masculinos, juntamente com alterações da função sexual.

Dentro dos fatores exclusivamente femininos, um que se revela bastante preocupante é a endometriose. Estima-se que cerca de 6 a 10% das mulheres em idade fértil sofrem deste problema, que pode ser causador de infertilidade. A endometriose é uma doença caracteri-

zada pelo desenvolvimento de tecido endometrial fora do útero, provocando a formação de lesões que, por sua vez, induzem uma reação inflamatória crônica.

Se, entre mulheres saudáveis, a taxa de fecundidade mensal é de 15 a 20% (diminuindo com a idade avançada), esta pode ser reduzida para valores entre os 2 e os 10% em mulheres com endometriose. O tratamento das lesões de endometriose pode fazer-se de forma medicamentosa ou por cirurgia, mas acarreta sempre dificuldades na capacidade de engravidar. Por um lado, quase todos os medicamentos usados (exceto os analgésicos, para atenuar as dores causadas pela inflamação) têm efeitos contraceptivos, pelo que não podem ser usados, obviamente, por mulheres que pretendem ter filhos. Por outro lado, o tratamento cirúrgico pode diminuir ainda mais a produção de gâmetas que, já de si, tende a ser baixa.

O peso excessivo ou abaixo de valores recomendados influencia de forma inequívoca a fertilidade, uma vez que provoca alterações hormonais e metabólicas quer nos homens, quer nas mulheres. Gâmetas, embriões e útero parecem ser afetados negativamente pelo ambiente hormonal e metabólico anormal presente em homens e mulheres obesos.

Especialmente prevalente em países desenvolvidos, a obesidade afeta um número crescente de mulheres em idade fértil, prejudicando gravemente a possibilidade de gerar um filho de forma natural, aumentando os riscos na gravidez e contribuindo para a ineficácia de tratamentos de reprodução humana assistida. Quando recorrem a esses tratamentos, mulheres obesas ou com excesso de peso necessitam de doses mais altas de gonadotrofinas (hormonas administradas para induzir o funcionamento dos ovários), períodos mais longos de estimulação ovárica e têm uma maior taxa de ciclos cancelados.

Por outro lado, alguns estudos recentes que incluem populações férteis jovens relataram uma alteração significativa no padrão hormonal masculino de homens obesos, levando a uma redução significativa em alguns parâmetros, como a concentração e contagem total de espermatozoides, e uma tendência para uma morfologia prejudicada destas células sexuais. Portanto, os casais correm um alto risco de infertilidade se ambos forem obesos. Atendendo ao facto de que os casais partilham, muitas vezes, comportamentos de estilo de vida semelhantes, é comum que algumas mulheres obesas tenham parceiros masculinos obesos, levando a um mau resultado reprodutivo desses casais, que pode ser o resultado da combinação de dois gâmetas de baixa qualidade, um embrião de baixa qualidade, que, por sua vez, pode chegar a um endométrio de baixa qualidade também.

É consensual a percepção de que estilos de vida que incluem o consumo de tabaco, álcool, cafeína, drogas e estupefacientes estão associados a malefícios diversos no organismo humano. Do mesmo modo, a exposição a agentes poluentes, por motivos profissionais ou do ambiente em geral, implica que homens e mulheres estejam sujeitos a ação de compostos químicos indutores de problemas de saúde. Incontornavelmente, esses efeitos terão repercussões também ao nível da saúde reprodutiva, tais como: disfunções ovulatórias, falência ovárica prematura, redução da qualidade espermática, alterações fisiológicas dos órgãos reprodu-

tores, riscos de abortamento ou nascimento prematuro, mal formações no feto, entre outros.

Cada pessoa tem direito a decidir sobre os seus projetos de parentalidade: se pretende ou não ter filhos, quantos e quando. Para que esta decisão seja esclarecida, é fundamental que todos tenham consciência dos fatores que poderão tornar esse projeto mais fácil ou mais difícil de alcançar. A infertilidade é, como se depreende, um problema complexo, com grande impacto na vida de muitos casais. A inversão dos fatores de infertilidade é extremamente difícil, levando a que cada vez mais se recorra a técnicas de reprodução humana assistida. Contudo, estas técnicas, por muito promissoras que se apresentem, não conseguem dar uma resposta satisfatória em todos os casos. Torna-se, assim, muito importante que a população em idade fértil tenha informação sobre os fatores intrínsecos e ambientais que contribuem para a consecução desse objetivo de gerar um filho.

---

# Talassoterapia

Celso de Sousa Figueiredo Gomes

Universidade de Aveiro

Tal como o Termalismo a Talassoterapia é outra importante atividade económica do âmbito da Hidrologia Médica e que, por definição, consiste no “Uso da água do mar, de produtos do mar (areia, lama, sal, algas) e, ainda, o clima e aerossóis do litoral marítimo como forma de terapia”. Porém, a definição atual de Talassoterapia é ainda mais precisa, porque considera: “O uso combinado com fins preventivos e terapêuticos da água do mar e de produtos derivados do mar, sob aconselhamento e supervisão médica, no interior de espaços adequados e equipados para o efeito, os Centros de Talassoterapia localizados cerca do mar”. Publicações recentes sobre Talassoterapia referem os antecedentes históricos do uso da água do mar com propósitos terapêuticos, os conceitos, as propriedades físicas e químicas da água do mar e dos produtos dela derivados (areia, lama, algas, sal e aerossóis). O conceito holístico de Talassoterapia contempla também o exercício físico controlado e a reeducação alimentar.

A Talassoterapia insere-se na área científica e técnica da Hidrologia Médica, competência do amplo campo da Medicina. Assim, apenas os médicos, de preferência aqueles com essa especialização, devem ser responsáveis pelos *spas* onde se pratica a Talassoterapia, e também devem estar envolvidos no acompanhamento do estado de saúde dos pacientes considerando potenciais contraindicações, e na prescrição e supervisão do método de aplicação do tratamento.

Dá-se o nome de Talassoterapia, palavra que deriva da palavra grega *Thalassos* que significa mar e da palavra *terapia* que significa tratamento, à aplicação terapêutica ou cosmética da água do mar, ou à aplicação de produtos derivados da água do mar ou com esta relacionados, tais como: areia, algas, lamas, clima marítimo, etc..

França foi o país pioneiro da talassoterapia científica, tendo o primeiro balneário, onde a água do mar era utilizada em cuidados de saúde, sido estabelecido em Dieppe.

O termo Talassoterapia é atribuído ao Dr. De la Bonnardière, em 1867, pelo uso medicinal da água do mar numa Estância ou *Resort*, em Arcachon, França. Mais tarde, em 1899, o Dr. Louis Bagot criou o primeiro Centro de Talassoterapia, em Roscoff, em França.

Também, foi ao biólogo francês René Quinton, em 1904, que se deveu a identidade orgânica entre a água do mar e o plasma do sangue do homem.

Gregos e Romanos veneravam Neptuno e Poseidon, respetivamente, como os deuses dos mares. Já Eurípidés (480 — 406 a.C.), poeta Grego, dizia: "*O mar cura todas as doenças do homem*". Ainda na Grécia antiga, Hipócrates (460 — 370 a.C.) considerado o pai da Medicina, prescrevia tratamentos que utilizavam a água do mar, quer sob a forma de ingestão, quer sob a forma de aplicações externas (banhos a abluções). Também, Polybius (205 — 120 b.C.), escritor Grego, dizia: "*Tudo no mar é benéfico, foi a origem do ser humano e continua a cuidar da sua saúde*".

### Propriedades físicas, químicas e microbiológicas da água do mar

A composição química da água do mar é quase semelhante à composição química do plasma sanguíneo, se bem que a concentração de sais minerais na água do mar, 32 g/l, seja cerca de três vezes superior à concentração de 9 g/l existente no plasma.

Existem produtos, como é o caso de *sprays* nasais utilizados em certos cuidados de saúde e comercializados sob a marca *Rhinomer*<sup>®</sup>, que são compostos de água do mar devidamente esterilizada após diluição para reduzir o teor salino até 9 g/l de NaCl, *i.e.*, água de mar isotónica. Para o efeito, a um dado volume de água do mar é adicionado um volume duplo de água destilada.

O chamado plasma *Quinton*<sup>®</sup> é preparado do mesmo modo, se bem que a água do mar seja esterilizada. É sabido que a água do mar isotonicada pode substituir o plasma sanguíneo e curar ou melhorar certos problemas de saúde.

O nosso nariz atua como um filtro protetor dos cerca de 10.000 l/dia de ar que inspiramos, ar que contém várias impurezas que causam irritações nasais e fazem aumentar a secreção da mucosa nasal.

O mar é de facto uma fonte infalível de saúde e bem-estar. A água do mar é a água mineral mais rica porque contém os 92 elementos químicos naturais ou minerais constantes da Tabela Periódica, para além de aminoácidos e vitaminas.

O cloreto de sódio (NaCl) é o componente fundamental da água do mar representando cerca de 80% do total de sais nela dissolvidos, sendo os restantes sais sulfatos, bicarbonatos, brometos, fluoretos e silicatos.

Ca, Mg, K, Br, B, F, Si e mais 79 oligoelementos estão presentes na água do mar, assim como todos os gases presentes na atmosfera sendo os mais abundantes, o azoto, o oxigénio e o gás carbónico.

Pode dizer-se que a água do mar tem composição, em termos de concentração de sais minerais e oligoelementos, quase idêntica à composição do plasma sanguíneo humano.

A temperatura da água do mar varia desde -4°C, no Ártico, até 30°C, nas zonas tropicais, e a densidade da água do mar varia desde 1,028 g/l até 1,032 g/l.

Em termos práticos está reconhecido que as práticas de Talassoterapia, quando a água do mar é aplicada por via externa, particularmente através de efeitos térmicos e mecânicos, estimulam a circulação sanguínea, asseguram o relaxamento muscular e reduzem o stress, tendo também efeitos analgésico e anti-inflamatório.

Mas, a água do mar pode ser administrada também por via interna, ingerida ou nebulizada, tal com acontece com a água natural mineral utilizada para fins terapêuticos nos balneários das Estâncias Termais.

Estudos efetuados por cientistas dos EUA evidenciaram que a aplicação de aerossóis de água do mar rica em sais minerais (cloreto de sódio e vários outros sais) ou de soluções hipertónicas tem efeitos positivos na doença denominada fibrose cística que afeta os pulmões, é hereditária e é causadora de mortalidade.

A FIGURA 1 evidencia a participação, em termos ponderais relativos, dos seis elementos químicos ou sais minerais mais abundantes que, na forma iónica, estão presentes num quilograma de água do mar.

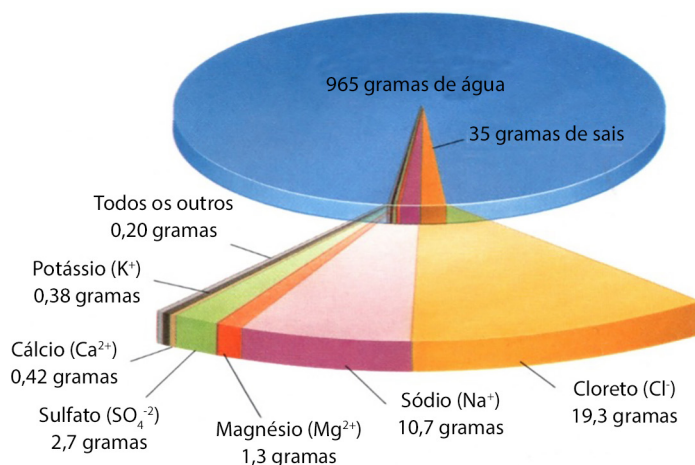


FIGURA 1. Pesos (em gramas) da água e dos principais minerais dissolvidos existentes num quilograma de água do mar.

A composição química da água de mares e oceanos não é uniforme, variando dentro de limites estreitos, função da geologia e do clima prevalente no mar de determinada região. Por exemplo, foram reconhecidas diferenças, em termos dos parâmetros químicos e físico-químicos, entre a água do Oceano Atlântico colhida em frente à praia da ilha do Porto Santo (Arquipélago da Madeira) e a água Oceânica de Referência.

Importa insistir que a composição química do plasma sanguíneo do Homem e a composição química da água do mar são muito semelhantes.

A segurança e o controle sanitário, seja ou microbiológico ou geoquímico, devido à eventual patogenidade e toxicidade existentes nos produtos do mar empregados por se considerar terem efeitos curativos são requisitos importantes. Elementos potencialmente tó-

xicos, incluindo metais pesados, e microrganismos potencialmente patogénicos, bactérias e fungos, podem estar presentes em tais produtos.

A Talassoterapia pressupõe a utilização da água do mar com todas as suas potenciais propriedades terapêuticas. A captura e a filtração não devem eliminar o plâncton e deve-se garantir que o local de captação esteja livre de poluição.

A TABELA 1 mostra os limites microbiológicos propostos pela ESPA (*European Spas Association*) para a água do mar utilizada em Talassoterapia.

TABELA 1. Parâmetros microbiológicos propostos pela ESPA para a água do mar utilizada em Talassoterapia.

Uso da água do mar	Germes	Limites
Ponto de Extração	Total de coliformes <i>E. coli</i> <i>Faecal streptococci</i> <i>Samonella</i> <i>Enteroviruses</i>	<= 500/100ml <= 100/100ml <=100/100ml 0/1L 0/10L
Duche/Banheira	Número de colónias a 20°C (após 44±4h (max.100/ml) Número de colónias a 37°C (após 20±4h (max. 100/ml) Total coliformes <i>E. coli</i> <i>Faecal streptococci</i> <i>Staphylococcus aureus</i> <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	100/ml 100/ml <=50/100ml <=10/100ml <=10/ml 0/10ml 0/100ml
Ingestão	Número de colónias a 20°C (após 44±4h (max.100/ml) Número de colónias a 37°C (após 20±4h (max. 100/ml) Total de coliformes <i>E. coli</i> <i>Faecal streptococci</i> <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	100/ml 100/ml 0/100ml 0/100ml 0/100ml 0/100ml
Inalação/Irrigação	Colony count at 20°C (after 44±4h (max.100/ml) Colony count at 37°C (after 20±4h (max. 100/ml) Total de coliformes <i>E. coli</i> <i>Faecal streptococci</i> <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	0/ml 0/ml 0/100ml 0/100ml 0/100ml 0/100ml

### Centros de Talassoterapia em Portugal

Os Centros de Talassoterapia devem ficar situados junto ao mar ou do oceano, uma vez que a água do mar ou do oceano e os produtos derivados da água não podem ser embalados e transportados para grandes distâncias sem perderem qualidade.

Em Portugal há 5 Centros de Talassoterapia ou Centros-Talasso: Thalasso Costa da Caparica, na Costa da Caparica, Almada; Talassoterapia & Spa de Vilalara, em Lagoa, Algarve; Thalgo Prainha, na Praia dos Três Irmãos, Portimão, Algarve; Barra Talasso, S.A., na Nazaré; e Baleira Thalasso & Spa, no Cabeço da Ponta, na ilha do Porto Santo, arquipélago da Madeira.

É facto que Portugal não está tirando vantagem das potencialidades que a Talassoterapia representa. A linha de costa portuguesa tem uma extensão estimada em 1792 km, valor para o qual contribuem com 960 km as linhas de costa das ilhas dos arquipélagos da Madeira e dos Açores.

A linha de costa Atlântica de Portugal continental está estimada em 832 km, existindo no litoral agregados populacionais de dimensão variada, paisagem natural bem conservada e de rara beleza, e boas acessibilidades, tudo condições privilegiadas para a instalação de Centros-Talasso em número significativamente superior ao que hoje existe.

A Talassoterapia requer ser bem divulgada e praticada. Presentemente, em Portugal a economia do mar representa cerca de 3% do PIB, valor que se espera ver significativamente aumentado em futuro próximo.

A Talassoterapia pode ser praticada em dois tipos de estabelecimentos: Centros-Talasso ou Centros de Talassoterapia e spa-Talasso, os últimos integrados em unidades hoteleiras.

Uma referência ao número de estabelecimentos dedicados à Talassoterapia, a nível mundial: França, 60; Espanha, 57; Tunísia, 40, Itália, 27; Turquia, 12; Roménia 11; EUA, 10.

### **Benefícios da Talassoterapia para a Saúde**

Os benefícios para a saúde humana da Talassoterapia resultam dos minerais, quer dissolvidos na água do mar, quer participantes da composição de areias, lamas e aerossóis marinhos.

Os tratamentos de Talassoterapia são indicados, principalmente, para doenças do sistema respiratório (asma, rinite e sinusite), doenças alérgicas da pele (eczema, acne e psoríase), doenças reumáticas e musculoesqueléticas (artrose, artrite, ciática e pós-traumática); os tratamentos são contraindicados nos casos seguintes: problemas cardíacos severos, hipertensão muito alta, flebite, lesões dérmicas ulceradas ou infetadas e neoplasias.

O uso individual para fins preventivos e terapêuticos e sob aconselhamento e supervisão médica de qualquer dos produtos do mar antes referidos não deve ser chamado Talassoterapia, a não ser que tenha lugar no interior das instalações do Centro de Talassoterapia onde o uso da água do mar é, necessariamente, também praticado.



---

# Serpentes venenosas e acidentes ofídicos

Luis M. P. Cerfáco<sup>\*†</sup>, Mariana P. Marques<sup>†‡</sup>

<sup>\*</sup> MHNC/ Universidade do Porto

<sup>†</sup> MUHNAC/ Universidade de Lisboa

<sup>‡</sup> CIBIO/ InBIO/ Universidade do Porto

As serpentes venenosas são uma preocupação diária para milhares de pessoas em todo o mundo. De acordo com a Organização Mundial de Saúde (OMS) os acidentes causados pela mordida de serpentes venenosas, também conhecidos por acidentes ofídicos, são um dos mais negligenciados e dos mais severos problemas de saúde pública que afetam as comunidades das regiões onde estes animais ocorrem (FIGURA 1).

Este reconhecimento levou a que muito recentemente, em 2017, a OMS tenha classificado o envenenamento por mordida de serpente como uma Doença Tropical Negligenciada de Categoria A, a mais alta e severa das categorias usadas para classificar este tipo de doenças.



FIGURA 1. Exemplar de Surucucu, *Bitis arietans*, de Angola.

Uma estimativa realizada em 2016 refere que os envenenamentos por mordida de serpente afetam mundialmente mais pessoas do que outras doenças tropicais negligenciadas tais como a leishmaniose visceral, a lepra, a bouba, a doença das chagas, a doença do sono e a úlcera de Buruli juntas. Para além dos acidentes fatais, muitos dos casos de mordida por serpente venenosa resultam em casos de incapacidade ou desfiguração permanente das vítimas, tornando-as também num problema de carácter humanitário.

Esta situação é tão mais grave, tendo em conta que a maior prevalência e risco de acidentes do género são as áreas rurais mais pobres, tendo a OMS estimado que cerca de 20 a 40% das vítimas deste tipo de acidentes em África sejam crianças, seguido por trabalhadores rurais e agricultores (FIGURA 2).



FIGURA 2. Muitos dos acidentes ofídicos ocorrem durante atividades agrícolas.

### **Serpentes venenosas: quem são e como “funcionam”?**

As serpentes são animais vertebrados pertencente à Ordem Squamata, que significa “animais com escamas”. Esta ordem é uma das quatro ordens que atualmente compõem a Classe Reptilia (ou dos répteis). Todos os répteis apresentam características em comum que os definem: são todos animais vertebrados tetrápodes (possuem um esqueleto típico de um animal com quatro patas), poiquilotérmicos (não conseguem regular a sua temperatura interna autonomamente, o que leva a que sejam vulgarmente apelidados de animais de “sangue frio”), pele seca e sem glândulas mucosas, e amniotas (apresentam embriões protegidos por uma membrana amniótica). As serpentes, dentro dos Squamata, são aquelas que mais se distinguem morfologicamente, nomeadamente pela ausência de membros. Atualmente são conhecidas mais de 3700 espécies de serpentes em todo o mundo. Estas estão divididas por 39 famílias e quase 540 géneros, o que representa uma diversidade incrível em termos de formas, cores, dimensões, comportamentos e estratégias de vida. As serpentes ocupam vários diferentes nichos ecológicos nas diferentes regiões onde ocorrem.

No entanto certas características ecológicas são transversais a todas as espécies. Todas as serpentes são carnívoras, e conseqüentemente predadoras, alimentando-se de uma grande diversidade de presas – ovos, insetos e outros invertebrados, pequenos mamíferos, outros répteis (incluindo serpentes), aves, peixes, e até mesmo mamíferos de médio porte –, não se conhece nenhum tipo de serpente herbívora. O crânio das serpentes, e nomeadamente as suas mandíbulas, são constituídos por vários ossos articulados, o que lhes permite abrir a boca de forma bastante considerável, o que ajuda a serpente a engolir presas de dimensões por vezes maiores que a própria serpente inteira.

Devido à sua condição poiquilotérmica as serpentes são bastante dependentes da temperatura exterior e necessitam de regular a sua temperatura aquecendo-se. Em alturas e regiões em que as temperaturas baixem consideravelmente no Inverno, muitas espécies de serpentes hibernam em abrigos até ao início da Primavera. Os dias imediatamente antes de iniciarem a hibernação as serpentes estão particularmente ativas na obtenção de presas que lhes permitem aguentar o período de inatividade. Outro período de especial atividade das serpentes são as alturas de reprodução. Nestas alturas muitas espécies dão início ao seu período de reprodução, sendo comum encontrar-se serpentes em pleno ato reprodutivo, sendo também possível observar-se combate entre machos. Após fertilizada a fêmea segue-se um período de gestação que varia de espécie para espécie. Finda a gestação as serpentes ou colocam ovos ou dão à luz diretamente, dependendo da espécie a que pertencem. O número de crias é também variável de espécie para espécie.

No que toca aos seus sentidos, as serpentes usam principalmente dois sentidos, a visão e o olfato. Visto não terem ouvidos, as serpentes são incapazes de ouvir sons, sendo, no entanto, capazes de sentir as vibrações do terreno envolvente. No que toca a visão, a acuidade visual das serpentes é bastante elevada, sendo capazes de apreender e reconhecer a sua envolvente com considerável grau de detalhe. No entanto a visão das serpentes parece estar mais adaptada a apreender objetos móveis, tal como uma presa ou um potencial predador, tendendo a perder a perceção dos mesmos se estes tiveram parados.

Contrariamente aos humanos e demais mamíferos, as serpentes não captam os odores através das narinas, mas sim através da língua. Estes odores vão desde o odor a presas, químicos ou às hormonas lançadas por outras serpentes durante a época de reprodução. A língua das serpentes apresenta recetores químicos que captam as partículas presentes no ar envolvente, fazendo-as transportar para um órgão especial que possuem no topo da boca, denominado de órgão de Jacobson.

As serpentes podem ser classificadas em três tipos principais quanto à sua dentição: aquelas que não apresentam presas injetoras de veneno (Aglifas); as que apresentam presas injetoras de veneno na parte traseira (posterior) da boca (Opistóglifas); e as que apresentam presas injetoras de veneno na parte frontal (anterior) da boca (Proteroglifas e Solenoglifas).

De entre as Opistóglifas determinadas espécies (género *Atractaspis*) apresentam uma

modificação que lhes permite rodar as presas injetoras de veneno, fazendo com que estas se estendam para fora da boca em diferentes ângulos, mesmo que o animal tenha a boca fechada, o que torna impossível manusear esta espécie de forma segura.

Algumas serpentes Proteróglifas apresentam presas injetoras de venenos especializadas, que em conjunto com a musculatura da mandíbula superior, permitem que a serpente “cuspa” o veneno a grande distância e com uma impressionante precisão. Estas serpentes, conhecidas como Cobras-Cuspideiras (género *Naja*), são particularmente perigosas para o ser humano. Ao atingir os olhos da vítima, o veneno provoca ardor intenso e cegueira temporária.

Algumas serpentes produzem veneno, que usam maioritariamente durante a predação, mas que em casos de agressão por parte de um adversário (seres humanos incluídos) podem ser usados como arma de proteção. Estes venenos são produzidos em glândulas especializadas presentes na boca da serpente. Algumas espécies apresentam glândulas de veneno extremamente longas, estendendo-se internamente desde a boca até uma considerável parte do corpo da mesma. Estas glândulas estão ligadas a dentes especializados na injeção de veneno (FIGURA 3).

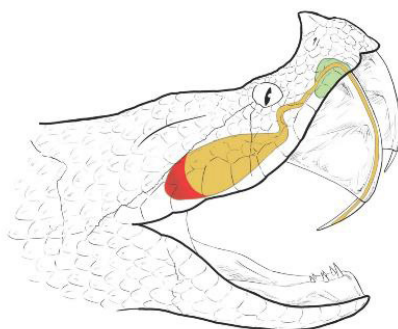


FIGURA 3. As glândulas de veneno conectam-se diretamente aos dentes injetores.

As serpentes são também capazes de controlar a quantidade de veneno que injetam em cada mordida, pelo que os efeitos do veneno podem variar de caso para caso. Muitas vezes em caso de defesa as serpentes são capazes de infligir “mordidas secas”, isto é, mordidas em que nenhuma quantidade de veneno chega a ser injetada. Esta é uma forma da serpente assustar o seu adversário, mas poupar o precioso veneno de que precisa para a predação.

De acordo com a sua composição química e efeitos na vítima, o veneno das serpentes pode ser classificado em três tipos principais: Citotóxico, Hemotóxico e Neurotóxico. O veneno citotóxico afeta diretamente as células e tecidos, podendo provocar necroses, o hemotóxico afeta a capacidade coagulatória do sangue provocando hemorragias dos tecidos moles e hemorragias internas, enquanto o neurotóxico afeta o sistema nervoso central, o que em casos graves e sem tratamento médico imediato acabam por afetar a capacidade respiratória e levar à morte do paciente. Cada espécie possui um veneno específico e mesmo dentro da mesma

espécie podem existir variações relativamente à sua concentração, composição e potência. Para mais, algumas espécies apresentam uma espécie de combinação destas três classes de veneno, em que embora um seja mais concentrado, o outro tipo também está presente.

### Um número crescente de espécies de serpentes venenosas

Muitas das espécies de serpentes venenosas são insuficientemente conhecidas pelos biólogos. Para uma grande maioria das espécies atualmente descritas, pouco se sabe sobre a distribuição geográfica, ecologia e história natural, ou a composição dos venenos e a sua respetiva sintomatologia. Anualmente são descritas várias novas espécies de serpentes venenosas por todo o mundo, incluindo em grupos icónicos e medicamente relevantes. Só desde o início de 2020 foram descritas uma centena de novas espécies de serpentes por todo o mundo, e até ao fim do ano é provável que este número ainda possa crescer. Destas 100, um considerável número são espécies venenosas com venenos suficientemente potentes para afetar o ser humano. Só em 2021 foram descritas várias novas espécies de serpentes venenosas, onde se incluem uma nova espécie de Jararaca, género *Bothrops* Wagler, 1824, do estado do Amapá, Brasil, duas novas espécies de víboras do género *Gloydius* Hoge & Romano-Hoge, 1981, dos planaltos de Qinghai-Tibete na China e uma nova espécie de Krait (Elapídeo, género *Bungarus* Daudin, 1803) do sudoeste da China e norte do Myanmar. Mas para além de destas novas descrições, vários estudos de revisão taxonómica têm vindo a demonstrar que mesmo em espécies “famosas” e aparentemente bem conhecidas, há ainda muito por descobrir. É disso exemplo a recente estudo sobre a taxonomia Cobra-Real, *Ophiophagus hannah* (Cantor, 1836), que com recurso a uma extensa análise molecular, concluiu que o que se assumia ser apenas uma espécie, são de facto quatro espécies diferentes. Em 2018, um outro estudo de revisão sobre o subgénero *Boulengerina* (Elapidae: *Naja*), concluía que aquilo que até pouco tempo atrás se assumia como apenas uma espécie, a Cobra-da-Floresta-Africana, *Naja (Boulengerina) melanoleuca*, eram afinal cinco espécies diferentes. Destas cinco, uma delas haverá sido descrita como nova para a ciência em 2017 pelos dois autores deste artigo – a Cobra-Preta de São Tomé, *Naja (Boulengerina) peroescobari* Ceriaco, Marques, Schmitz & Bauer, 2017.

---

# MHETase

## Uma Enzima Fundamental para a Biodegradação do Plástico

Catarina Ferreira, Pedro A.Fernandes, Maria João Ramos

Universidade do Porto

A poluição provocada pelo uso exagerado de plástico, mais concretamente do PET (polietileno de tereftalato), é um dos problemas ambientais mais importantes nos dias de hoje, afetando o mundo inteiro. Vários estudos foram realizados para contornar este problema, tendo sido obtidos resultados inovadores através do isolamento de uma bactéria denominada *Ideionella sakaiensis* que, na presença de PET, secreta duas enzimas hidrolases, a PETase e a MHETase, que revertem o PET aos monómeros a partir dos quais ele foi fabricado. Estas duas enzimas revelaram-se extraordinariamente importantes para a biodegradação do PET. Neste artigo analisa-se a estrutura de uma delas — a MHETase.

Os plásticos, devido às suas extraordinárias características como leveza, preço baixo, fácil e rápida produção, impermeabilidade, maleabilidade e transparência, tornaram-se uma parte integral da vida do ser humano e têm sido usados de uma forma crescente, em inúmeras áreas, tais como o fabrico de embalagens e na indústria têxtil. Contudo, os plásticos têm uma elevada resistência à degradação devido à ausência ou baixa atividade das enzimas catabólicas dos microorganismos que os poderiam degradar e, por isso, permanecem durante quatro-cinco séculos nos diversos ecossistemas — se o autor da grande obra *Lusíadas*, Luís de Camões, tivesse lançado uma garrafa de PET ao mar, ela ainda estaria presente a flutuar nos dias de hoje! Desta forma, cria-se assim o problema da poluição dos plásticos. Neste trabalho, considera-se um plástico sintético particular, o PET (polietileno de tereftalato), um dos termoplásticos mais utilizados, devido às suas extraordinárias características mecânicas, térmicas, elétricas e químicas. Este plástico é sintetizado pela policondensação de ácido tereftálico (TPA) e etilenoglicol (EG), ambos derivados do petróleo bruto. Esta reação tem lugar conforme evidenciado na FIGURA 1. É de notar que “n”, nessa reação indica a presença de um polímero, ou seja são necessários n monómeros para obtenção do polímero PET.

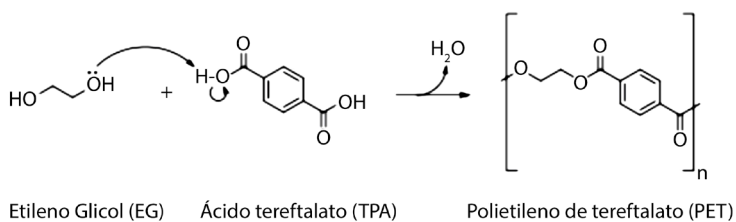


FIGURA 1. Reação de síntese do PET.

Obtém-se assim um polímero que cristaliza, devido à sua estabilidade química e estrutural, podendo encontrar-se num estado amorfo ou cristalino. As garrafas constituídas por este tipo de plástico possuem alta cristalinidade, o que traduz uma dificuldade acrescida das enzimas para o biodegradar, pois o material apresenta cadeias poliméricas mais paralelas e compactamente organizadas.

A biodegradação do PET é uma potencial estratégia para contornar o problema da poluição causada pelo PET. Foram já obtidos resultados inovadores usando técnicas de biodegradação com bactérias que usam o PET como a sua principal fonte de carbono, que posteriormente, será usada para o seu crescimento.

Esta metodologia baseia-se na capacidade catalítica de bactérias particulares para clivar as ligações do polímero em estudo, mais concretamente, as ligações tipo éster, presentes no PET, usando hidrólise enzimática, aquando ocupação da superfície do material em questão. As bactérias têm, na sua constituição, várias enzimas (catalisadores biológicos) que servem para sintetizar e para degradar, de forma rápida, os compostos químicos necessários ao seu funcionamento. Na bactéria *Ideonella Sakaiensis* em específico, quando cultivada em PET, detetam-se duas enzimas, a PETase e MHETase, ambas do tipo protease serina, que demonstram atividade na degradação do PET. A PETase apresenta um domínio  $\alpha/\beta$  — hidrolase, e converte PET em MHET (mono-2-hidroxitil tereftalato). Por outro lado, a MHETase apresenta um domínio como a PETase, ou seja, apresenta um domínio  $\alpha/\beta$  — hidrolase, típico de uma protease serina, mas também apresenta um domínio tampa.

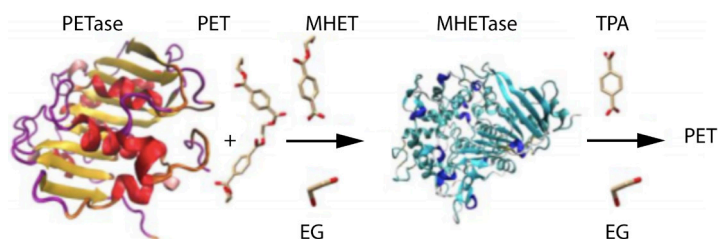


FIGURA 2. Estrutura dos constituintes presentes na biodegradação do PET. Reproduzido de Berselli, A., M.J. Ramos, and M.C. Menziani.

A MHETase ainda hidrolisa subsequentemente o MHET, produto fundamental da hidrólise do PET pela PETase, em ácido tereftálico (TPA) e etileno glicol (EG), que são os monómeros a partir dos quais o plástico PET se produz. Posteriormente, estes monómeros, pelo processo contrário ao da degradação enzimática, poderão conseguir originar novamente PET, reciclando o material usado (FIGURA 2).

A PETase e a MHETase participam na catálise de reações idênticas, mas em regiões distintas. O conhecimento atual sugere um mecanismo em que a PETase, extracelular, hidrolisa o PET, sendo MHET o principal produto. Este é posteriormente transportado, através de uma proteína de membrana (por exemplo uma porina), até ao espaço periplasmático da bactéria em estudo, *I.sakaiensis*, onde a MHETase, presente na membrana externa o hidrolisa, convertendo-o nos produtos já mencionados, ou seja, ácido tereftálico e etileno glicol. Por último, estes produtos são levados para o citoplasma, onde são metabolizados.

Através da FIGURA 3A) consegue-se observar que a MHETase representada a azul escuro, é um monómero. A roxo é possível visualizar o íão  $\text{Ca}^{2+}$  no canto superior esquerdo e o ligando benzoato (BEZ), um composto análogo ao substrato, representado no centro. Na FIGURA 3B) é possível observar o centro ativo da enzima com o ligando benzoato, colorido a roxo; a tríade catalítica, constituída pelos resíduos Ser225, His528 e Asp492, e a ligação dissulfureto que faz parte do centro ativo, e constituída pelos resíduos Cys224 e Cys529.

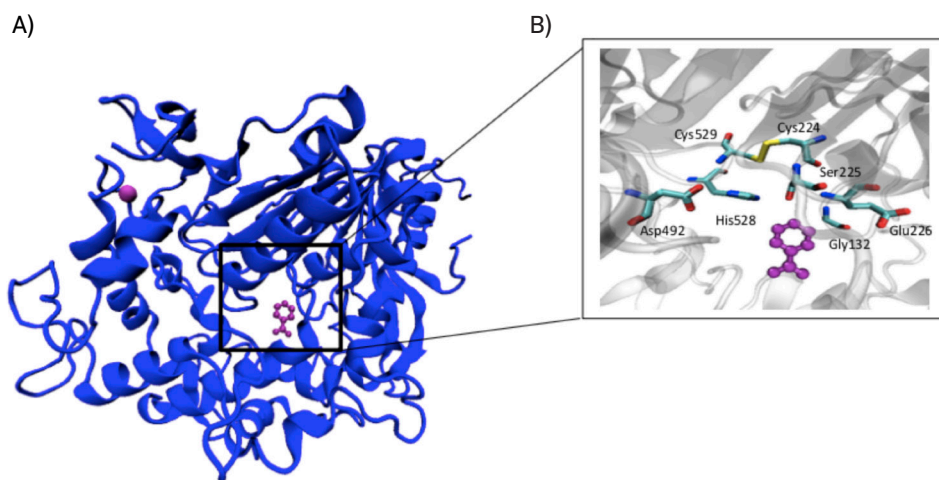


FIGURA 3. A) Representação da estrutura da MHETase (PDB:6QZ3), complexada com os ligandos, benzoato (BEZ) e  $\text{Ca}^{2+}$ . B) Detalhe do centro ativo da enzima, realçando o benzoato, a tríade catalítica e a ligação dissulfureto presente nesta zona.

Esta enzima é constituída por dois domínios, um domínio catalítico que adota o enrolamento de uma  $\alpha/\beta$  — hidrolase típica das hidrolases serina e um extenso domínio tampa. Este domínio é constituído por 7 folhas beta e por 15 hélices alfa. No caso do domínio de tampa, este é constituído pelos resíduos 254 - 468, de um total de 603 resíduos que estão



presentes na estrutura completa da MHETase. Este domínio encontra-se representado a laranja na FIGURA 4. O domínio catalítico está representado a verde na FIGURA 4.

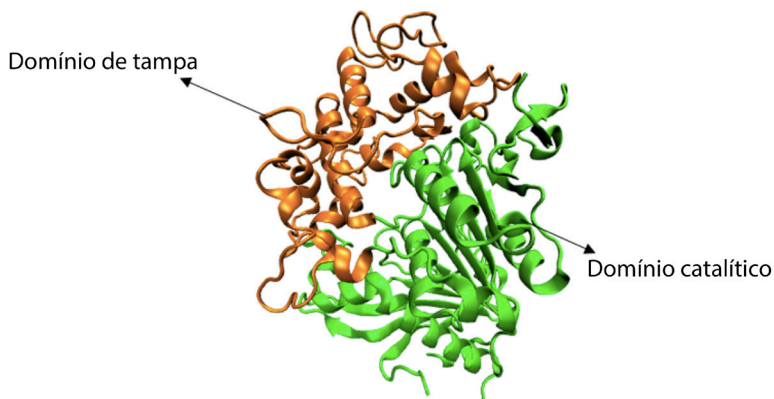


FIGURA 4. Representação dos domínios presentes na MHETase, mais concretamente do domínio catalítico (a verde) e do domínio de tampa (a laranja).

Ao contrário da PETase, estudos indicam que a MHETase se liga melhor e mais fortemente ao substrato, devido à presença do domínio de tampa. Um dos resíduos importantes para este aspeto é a Phe415, que tem um papel fundamental na entrada do substrato. Na estrutura da MHETase sem o ligando MHET, o resíduo Phe415 aponta para fora do centro ativo, permitindo assim a entrada do substrato. A associação com o ligando MHET vai provocar uma rotação de 180° da cadeia lateral daquele resíduo de aminoácido, fechando assim o centro ativo e consolidando a interação.

A poluição provocada pelo plástico é uma ameaça para o ser humano e para a sustentabilidade do planeta e, por isso, é urgente arranjar uma solução eficaz e ecologicamente correta para tratar este problema. Já existem alguns métodos de degradação de plástico, por exemplo, reciclagem química e física. Contudo, estes têm consumos energéticos elevados, necessitam de temperaturas muito elevadas, produzindo conseqüentemente quantidades enormes de dióxidos de carbono. Além disso, são processos dispendiosos, o que não é de todo uma opção viável e sustentável do ponto de vista económico a longo prazo. A solução aqui apresentada parece ser uma ótima opção na medida em que se consegue, para além de degradar o PET nos seus monómeros, produzi-lo forma sustentável. A estrutura da MHETase tem um papel fundamental na compreensão do mecanismo de degradação do PET. No entanto, é ainda necessário realizar muito trabalho sobre esta alternativa, de forma a provar e tornar este mecanismo de duas enzimas uma alternativa viável para processos de larga escala.

---

# O que é a computação de alto desempenho?

Maria João Ramos  
Universidade do Porto

Começa a ser habitual, nos dias que correm, ouvir falar de computação de alto desempenho, ou HPC (do inglês *High Performance Computing*). Se eu pedisse aos leitores que me dessem uma definição de HPC quantos seriam capazes de o fazer? Eu arriscaria a dizer que poucos... é, no entanto, algo que os mais novos começam a saber discutir...

- O que é, pois, a *High Performance Computing*?
- Existe *High Performance Computing* e *High Performance Computers* em Portugal?
- Para que são utilizados os HPCs e/ou quem os utiliza?

Estas são as perguntas simples, de cultura geral apenas, a que tentaremos responder neste pequeno artigo.

## O que é, pois, a *High Performance Computing*?

De um modo geral, é a capacidade de processar dados e realizar cálculos complexos a velocidades elevadas. O termo HPC relaciona-se com a prática de agrupar poder de computação suficiente para oferecer um desempenho muito mais elevado do que é possível ter com um computador típico, seja ele um portátil ou uma estação de trabalho. Assim, cada um destes supercomputadores é, na realidade, um cluster de computadores composto por dezenas de milhar de processadores e, obviamente, o seu custo, tal como o seu desempenho, é elevadíssimo.

É de notar que o acrónimo HPC é utilizado não só para *High Performance Computing* como para *high performance computer*, embora se entenda bem pelo sentido da frase a qual deles um texto se refere.

Atualmente, a rede europeia PRACE (*Partnership for Advanced Computing in Europe*)

providencia acesso a recursos, serviços de computação e análise de dados de vanguarda, de aplicações científicas e de engenharia em grande escala. As instalações HPC europeias são classificadas em 3 *tiers* (níveis): *tier 0* – centros europeus com máquinas petaflop ( $10^{15}$  operações por segundo), *tier 1* – centros nacionais, *tier 2* – centros regionais. Assim, o PRACE assume dar acesso a 7 sistemas *tier 0*: Marconi (CINECA, Bologna, Itália), JUWELS (GCS@Forschungszentrum Jülich, Alemanha), HAWK (GCS@High-Performance Computing Center Stuttgart, Alemanha), SuperMUC-NG (GCS@Leibniz-Rechenzentrum, Alemanha), Piz Daint (ETH Zürich/CSCS, Suíça), Joliot-Curie (Très Grand Centre de Calcul (TGCC)@CEA, perto de Paris, França), e MareNostrum 4 (Barcelona Supercomputing Center, Espanha).

Este último, MareNostrum 4, o supercomputador principal do *Barcelona Supercomputing Center – Centro Nacional de Supercomputación* (BSC-CNS), é um dos exemplos mais carismáticos de um supercomputador. O MareNostrum 4 (FIGURAS 1 e 2) está alojado dentro da Torre Girona, em Barcelona, uma capela que data da década de 1940 e que foi desconsagrada e convertida para uso secular na década de 1970. É possível fazer um percurso virtual pelo MareNostrum/Torre Girona.



FIGURA 1. MareNostrum 4, o HPC do BSC-CNS, alojado na Torre Girona, Barcelona (Vista de fora).



FIGURA 2. MareNostrum 4, o HPC do BSC-CNS, alojado na Torre Girona, Barcelona (Vista de dentro).

### **Existem *High Performance Computing* e *High Performance Computers* em Portugal?**

Neste momento, Portugal usufrui da Rede Nacional de Computação Avançada (RNCA) que oferece serviços de computação avançada para comunidades de investigação, inovação e administração pública, desde 2018.

A RNCA foi estabelecida pela Iniciativa Nacional Competências Digitais e.2030, Portugal INCoDe.2030, incorporando atualmente 4 centros operacionais:

- *Bob* operado pelo MACC – Centro de Informática Avançada do Minho.
- *Navigator/Navigator+* operado pelo LCA-UC – Laboratório de Computação Avançada da Universidade de Coimbra.
- *Oblivion and Vision* operado pela HPC-UE – *High Performance Computing* da Universidade de Évora.
- *Cirrus-A and Stratus* operados pelo INCD – Infraestrutura Nacional de Computação Distribuída.

A Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT), via RNCA, tem um papel fundamental no atual panorama português, pois agrega presentemente os recursos nacionais de computação avançada e promove a cooperação entre os vários centros envolvidos, lançando concursos para projetos de computação avançada. Assim, a FCT lançou recentemente o Concurso de Projetos de Computação Avançada 2021, que visa distribuir (apenas) capacidade computacional.

### Para que são utilizados os HPCs e/ou quem os utiliza?

Todos sabemos que a Ciência e a Engenharia alimentam inovações revolucionárias que melhoram a qualidade de vida de milhões de pessoas em todo o mundo. A HPC é presentemente a base para avanços científicos, industriais e sociais e os HPC são, hoje em dia, utilizados para resolver grandes problemas de Ciência, Engenharia e Inovação/Tecnologia, entre outros, através de cálculos complexos e/ou do uso de uma quantidade incomensurável de dados (*big data*). Mais objetivamente, problemas relacionados com:

- Saúde, como seja o desenvolvimento de fármacos e/ou curas para a diabetes, o cancro e, atualmente, a COVID-19, o diagnóstico exato de doenças, ou a sequenciação genómica.
- Engenharia, como seja o teste de novos projetos em mundos virtuais simulados com gravidade, calor e vento entre outros exemplos concretos são a funcionalidade de peças de avião ou a otimização de bicicletas de corrida.
- Investigação espacial, como seja a procura de respostas a determinados problemas – de onde veio o universo, o espaço sideral ser ou não habitado por alienígenas, meteoritos prestes a colidir com a Terra – *i.e.* modelos baseados em HPC que aproveitem ao máximo as informações providas de sondas e satélites.
- Planeamento urbano, como seja a utilização de dados coletados, pelas principais metrópoles mundiais, de sensores sobre o clima, padrões de trânsito, níveis de ruído, etc.. Isto permite que as autoridades tomem decisões imediatas baseadas em dados verdadeiros como, ainda, decisões a longo prazo sobre, por exemplo, mudança climática.
- Comércio e Finanças, como seja o facto dos sistemas HPC serem capazes de funcionar um milhão de vezes mais rápido do que um portátil, oferecendo às empresas vantagens comerciais no que diz respeito ao desenvolvimento diário de produtos.
- Novas Tecnologias, como sejam a internet das coisas, a inteligência artificial (e um dos seus importantes subprodutos, *i.e. machine learning*) e imagens 3-D.

De um modo geral, transmitir um evento ao vivo, rastrear um tornado em desenvolvimento ou testar novos produtos, são exemplos de como é crucial a capacidade de processamento de dados em tempo real. Em conclusão, a computação de alta performance veio para ficar, acelerando a inovação através de redes rápidas e infraestruturas virtualmente ilimitadas.

---

# Educar para as alterações climáticas

## Através de ciência cidadã

44 António José Monteiro\*, Cristina Luís<sup>\*,†,‡</sup>, Alexandra Cartaxana<sup>\*,#</sup>, Diana Boaventura<sup>#,+</sup>, Ana Teresa Neves<sup>+,§</sup>, Jaime Santos<sup>+</sup>, Paula Colares Pereira<sup>+</sup>, Filomena Caldeira<sup>+</sup>, António Ponces de Carvalho<sup>+</sup>

\* MUHNAC/ Universidade de Lisboa; † CIUHCT/ Universidade de Lisboa; ‡ ISCTE-IUL/ CIES-IUL; † CIEJD/ ESEJD;

# MARE/ Faculdade de Ciências; § UIDEF/ IEUL

Face à aparente incapacidade de inverter o atual panorama de perda de biodiversidade, é fundamental investir em ferramentas capazes de promover a consciencialização dos cidadãos para a necessidade urgente de adotar medidas e comportamentos que protejam essa biodiversidade e assegurem a sustentabilidade dos ecossistemas. A ciência cidadã, uma prática de participação pública na atividade científica, cresce a passos largos com novos projetos e iniciativas a surgir um pouco por todo o mundo, gerando dados de elevado valor, nomeadamente no que se refere ao potencial de monitorização da biodiversidade. Enquanto ferramenta de aprendizagem, a ciência cidadã promove a interdisciplinaridade no desenvolvimento de conhecimentos e educa para a cidadania, devendo, por isso, ser encorajada através dos currículos escolares. Em Portugal, um exemplo relevante de ciência cidadã aplicada ao ensino formal das ciências é o *kit EduMar*, desenvolvido no âmbito do projeto *EduMar – Educar para o Mar*. Este recurso educativo é destinado ao ensino básico, a partir do 4.º ano de escolaridade, e pretende avaliar o impacto das alterações climáticas através da monitorização da biodiversidade marinha na zona entremarés da costa portuguesa.

### O impacto das alterações climáticas na biodiversidade marinha

Cerca de um milhão de espécies estão em risco de desaparecer nas próximas décadas segundo o relatório apresentado em maio de 2019 pela Plataforma Intergovernamental de Política de ciência sobre Biodiversidade e Serviços do Ecossistema (IPBES) e que envolveu contributos de 145 especialistas de 50 países. Os resultados deste relatório alertam para uma importante crise ambiental, com mais de um terço dos mamíferos marinhos e

cerca de um terço dos tubarões e corais de recife em risco de extinção. Este relatório aponta ainda as alterações climáticas como a terceira maior causa de perda de biodiversidade, depois das alterações no uso da terra e do mar e da exploração direta de recursos naturais, podendo vir a assumir a primeira posição com a intensificação do aquecimento global causado pelas emissões de gases com efeito de estufa, que duplicou desde a década de 1980. As alterações climáticas, definidas como mudanças a longo prazo no padrão das características meteorológicas do planeta, referem-se a uma ampla gama de fenómenos globais com impacto na fauna e flora, como são exemplo o aumento de fenómenos atmosféricos extremos, o aumento do nível médio do mar, a desertificação de áreas naturais e a acidificação dos oceanos. A atividade humana é identificada como a causa dominante do agravamento das alterações climáticas desde meados do século XX. Na Europa, são já várias as populações de espécies marinhas presentes nas zonas rochosas entremarés (zonas intertidais) que apresentam alterações na sua abundância e distribuição ao longo da costa. São exemplos a lapa-comum (*Patella vulgata*) e o búzio (*Nucella lapilus*), cuja abundância e área de distribuição parecem estar a diminuir, e por outro lado a lapa-falsa (*Siphonaria pectinata*) e a alga-pavão (*Padina pavonica*), mais resistentes às alterações climáticas e cuja abundância e área de distribuição parecem estar a aumentar. Estas variações modificam a dinâmica das comunidades que, por sua vez, alteram o funcionamento dos ecossistemas. Os ecossistemas são estruturas ecológicas essenciais à vida humana pelo vasto conjunto de serviços que prestam e pelo equilíbrio químico e físico que asseguram, sendo, por isso, fundamental monitorizar as alterações na biodiversidade aí existente. Existem, nos ecossistemas costeiros, milhões de espécies que importa preservar, pelo que a sua monitorização e salvaguarda constitui uma tarefa demasiado árdua para ser assegurada exclusivamente pela comunidade científica.

### **Mobilizar para a monitorização da biodiversidade marinha através de ciência cidadã**

Apesar do profundo e detalhado conhecimento científico existente e dos atuais esforços de consciencialização ambiental junto da sociedade, as alterações climáticas continuam a intensificar-se sem que uma grande parte dos cidadãos pareça compreender a magnitude das consequências deste fenómeno ou o papel que pode desempenhar no seu combate. É, pois, urgente criar estratégias inovadoras que fomentem uma maior aproximação dos cidadãos à biodiversidade, apresentando ferramentas que lhes permitam contribuir para a sua preservação. Partindo da ideia de que a criação de uma sociedade mais ativa na resolução de problemas requer que lhe seja atribuído um papel a desempenhar, a ciência cidadã apresenta-se enquanto forma de participação pública na investigação científica, convidando, numa das suas vertentes, qualquer um a ser parte ativa na recolha de dados científicos e interpretação de resultados. Assente nesta prática têm surgido inúmeros projetos de monitorização da biodiversidade, nomeadamente costeira, uma vez que a ciência cidadã

pode ser usada enquanto ferramenta para a recolha de dados em projetos de preservação e monitorização de espécies. A nível internacional, são vários os exemplos de projetos de ciência cidadã que propõem monitorizar o impacto das alterações climáticas na biodiversidade marinha. No Reino Unido, projetos como *The Shore Thing* ou o *Big Sea Survey* são algumas das iniciativas que contam com a ajuda de cidadãos no registo de espécies marinhas costeiras. Na Austrália, o projeto *ClimateWatch*, baseado na recolha de dados sobre a presença, ausência e abundância de espécies marinhas, gera dados que alimentam o programa de monitorização nacional da biodiversidade em resposta à mudança climática. Nos Estados Unidos da América, o projeto *Climate Change: Seas to Trees at Acadia National Park* recorre à ciência cidadã para estudar o impacto das alterações climáticas e da acidificação dos oceanos no Parque Nacional de Acadia, no Maine. À escala global, o projeto *Dive Into Science* desafia mergulhadores amadores e profissionais a registar a temperatura das águas para gerar modelos oceânicos e estudar o impacto das alterações climáticas. Em Portugal, a plataforma *Biodiversity4All*, que se encontra atualmente associada à plataforma internacional *iNaturalist*, é uma das principais que se dedica à congregação de registos de avistamentos de espécies. Com mais de 700 000 observações registadas em território nacional por utilizadores amadores e profissionais (dados de novembro de 2021), esta plataforma reúne, desde 2010, registos de mais de 10 000 espécies, com indicação do local onde foram vistas, a data da observação, o nome da espécie e, na maioria dos casos, a respetiva fotografia. Recorrendo às atuais tecnologias de informação, os registos podem ser feitos por qualquer indivíduo com um smartphone ou tablet através de uma aplicação móvel, associada à plataforma, que convida à exploração da natureza, seguindo uma espécie de colecionismo digital do mundo natural que nos recorda os costumes dos antigos naturalistas amadores. A aplicação *Biodiversity4All/iNaturalist* permite o registo de observações de uma forma automática, rápida e intuitiva. Essas observações são posteriormente validadas por especialistas registados na plataforma.

Os dados recolhidos são de acesso aberto, estão disponíveis na plataforma *Biodiversity4All* e podem, como tal, ser usados para inventariar a biodiversidade, incluindo a costeira, inferir sobre o impacto das alterações climáticas e produzir documentos orientadores que ajudem a comunidade científica e os decisores políticos a tomar medidas fundamentadas em prol da conservação da natureza e do bem-estar dos cidadãos.

### **A ciência cidadã enquanto ferramenta educacional**

Aliada à tecnologia, inovação e criatividade, a ciência cidadã abre portas a uma nova prática no ensino e comunicação das ciências. Baseados em problemáticas reais e estruturados de acordo com a metodologia científica, os projetos de ciência cidadã aproximam os alunos da esfera científica, envolvem-nos no processo de investigação e promovem o desenvolvimento de conhecimentos e competências num ambiente de aprendizagem moti-



vador e estimulante. Uma das mais-valias desta prática está na utilização das Tecnologias da Informação e da Comunicação (TIC) que, por um lado, torna estes programas atrativos e, por outro, contribui para a criação de mecanismos que permitem assegurar a qualidade dos dados recolhidos. Sobre os projetos de ciência cidadã que se dedicam à monitorização da biodiversidade, podemos ainda referir a mais-valia de incentivarem a aproximação dos alunos à natureza. Numa altura em que emerge uma preocupação face à desconexão das novas gerações com o mundo real e com as atuais problemáticas ambientais promovida pela tecnologia, a participação em projetos de ciência cidadã pode ser uma solução para uma necessária reaproximação, por aliar a tecnologia à exploração da natureza. Vários estudos sugerem que a participação em programas educativos que promovam a exploração e o contacto com a natureza sensibiliza as crianças para as questões ambientais, gera uma maior vontade de aprender mais sobre a natureza e promove a adoção de comportamentos de responsabilidade ambiental. Dentro dos objetivos do currículo nacional para os ensinos básico e secundário está a necessidade de cultivar uma consciência ambiental em prol da sustentabilidade através da exploração do meio, da interdisciplinaridade e com recurso às TIC. No ensino básico, até ao 8.º ano, o programa e as metas curriculares das disciplinas de estudo do meio (1.º ciclo) e de ciências naturais (2.º ciclo) procuram, cada uma à sua escala, promover a descoberta da biodiversidade e a forma como com ela nos relacionamos, recorrendo ao método científico e ao contacto com a natureza. No ensino secundário, os programas curriculares para a disciplina de biologia e geologia anunciam-se com o objetivo de contribuir para formar cidadãos com literacia científica, críticos em relação aos problemas da atualidade, tais como a perda de biodiversidade e as questões em torno da proteção ambiental, e capazes de decidir autonomamente sem recorrer a ideias feitas e a preconceitos. É ainda de mencionar os esforços da Direção-Geral da Educação na promoção de uma estratégia nacional de educação para a cidadania, para a formação de cidadãos conscientes, pró-ativos, dinâmicos e informados face às atuais problemáticas ambientais e ao desenvolvimento sustentável, entre outras. A ciência cidadã é transversal a estas metas educativas e, por isso, apresenta um enorme potencial enquanto ferramenta de aprendizagem. É uma prática que envolve o aluno no processo de investigação de forma a responder aos desafios atuais, promove a aquisição de conhecimentos e competências através do contacto com a natureza, muitas vezes recorrendo às tecnologias, e fomenta, ainda, a adoção de comportamentos e atitudes relevantes ao exercício da cidadania.

# “Tão natural”

*in casadasciencias.org/banco-imagens*

A imagem de uma formação geológica do período do Jurássico Superior (163 — 145 milhões de anos atrás), de Francisco Félix, faz-nos vislumbrar a pele retorcida e couraçada que imaginamos em alguns dos habitantes desse período, fértil em dinossauros.

Faz-nos imaginar o duro couro de um qualquer dinossauro herbívoro, de entre a vasta lista que habitou a Terra nesse período e que nunca conheceremos completamente, couro esse que talvez o protegesse, pelo menos um pouco, dos ataques dos enormes carnívoros da época, tal como os alossauros, temíveis feras que habitavam o nosso país, cujo registo fóssil foi encontrado curiosamente próximo do local onde a formação geológica foi fotografada.

Pedro Alexandrino Fernandes  
DQB/ Universidade do Porto

A imagem transporta-me de imediato para um passeio efetuado na orla costeira do território abrangido pelo Aspirante Geoparque Oeste, durante umas férias de Natal. As interrupções letivas constituem momentos formativos de excelência, como por exemplo, o contacto direto com a base de arribas, neste caso, suportadas por materiais depositados no Jurássico Superior. Dado que alguns afloramentos se situam em locais de difícil acesso, a disponibilização de representações destas possibilitam a sua utilização em vários contextos didático-pedagógicos. A meu ver, a atratividade das figuras constitui um bom ponto de partida para aventuras ao nível do conhecimento científico. Neste caso, pode-se viajar pelo paleoambiente e perceber os fluxos que permitiram a deposição dos detritos constituintes da rocha. Depois, explorar a diagénese e finalmente verificar os fatores que contribuíram para a exposição e morfologias evidenciadas. A fotografia foi captada próximo da linha de fronteira entre dois concelhos, cujo património geológico e paleontológico sobressaem na dinâmica dos georrecurso culturais – Peniche e Lourinhã.

Francisco Fidalgo Félix  
Escola Secundária de Peniche



# Edições Casa das Ciências

Disponíveis na loja



<https://casadasciencias.nloja.com/>