

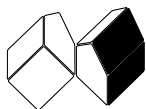
V13/01

REVISTA DE CIÊNCIA ELEMENTAR
CASA DAS CIÊNCIAS

MARÇO 2025



REVISTA DE CIÊNCIA ELEMENTAR



FICHA TÉCNICA

Rev. *Ciência Elem.*, V13(01)

Publicação trimestral
da Casa das Ciências

ISSN 2183-9697 (versão impressa)

ISSN 2183-1270 (versão online)

rce.casadasciencias.org

DEPÓSITO LEGAL

425200/17

COORDENAÇÃO EDITORIAL

Alexandra Coelho

DESIGN

Rui Mendonça

PAGINAÇÃO

Raul Seabra

IMAGEM NA CAPA

Earthrise

William Anders (NASA)

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



PROPRIETÁRIO

Casa das Ciências/ICETA

Faculdade de Ciências,

Universidade do Porto

Rua do Campo Alegre, 687

4169-007 Porto

rce@casadasciencias.org

CORPO EDITORIAL DA REVISTA DE CIÊNCIA ELEMENTAR

EDITOR

João Nuno Tavares (UNIVERSIDADE DO PORTO)

EDITOR CONVIDADO

Alexandre Lopes Magalhães (UNIVERSIDADE DO PORTO)

CONSELHO EDITORIAL

Alexandre Lopes Magalhães (UNIVERSIDADE DO PORTO)

Jorge Manuel Canhoto (UNIVERSIDADE DE COIMBRA)

Paulo Ribeiro-Claro (UNIVERSIDADE DE AVEIRO)

José Cidade Mourão (INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO)

Rute Coimbra (UNIVERSIDADE DE AVEIRO)

Sónia Gouveia (UNIVERSIDADE DE AVEIRO)

José Francisco Rodrigues (UNIVERSIDADE DE LISBOA)

João Lopes Santos (UNIVERSIDADE DO PORTO)

PRODUÇÃO e SECRETARIADO

Alexandra Coelho

Guilherme Monteiro

Liliana Freitas

Raul Seabra

Rúben Leite

NORMAS DE PUBLICAÇÃO NA RCE

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

INFORMAÇÃO PARA AUTORES E REVISORES

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

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

MARÇO 2025

V13/01

Índice

- 02 AGENDA
- 03 NOTÍCIAS
- EDITORIAL
- 05 **Earthrise**
Alexandre Lopes Magalhães
- ARTIGOS
- 07 **Crises, Policrise e a importância do reforço da Resiliência do Sistema Terrestre**
Orfeu Bertolami, Ricardo Elísio
- 12 **O Ouro de Faraday**
Tito Trindade
- 17 **Panorama dos recursos**
António Moura, José Lopes Velho
- 22 **A Terra, a Geodesia e o estabelecimento de unidades fundamentais**
José Alberto Gonçalves
- 27 **Microorganismos extremófilos na exploração espacial**
Marta Cortesão et al.
- 32 **Zonas húmidas naturais e construídas como soluções baseadas na natureza**
C. Marisa R. Almeida
- 37 **O vírus *influenza A* do subtipo H5N1**
Joana Abrantes
- 42 **Arqueogenómica e biodiversidade dos animais domésticos**
Ana Elisabete Pires, Catarina Ginja
- IMAGEM EM DESTAQUE
- 48 **Mar de Chukchi**
Alexandre Lopes Magalhães,
José J. S. Pissarra

13/03
a 09/05⁽²⁰²⁵⁾

Exposição QuantumLand

No âmbito do Ano Internacional da Ciência e Tecnologias Quânticas 2025 e da Semana Cultural da Universidade de Coimbra (UC), inaugurou-se a 13 de março a exposição QuantumLand e ficará até 9 de maio no R/C do Dep. Física da UC. É um convite para entrar no mundo quântico através de 12 cartazes sobre diferentes temas de ciência e tecnologias quânticas. Inclui 2 cartazes com poemas que ilustram como a física quântica está presente na poesia e 1 cartaz humorístico "A grande revolta dos gatos de Schrodinger após 100 anos de quântica".

UNIVERSIDADE DE COIMBRA

01/10
a 31/12⁽²⁰²⁵⁾

Ciclo de palestras "Tecnologias Quânticas"

No âmbito do Ano Internacional da Ciência e Tecnologias Quânticas 2025, iniciou-se a 14 de outubro de 2024 um ciclo de Palestras "Tecnologias Quânticas" no centro de Divulgação Rómulo. Todos os meses, sempre à segunda-feira, há uma palestra convidada de um investigador português na área de Ciência e Tecnologias Quânticas. Toda a informação sobre a palestra do mês (e sobre as já realizadas) pode ser consultada no [site](#).

UNIVERSIDADE DE COIMBRA

Quartas-feiras

Seminário Filosofia e História das Ciências

A Casa das Ciências, em parceria com a FCUP e a FLUP, promove um Seminário regular sobre "Filosofia e História das Ciências".

Este seminário decorre quinzenalmente às 4.ª feiras com participação livre e é aberto a todos os interessados, pretendendo discutir temas de Ciência e Filosofia das Ciências.

Tem a colaboração de docentes e investigadores da Faculdade de Letras da UP.

Consulte o programa [aqui](#).

Para participar via **zoom** a inscrição é obrigatória.

Se pretende receber o *link* de acesso à transmissão *online*, é necessário o preenchimento do formulário disponível [aqui](#).

CASA DAS CIÊNCIAS

Fabricante sueca de baterias Northvolt declara falência



FIGURA 1. A fábrica da Northvolt, no norte da Suécia, teve um desempenho abaixo da sua capacidade de produção. Imagem de Jonathan Nackstrand.

Esta empresa de produção de baterias para automóveis, fundada em 2016, anunciou recentemente um passo importante no desenvolvimento de um modelo de bateria que substitui minerais críticos como o lítio, cobalto, níquel e grafite por sódio, muito abundante na Natureza e com um custo de extração muito baixo. Esta inovação é significativa porque pode reduzir a dependência dos países ocidentais da China para tecnologias limpas e resolver os danos sociais e ambientais associados à extração e refinação de minerais para baterias. Infelizmente, a competição entre empresas deste sector a nível mundial é feroz e a Northvolt sueca acaba de apresentar o pedido de falência porque não conseguiu garantir as condições financeiras necessárias para continuar a laborar nos mesmos moldes.

No entanto, a investigação científica nesta área e a atividade empresarial continuam com grande dinamismo. (AFP, [Battery maker Northvolt files for bankruptcy in Sweden](#), France 24. 2025)

A camada de ozono está a regenerar-se, graças à redução global de CFCs

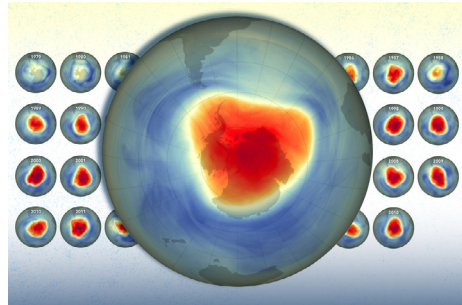


FIGURA 1. Novos resultados mostram alta confiança estatística de forte recuperação do ozono. Imagem de NASA.

Um novo estudo liderado pelo MIT é o primeiro a mostrar, com elevada confiança estatística, que a camada de ozono da estratosfera sobre a região antártica está a recuperar e que esta recuperação se deve principalmente à redução de substâncias que empobrecem a camada de ozono *versus* outras influências, como a variabilidade climática natural ou o aumento das emissões de gases com efeito de estufa para a estratosfera. De facto, desde o *Protocolo de Montreal*, assinado em 1989 e que conta hoje com 197 países, foram desenvolvidos esforços para reduzir as substâncias que destroem a camada de ozono, principalmente os clorofluorocarbonetos (CFCs). Esta notícia dá-nos um importante sinal de esperança ao mostrar que a Humanidade consegue encontrar soluções para resolver problemas que afetam o bem-estar a nível global. (Jennifer Chu, [Study: The ozone hole is healing, thanks to global reduction of CFCs](#), MIT News. 2025)

O que será necessário para alcançar a meta de zero detritos espaciais?



FIGURA 1. O problema dos detritos espaciais só está a piorar. A ESA diz que não temos tecnologia para lidar com isso. Também podemos não ter a coesão política necessária. Imagem de ESA.

O problema dos detritos espaciais começa a atingir níveis preocupantes, e a *Agência Espacial Europeia (ESA)* reconhece que carecemos da tecnologia e da coesão política para o resolver. A ESA publicou um *Zero Debris Technical Booklet* (Caderno Técnico Zero Detritos) que descreve os desafios e propõe algumas soluções. O primeiro passo é deixar de criar mais detritos, evitando libertações não intencionais, melhorando os materiais para resistir à degradação e aos impactos, e desenvolvendo sistemas de propulsão alternativos que não libertem partículas pequenas. A melhoria da *Vigilância e Coordenação do Tráfego Espacial (STC)* é também necessária para prevenir colisões. Relativamente aos detritos existentes, a sua remoção será necessária. Isto requer a avaliação de satélites extintos e o desenvolvimento de métodos fiáveis para os desorbitar, incluindo sistemas ativos de remoção de detri-

tos. A prevenção de colisões é também crucial, exigindo cooperação e diretrizes normalizadas. Embora a tecnologia seja um desafio, reconhece-se que o maior obstáculo neste momento é a cooperação entre as nações, que é frequentemente dificultada por diferentes ideologias e políticas. (Evan Gough, [What will it take to reach zero space debris?](#), *Phys.org*. 2025)

Earthrise.



A imagem escolhida para a capa desta edição da *Revista de Ciência Elementar* é a famosa fotografia “*Earthrise*”, tirada pelo astronauta William Anders em 24 de dezembro de 1968 durante a missão *Apollo 8*, a primeira viagem que orbitou a Lua. Esta imagem icônica mostra a Terra surgindo acima do horizonte da Lua.

O deslumbramento extático que William Anders deve ter experimentado naquele momento único, ao ver a Terra surgindo lentamente acima do horizonte lunar, foi tão intenso que o levou a querer partilhar esse sentimento com a Humanidade através de uma foto. O poeta Archibald MacLeish reagiu de imediato, tendo escrito na edição do dia seguinte do *The New York Times*: “*To see the earth as it truly is: small and blue and beautiful in that eternal silence where it floats is to see ourselves as riders on the earth together*”, o que ilustra bem o impacto que esta imagem teve. Passados 56 anos, ela ainda não perdeu o seu encanto, sendo considerada frequentemente uma das fotografias ambientais mais influentes.

Vivemos atualmente tempos desafiantes em que a nossa percepção do Mundo, relativamente às suas vertentes humana, biológica, geológica e climatérica, se vai alterando por força do

crescimento da população, do avanço do conhecimento e do vertiginoso fluxo de informação. Carl Sagan, na sua obra-prima de divulgação científica *Cosmos* e na correspondente série televisiva homónima, soube mostrar-nos com grande clarividência o quão pequeno e isolado é o nosso Planeta. Em rigor, todas as formas de vida habitam a Biosfera que não é mais do que uma delgada película que rodeia a Terra que, por sua vez, é um ínfimo grão do Espaço Sideral. Esta minúscula região do Universo é o nosso "Lar", e todos nós temos a responsabilidade de a compreender e conservar.

Nesta edição da *Revista de Ciência Elementar*, tentámos reunir assuntos relativos a fenómenos que envolvem o nosso Planeta como um todo, com o objetivo de relembrar aos nossos leitores que o nosso bem-estar depende muito do conhecimento esclarecido que temos do lugar que habitamos e do equilíbrio saudável que estabelecemos com outras formas de vida. Esse seria o pequeno contributo que, humildemente, gostaríamos de deixar com esta edição.

Votos de um Bom Ano.

Alexandre Lopes Magalhães

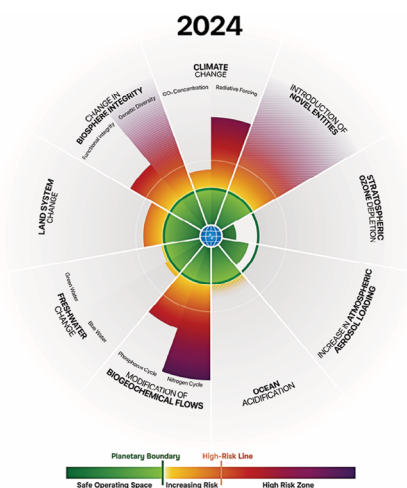
Universidade do Porto

Crises, Policrise e a importância do reforço da Resiliência do Sistema Terrestre.

Orfeu Bertolami, Ricardo Elísio

DFA/ FC/ U. Porto

Com muitos dos subsistemas do Sistema Terrestre a entrar em crise e correndo o risco de colapsar, torna-se necessário compreender especificamente de que maneira as alterações climáticas causadas pela atividade humana os afetam. Em particular, os mecanismos que regem estes subsistemas e a resposta face a pressões externas tendem a ser semelhantes entre todos. Além disso, alterações num subsistema afetam outros subsistemas e o próprio sistema global, potencialmente, na sua totalidade através de um conjunto complexo de interações. O Sistema Terrestre evidencia assim uma mudança de regime coletiva face à crise climática. Utilizando um formalismo baseado em indicadores do impacto da atividade humana, as Fronteiras Planetárias, cujos valores de base referem-se ao período Holocénico, caracterizado pela estabilidade climática, é possível descrever a trajetória da crise climática e a sua putativa evolução. Contudo, os aspetos mais nefastos desta evolução podem ser contornados através de ações de mitigação e adaptação, que reforcem a resiliência do Sistema Terrestre. Pretende-se, assim, motivar um modelo matemático que descreva estes fenómenos complexos, interpretando-os num contexto físico.



Crise Climática.

A crise climática hoje faz-se sentir em todo o planeta. O desequilíbrio energético na atmosfera, agravado pela presença de gases de efeito de estufa, tem aumentado a temperatura média da superfície terrestre, causando alterações significativas às taxas de evaporação e precipitação. A fragmentação das florestas, com a redução da sua área e extensão contígua, tem causado alterações disruptivas à biodiversidade e as populações de seres vivos, algumas a caminho de extinção, outras em crescimento descontrolado. Estes sistemas florestais atuam como sumidouros essenciais de CO₂ atmosférico. Com a sua fragmentação e o decréscimo da biodiversidade, estes estabilizadores climáticos enfraquecem, deixando o planeta mais suscetível a flutuações climáticas. Muitos subsistemas terrestres são dotados de pontos críticos, para além dos quais é desencadeada uma transição abrupta para um novo estado de regime climático. O recuo e fusão da camada de gelo da Gronelândia é um exemplo de um subsistema com grande risco de atingir o ponto crítico e passar para um novo estado. Alcançado este ponto, um mecanismo de retroação positiva é acionado, criando um expectável aumento de temperatura local que desencadeará o desaparecimento da sua extensa camada de gelo. A generalização de processos desta natureza fará com que a Terra passe a ser um planeta criogenicamente unipolar, causando alterações irreversíveis nos mecanismos de regulação de temperatura, devido à diminuição do albedo terrestre, entre outros fatores. Fatores que caracterizam a perda de resiliência ou robustez de um sistema face a pressões externas^a, manifestam-se, por exemplo, na forma de secas intensas ou de incêndios florestais, que implicam uma perda assinalável de resiliência vegetal e dos mecanismos de retroação a partir dos anos 2000. Assim, estes sistemas estarão mais suscetíveis à fragmentação e à perda da sua qualidade de absorção de gases de efeito de estufa, o que pode agravar, ou até desencadear, os fenómenos acima descritos: o planeta suscetível a acentuadas flutuações climáticas; aumento da temperatura média global, etc. Todos estes subsistemas demonstram uma dinâmica complexa e importantes mecanismos de retroação.

De facto, considerando o Sistema Terrestre (ST) como o conjunto da Atmosfera, Biosfera, Criosfera, Hidrosfera, Litosfera superior e todas as relações estabelecidas entre estes subsistemas, é assinalável que, desde os anos 50 do século XX, a atividade humana é a força dominante deste sistema e tem deixado vestígios observáveis nas camadas estratigráficas tais como a presença de radionuclídeos ou depósitos crescentes de resíduos da atividade humana.

Na verdade, este impacto tem sido tão significativo que a emergência e proliferação de fenómenos extremos se tem agravado e complexificado. Verifica-se que estes interagem entre si, agravando-se e exibindo um comportamento coletivo. Este comportamento é consequência do aumento do número e do grau de conexões que se têm estabelecido no ST em função da atividade humana. Qualquer destes fenómenos, no contexto de um sistema complexo, pode propagar uma crise local para a totalidade do sistema, tornando-

–a num fenómeno em cadeia, através da conectividade intra-sistémica e inter-sistémica entre os subsistemas. Estas distinguem-se pela escala da sua ação. Por exemplo, na FIGURA 1, a conectividade inter-sistémica refere-se às interações entre os subsistemas, que constituem as componentes diretamente relacionadas com a atividade humana no ST, tais como a Economia, Ambiente, etc. Por sua vez, a conectividade intra-sistémica estabelece-se dentro de cada um destes subsistemas, por exemplo, dentro do sistema “Energia”, caracterizando a sua estrutura e assegurando que pode ser considerado como uma entidade autónoma.

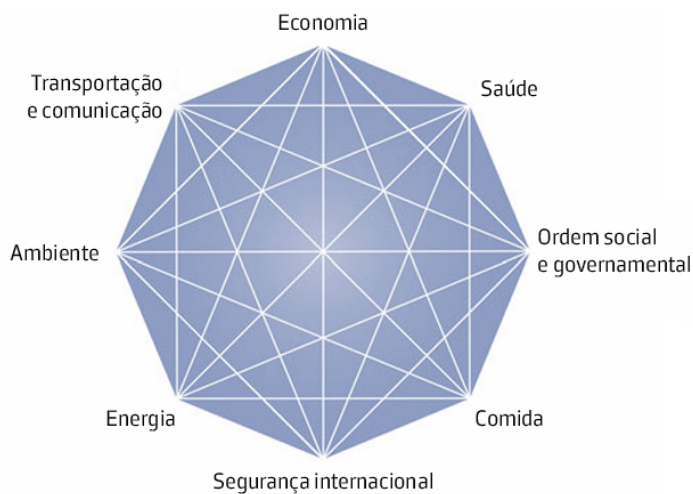


FIGURA 1. Representação da hiper-conectividade dos sistemas que constituem o ST, tornando-o num sistema complexo, segundo a referência.

O estado do ST é caracterizado por um conjunto de parâmetros que refletem o impacto da atividade humana no ST. Estes parâmetros são designados por Fronteiras Planetárias (FP). Foram enumerados os 9 parâmetros essenciais para caracterizar o estado do ST: integridade da Biosfera; alterações climáticas; novos materiais; Ozono estratosférico; carga de aerossóis atmosféricos; acidificação dos oceanos; alterações dos fluxos biogeoquímicos de azoto e fósforo; reservas de água doce; ocupação humana das superfícies continentais. Na FIGURA 2, é indicada a evolução das FP desde a região central associada ao período de estabilidade climática, o Holocénico, que se iniciou há 11700 anos. As FP indicam também o crescimento simultâneo do impacto da atividade humana e do risco das crises. A emergência climática está associada, entre outros fatores, com o desequilíbrio radiativo terrestre ou disrupção dos ciclos globais de azoto, fósforo e outras substâncias. A complexidade do ST sugere que as FP interagem entre si e dentro de si através das suas componentes. Assim, compreende-se que a perda de biodiversidade afete a captura de CO₂ atmosférico numa interação inter-sistémica entre a “Integridade da Biosfera” e a “Alteração Climática”. Outro exemplo relevante refere-se ao já mencionado de-

saparecimento da calote de gelo da Gronelândia que afeta a captura de CO_2 atmosférico, o que caracteriza uma interação intrassistêmica dentro da FP “Alterações Climáticas”.

A FIGURA 2 caracteriza o estado atual do ST. Observa-se que 7 das 9 FP já ultrapassaram os valores típicos do Holocénico. O crescimento das FP tem acelerado descontroladamente, que é o comportamento típico de uma crise. Considerando as inúmeras interações que estas crises têm demonstrado e o quão conectados estão os subsistemas afetados, temos um novo epifenómeno que descreve este comportamento coletivo, a policrise.

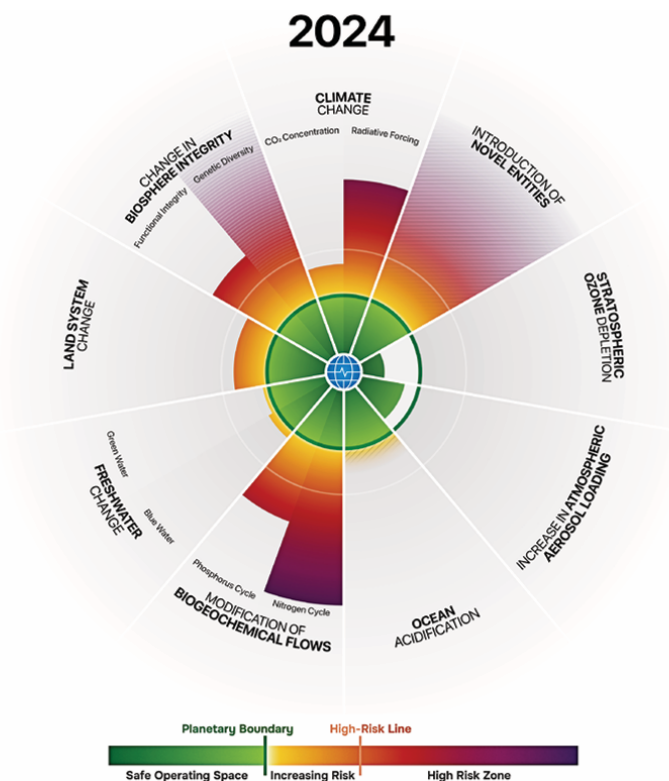


FIGURA 2. Diagrama das fronteiras planetárias com as suas quantificações relativas em 2024. A circunferência central indicada a verde corresponde aos valores estimados das FP no Holocénico, antes de atividade antropogénica se tornar significativa. A zona preenchida que se irradia da região central corresponde aos valores das FP atualmente. As quantificações das FP Novos materiais e Integridade da Biosfera estão para além da escala.

Policrise.

Uma característica do aumento da atividade humana é o desencadear de várias crises simultâneas, quer a nível local, quer a nível global. As crises têm origem num evento ou série de eventos repentinos que causam danos a um elevado número de indivíduos. De uma perspetiva mais física, a crise é uma trajetória do ST, onde ocorre a disrupção dos mecanismos de estabilização dos subsistemas (retroação negativa), causando uma transição de regime (retroação positiva). Quando o sistema se encontra em crise, o seu comportamento torna-se imprevisível e dis-

ruptivo, podendo até admitir um comportamento caótico. Tal ocorre se a atividade humana for muito intensa e comportar-se segundo uma equação logística discreta. Nestas condições as trajetórias do ST apresentam bifurcações e deixam de ser previsíveis.

De facto, as trajetórias do ST estão a tornar-se mais rápidas e difíceis de contrariar. Um sistema de armadilhas antropocénicas têm mantido o ST na direção de novos pontos de equilíbrio, com condições amplamente distintas das do Holocénico, anterior à grande aceleração da atividade humana. Estas armadilhas caracterizam-se por: ser consequência de um processo decorrente da atividade humana; ter, ou vir a ter, impactos indesejáveis no ST, em particular no bem-estar das populações; aprisionarem o ST numa trajetória que levará a um novo ponto estável indesejável. Foram identificadas pelo menos 14 armadilhas antropocénicas: padronização e especialização excessiva dos sistemas de produção; crescer como um fim em si mesmo; sobre-exploração de recursos; decréscimo da colaboração; proliferação de pandemias; inércia infraestrutural; poluição química; tecnologias que representam riscos existenciais; tecnologias dotadas de inteligência artificial sem controlo; desinformação; favorecimento do curto prazo em detrimento de estratégias sustentáveis; ultrconsumismo; desconexão da Biosfera; redução de capital social. Invariavelmente, estas armadilhas iniciaram-se através de alguma inovação social que desencadeou uma trajetória, da qual se seguiu uma subsequente globalização graças à conectividade do ST, cimentando a dependência nesta inovação, acabando por não resolver qualquer problema humano a longo prazo. Após a globalização, observa-se uma fase de “dissimulação”, na qual, dada a escala global das interações, deixa de haver a noção da direção da trajetória. De outro modo, o desfaseamento espacial e temporal entre ação e consequência torna impercetível a conexão causa-efeito. A última fase é de ativação, onde o mecanismo está plenamente estabelecido, agravando o poder disruptivo da crise e a incapacidade do sistema se opor à evolução da trajetória que se desenvolver. Estima-se que, com exceção das “tecnologias autónomas” e “redução de capital social”, as armadilhas possam estar numa fase avançada de evolução.

Não obstante, estas armadilhas podem ser agrupadas em três grandes grupos relativamente à natureza da interação: globais, tecnológicas e estruturais. Destes, dois estão dotados de um ciclo de reação positiva que se amplifica sistematicamente. Associado às armadilhas globais, o ciclo de seleção a muitos níveis atua principalmente através do processo de seleção cultural e cooperação mundial. Emerge daqui uma ordem social mais rígida, por sua vez menos apta a lidar com crises e com um grau maior de conflito. A organização social resultante leva a um crescimento mais acentuado, associado a uma excessiva extração de recursos. No caso das armadilhas tecnológicas, o ciclo vicioso exprime-se através de uma necessidade de resolver problemas sociais ou ecológicos através duma inovação tecnológica, que, por sua vez, leva a um novo problema ainda mais complexo. A inteligência artificial, novos compostos sintéticos nocivos e a ameaça nuclear são exemplos deste tipo de ciclo. As armadilhas estruturais referem-se à dissimulação das interações e a sua natureza. Caracterizam-se pelo desfaseamento espaço-temporal e envolvem a hiper-conectividade do ST.

O Ouro de Faraday.

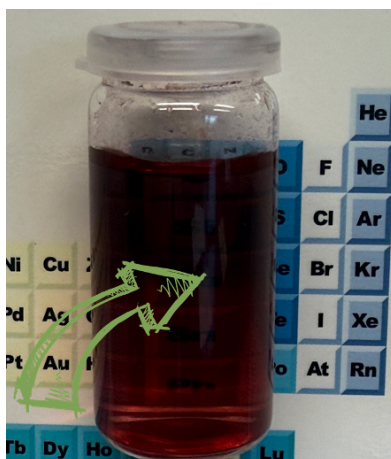
Tito Trindade

DQ/CICECO/UA

ARTIGO

12

No século XIX, o cientista Michael Faraday fez contribuições importantes para o estudo de colóides de ouro, ao investigar a interação entre a luz e esses sistemas. As descobertas feitas por Faraday são consideradas aspectos fundadores da área científica multidisciplinar que atualmente é designada por Nanotecnologia. Efetivamente, os colóides de ouro são constituídos por nanopartículas desse metal dispersas num meio líquido. A Nanotecnologia estuda materiais à escala nanométrica, desde a sua síntese, manipulação e aplicações que tomam partido das propriedades singulares desses materiais. Existem vários exemplos de aplicação de nanopartículas de metais em épocas passadas, contudo, atualmente a comunidade científica dispõe de conhecimento científico que permite, com rigor, sintetizar, caracterizar, reproduzir e antecipar as propriedades dos nanomateriais. Assim, o desenvolvimento de equipamentos avançados para observar a matéria à nanoescala, como a microscopia eletrónica de transmissão, foi determinante para o avanço deste domínio do conhecimento, com implicações importantes em várias áreas. Ao nível da medicina, por exemplo, as nanopartículas de ouro têm aplicações tecnologicamente modernas como em biossensores óticos e em terapias inovadoras.



O que são nanopartículas?

A palavra “nanopartícula” designa uma entidade muito pequena, cujo tamanho é convenientemente definido utilizando o nanómetro como unidade de medida de comprimento, ou seja,

o equivalente ao milésimo de um milionésimo do metro (10^{-9} m). Apesar da sua relativa pequenez, uma nanopartícula é um objeto gigantesco quando o seu tamanho é comparado com as dimensões dos átomos. Por exemplo, o raio atômico do hidrogénio é 53 picómetros (pm), portanto, o picómetro em relação ao nanómetro é uma unidade de dimensão mil vezes inferior (10^{-12} m). Tal como muitos outros termos contendo o prefixo “nano”, a palavra “nanopartícula” é utilizada amplamente hoje em dia, o que em parte se deve à importância crescente atribuída à Nanotecnologia. Esta integra conhecimentos e práticas multidisciplinares que procuram compreender as propriedades dos materiais com dimensões nanométricas, incluindo, nomeadamente, a sua síntese e manipulação, bem como o fabrico de dispositivos de baixa dimensionalidade que, inclusivamente, podem ser reduzidos até dimensões moleculares. Os objetos de estudo utilizados nestes processos apresentam dimensões típicas entre 1-100 nm, entendido como um intervalo com limites ajustáveis, já que para além de possuírem dimensões que viabilizam processos de miniaturização tecnológica, os nanomateriais adquirem especial importância por exibirem propriedades únicas que dependem intrinsecamente de efeitos de tamanho e da elevada área de superfície por volume de material.

Entre as diversas classes de nanomateriais existentes, as nanopartículas de natureza coloidal têm sido especialmente investigadas pelos cientistas, nomeadamente na área da Química. Estes estudos tiveram um crescimento acentuado a partir das duas últimas décadas do século passado, tanto ao nível da síntese química como na caracterização e aplicações, tendo estas por base as propriedades peculiares das nanopartículas. Apesar do prefixo “nano” estar justamente associado a uma ideia de modernidade tecnológica, existem nanomateriais que têm sido investigados desde há muito tempo, incluindo algumas aplicações que remontam a vários séculos. O ouro coloidal (FIGURA 1) é um sistema em que se conjuga exemplarmente uma ideia de atualidade conferida pela Nanotecnologia com vasta sabedoria acumulada ao longo do tempo.



FIGURA 1. Imagens que ilustram o metal ouro com diferentes estados de divisão das partículas. A) Suspensão de minúsculas lascas de ouro macrocristalino num licor. B) Coloide de nanopartículas de ouro dispersas em água.

Curiosidades com passado histórico dourado.

No *British Museum* encontra-se exposto o famoso cálice de Licurgo, trata-se de um artefacto do século IV, fabricado à base de vidro e armação de prata, cuja origem remonta à antiga civilização romana. O cálice tem paredes vítreas em alto-relevo que fazem alusão a uma lenda da mitologia grega que relata o fim penoso do rei Licurgo. Este rei trácio terá perseguido os seguidores de Dionísio que, entre outras competências, era o deus do vinho e da vinicultura. O aterrorizado Dionísio foi acolhido no regaço de Tétis, uma ninfa do mar, já o rei Licurgo sofreu duramente com o castigo dos deuses. O rei foi aprisionado por Ambrosia, uma bacante disfarçada de videira e, uma vez por ela atado, terá sido cego pelo filho de Crono, tendo o rei morrido algum tempo depois... Para além do valor histórico e artístico, o cálice de Licurgo é um objeto cientificamente muito precioso, entre outras razões por mostrar características de um material dicróico, algo muito raro na antiguidade. O cálice apresenta-se esverdeado quando iluminado exteriormente e observado devido à reflexão de luz, mas mostra cambiantes de vermelho quando no seu interior é colocado um foco de luz branca e é observado por transmissão de luz que atravessa as suas paredes. A cor observada no cálice depende pois da absorção e reflexão seletivas de radiação, consoante a posição da fonte de luz incidente. Esta propriedade ótica deve-se à presença de minúsculas partículas metálicas (ca. 50-100 nm) de prata e ouro dispersas na matriz vítrea, pelo que este material é entendido como um sistema coloidal, especificamente um sol sólido. O cálice de Licurgo tem agora reconhecida popularidade na comunidade científica, em grande parte devido ao desenvolvimento das nanotecnologias e, em particular, à utilização do microscópio eletrónico de transmissão como técnica importante na caracterização de materiais à escala nanométrica. Efetivamente, foi esta técnica microscópica que permitiu confirmar inequivocamente a presença de nanopartículas metálicas dispersas no vidro do cálice. Neste caso, as nanopartículas metálicas são constituídas por uma liga de prata e ouro, na proporção de 70:30, que conferem ao vidro a cor vermelha por absorção de luz no visível, cujo máximo foi determinado a 515 nm. O ouro, tal como a prata, adota uma estrutura cristalina cúbica de faces centradas (FIGURA 2).

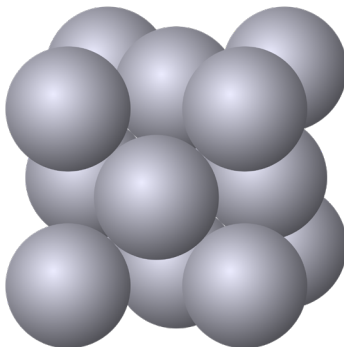


FIGURA 2. Célula unitária de um metal com estrutura cristalina cúbica de faces centradas. As esferas representam os átomos do metal.

Os raios atômicos destes metais também não são muito diferentes, para o átomo de prata 165 pm e 174 pm para o de ouro. Estas semelhanças facilitam a miscibilidade atômica do ouro e da prata que, em determinadas proporções, quando são fundidos e posteriormente arrefecidos formam ligas metálicas, por exemplo para aplicações em joalheria. A ligação entre átomos de prata e de ouro também ocorre numa liga metálica de ocorrência natural chamada “electro”.

Aparentemente, os antigos artífices vidreiros teriam o conhecimento necessário para recorrer a pigmentos obtidos a partir de metais finamente divididos, contudo, talvez seja exagerado considerar esta prática uma aplicação nanotecnológica. Nessa altura não existiria o termo “nanopartícula” e, supõe-se, o fabrico de objetos contendo nanopartículas metálicas resultaria da transmissão de práticas artesanais por via empírica, portanto não edificado em conhecimento de base científica. Contudo, a utilização de nanopartículas metálicas é reconhecida em outros objetos do passado, nomeadamente como pigmentos colorantes de vários materiais de vidro e de cerâmica. Assim, os vitrais coloridos que decoram algumas catedrais edificadas na Idade Média incorporam partículas de metais que lhes conferem cores características. O vermelho vibrante num vitral, por exemplo, podia ser obtido pela presença de nanopartículas de cobre dispersas no vidro. Também em peças cerâmicas e esmaltes são encontrados pigmentos na forma de metais finamente dispersos. O pigmento púrpura de Cassius contém nanopartículas de ouro, tendo sido descrito e divulgado por Andreas Cassius (filho), no século XVII. A preparação deste pigmento recorre ao composto inorgânico SnO_2 , dióxido de estanho (IV), como matriz dispersante das nanopartículas de ouro. A síntese química do pigmento de Cassius envolve a formação de um coloide de $\text{Au}(0)$ pela redução de um sal de $\text{Au}(\text{III})$ utilizando SnCl_2 como agente redutor, por oxidação de $\text{Sn}(\text{II})$ a $\text{Sn}(\text{IV})$, com formação de um pigmento contendo nanopartículas de ouro estabilizadas por SnO_2 , um composto também obtido através deste processo químico e que evita a agregação das partículas de ouro. Os pigmentos de Cassius são conhecidos e apelidados frequentemente pela tonalidade púrpura, contudo, podem conferir outros cambiantes, nomeadamente cor-de-rosa e vermelho, dependendo do tamanho de partícula e, da quantidade relativa de ouro e SnO_2 .

O amanhecer da Nanociência com o sol de Faraday.

Michael Faraday (1791-1867) foi indiscutivelmente um dos mais ilustres cientistas, com muitas e importantes contribuições para a humanidade que, ainda hoje, beneficia das suas descobertas em domínios diversos, como por exemplo na área do eletromagnetismo e das reações químicas de oxidação-redução. Porventura um facto menos conhecido é a sua contribuição na síntese e investigação das propriedades óticas de partículas de ouro dispersas num meio líquido, sistemas que vieram a ser designados posteriormente por coloides. Estes estudos foram realizados em meados do século XIX, portanto algumas décadas depois da primeira teoria atômica moderna formulada por John Dalton (1803) e alguns anos antes da publicação, por James Maxwell (1865), das equações para o eletromagnetismo. O trabalho de Faraday sobre

coloides de ouro é hoje reconhecido como uma contribuição seminal importante para o desenvolvimento da Nanotecnologia. Tal como ilustram os exemplos descritos na secção anterior, a preparação e aplicação tecnológica de ouro finamente dividido já eram factos conhecidos à época. Todavia, foi o estudo sistemático sobre a interação da luz com metais, realizado em centenas de amostras e depois publicado por Faraday, que colocou estes sistemas no campo científico, tanto ao nível da reprodutibilidade de processos de síntese química como na tentativa de interpretar as propriedades óticas observadas. Pelo relato de Faraday sobre a investigação que realizou nestes sistemas, é possível imaginar o fascínio que o terá invadido ao observar a paleta de cores obtida no decurso das suas experiências, nomeadamente a cor do fluido vermelho-rubi, que corretamente atribuiu à presença de ouro finamente dividido disperso em água. Este sistema aparentemente homogéneo é de facto constituído por minúsculas partículas sólidas dispersas e estabilizadas num meio líquido, ou seja, um coloide que Faraday designou por sol de ouro.

O interesse de Faraday no estudo das propriedades óticas de coloides de ouro terá surgido por uma eventualidade, enquanto preparava amostras laminadas de ouro metálico. O propósito da investigação de Faraday era, pois, estudar o fenómeno de interação da luz com os metais, no âmbito ainda mais vasto de compreender a natureza ondulatória da luz. O ouro é um metal dúctil, facilmente pode ser adelgado por martelada, contudo, Faraday pretendia estudar amostras ainda mais finas, pelo que recorreu a métodos químicos para preparar filmes finos do nobre metal. Entre as muitas experiências realizadas, Faraday recorreu a uma experiência de Química que consistiu em reduzir um sal de ouro dissolvido, utilizando para o efeito fósforo como agente redutor, obtendo no processo um sol de ouro com cor vermelha, algo semelhante ao que já tinha observado nas águas utilizadas para a preparação de filmes finos de ouro. Desde estas experiências de Faraday que foram desenvolvidos muitos outros métodos de síntese química de nanopartículas de ouro, mas a redução de um sal de Au(III) em fase líquida é ainda o processo mais utilizado para preparar coloides de ouro estáveis, embora usando condições experimentais diferentes, nomeadamente o recurso a um agente redutor mais amigável, como por exemplo o ácido cítrico.

Através da cor, os coloides de ouro (FIGURA 1 B)) evidenciam que as nanopartículas apresentam propriedades marcadamente distintas quando comparadas com as do material análogo na forma macrocristalina, por exemplo na forma de minúsculas lascas de ouro em suspensão num líquido, que exibem por reflexão de luz a cor dourada característica deste metal (FIGURA 1 A)), ou a cor azul quando na forma de películas finas observadas por transmissão de luz. Outro exemplo de alteração nas propriedades do ouro devido a efeitos de tamanho de partícula é verificado na temperatura de fusão. A temperatura de fusão do ouro macrocristalino é 1337 K (1064°C), contudo, o seu valor desce abruptamente quando na forma nanoestruturada e para dimensões inferiores a 10 nm.

Panorama dos recursos minerais em Portugal.

Uma Breve Análise.

António Moura*, **José Lopes Velho†**

*DGAOT-FCUP-ICT | †U. Aveiro

Com o desenvolvimento económico e com o aumento do nível de vida a nível global, a necessidade por recursos minerais tem vindo a registar níveis elevados de consumo e Portugal, apesar de ser um país pequeno, não foge à extração mineira no seu território, quer fazendo parte da pressão globalista, quer para satisfazer a procura interna. Neste breve artigo e, apesar da complexidade do tema, iremos fazer um esboço sobre a riqueza mineira nacional e como ela se enquadra com o mercado global dos recursos geológicos.



De um modo sintético, os recursos minerais em Portugal podem ser divididos em três grandes grupos: 1. Recursos metálicos, 2. Minerais e rochas industriais e 3. Rochas ornamentais. O primeiro inclui recursos que participam no mercado mundial sendo exportados na totalidade; Portugal não os transforma, apenas exporta concentrados de minérios porque não possui refi-

narias de metais (quando Neves Corvo entrou na fase de desenvolvimento mineiro — fase que durou 11 anos e que consistiu na preparação das infraestruturas de acesso ao minério e construção das lavarias do cobre e do estanho —, colocou-se a hipótese da construção de uma refinaria de cobre. A hipótese foi rejeitada por ser um investimento muito dispendioso e por existirem muitas refinarias no mundo — uma delas no sul de Espanha). O segundo grupo inclui recursos essenciais à dinamização da economia nacional, abastecem os mais diversos sectores (construção civil e obras públicas, cimento, vidro, papel, cerâmica, tintas e plásticos), mas não são, em geral, objeto de exportação. Finalmente o grupo das rochas ornamentais (por vezes designadas por pedra natural) tem uma importância grande internamente e em termos de exportação.

Recursos metálicos.

No território nacional exploram-se recursos metálicos há mais de 2000 anos (caso do cobre em Aljustrel). Na atualidade existe uma mina de importância mundial, a Panasqueira situada no Fundão (W, Cu e Sn) e duas minas muito importantes a nível europeu: Neves Corvo situada entre Castro Verde e Almodôvar [Cu-Zn-Pb-(Ag)] e Aljustrel, 20 km a norte de Neves Corvo. Ambas produzem concentrados mineiros, separados, de Cu, Zn e Pb. Existem ainda duas pequenas minas que exploram aluviões com cassiterite (Sn) e ilmenite (Ti), perto de Seixo da Beira (concelho de Oliveira do Hospital, Coimbra).

A mina da Panasqueira, explorada pela *Beralt Tin and Wolfram* (Portugal) S.A. (detida pela empresa multinacional *Almonty Industries Inc.*) é um caso extraordinário de longevidade mineira visto que mantém atividade praticamente ininterrupta desde 1894. Atualmente emprega cerca de 300 trabalhadores, mas em 1943 chegaram a laborar 5 790 pessoas, visto o volfrâmio ser muito necessário na indústria da guerra (Moura e Lopes Velho, 2012). Nos últimos anos a produção anual na Panasqueira tem rondado as 600 000 t de minério extraído, com os quais a *Beralt Tin* tem produzido as seguintes quantidades de concentrados (valores médios): volfrámito (800 t), calcopirite (700 t) e cassiterite (100 t).

Os jazigos de Neves Corvo e de Aljustrel situam-se na Faixa Piritosa Ibérica (FPI) uma área com cerca de 250 x 50 km, no Alentejo e Andaluzia, conhecida como sendo a maior província metalogénica do mundo de jazigos de sulfuretos maciços vulcanogénicos. Na FPI conhecem-se 8 jazigos com mais de 100 milhões de toneladas.

O jazigo de Neves Corvo explorado pela SOMINCOR (empresa detida a 100%, desde 2004, pela multinacional *Lundin Mining*) foi um caso célebre na indústria mineira europeia nas décadas de 1970 e 1980 por três motivos: a sua descoberta (o minério encontra-se a profundidades superiores a 250 metros, os altíssimos teores em cobre existentes em muitas partes do jazigo e a descoberta de estanho em teores económicos, facto único em toda a FPI). As massas de minério foram detetadas devido a uma anomalia gravimétrica provocada pelo contraste de densidade com a rocha encaixante (cerca de 4,5 g/cm³ no minério e 2,65 g/cm³ no encaixante). Quando a exploração começou, em 1988, Neves Corvo era o jazigo de cobre com o teor médio mais elevado no mundo (8% Cu). Em 1989 descobriu-se que também tinha quan-

tidades importantes de estanho a ponto de ter sido, até 2005, a maior mina de estanho da Europa. Em 2024 Neves Corvo extraiu cerca de 4,5 milhões de toneladas de minério dos quais obteve 28 888 t de cobre em 128 423 t de concentrado, 109 571 t de zinco em 239 071 t de concentrado e 6 395 t de chumbo em 22 933 t de concentrado.

O jazigo de Aljustrel foi uma mina de pirite (FeS_2) para a produção de enxofre, elemento base no fabrico de ácido sulfúrico e de cobre, em grande parte dos séc. XIX e XX. Atualmente a mina é explorada pela ALMINA – Minas do Alentejo, S. A. e produz concentrados de cobre, de zinco e de chumbo. A empresa está a fazer grandes investimentos na lavaria (a estrutura industrial onde o minério é concentrado) sinal de que a produção irá aumentar muito em breve. O minério é idêntico ao de Neves Corvo (maioritariamente sulfuretos maciços vulcano-sedimentares formados há cerca de 360 milhões de anos).

No ano 2023 o valor dos concentrados mineiros de cobre, zinco e chumbo (produzidos pela SOMINCOR e pela ALMINA) foi de 533 Milhões de euros, valor que atesta a importância económica destes recursos.

Na atualidade existe uma grande atividade de prospeção mineira na Faixa Piritosa Ibérica (por parte de várias empresas incluindo a ALMINA e a SOMINCOR)

Em 2023 as duas minas de estanho aluvionar e a mina da Panasqueira produziram 65 t de concentrados de cassiterite (mineral de fórmula SnO_2) valendo cerca de 1,26 milhões de €.



FIGURA. 1. O poço de extração do minério de Neves Corvo e a área industrial envolvente.

Fonte: <https://somincor.com.pt/en/operation/>.

Minerais e rochas industriais.

Neste grupo incluímos as rochas e os minerais que são usados essencialmente pelas suas propriedades físicas, excluindo-se aqui o sector das rochas ornamentais, que, pela sua especificida-

de, é abordado à parte. O principal recurso deste grupo são os agregados (rocha britada – maioritariamente granito e calcário) destinados aos sectores das obras públicas e da construção civil; o calcário é ainda usado na indústria cimenteira. Portugal possui manchas extensas destas duas rochas pelo que existem centenas de pedreiras que recorrem às mais modernas tecnologias de extração e de tratamento para abastecer o mercado nacional. Estas rochas conseguem satisfazer as necessidades internas, para o cimento são consumidos anualmente, cerca de 7 milhões de toneladas (calcário), para as obras públicas e construção civil, o granito é o grupo pétreo mais importante com um nível médio de extração entre 10 e 15 milhões de toneladas anuais, enquanto o calcário representará um valor ligeiramente abaixo (entre 9 e 10 milhões de toneladas anuais). A ardósia é uma rocha industrial (fabrico de mesas de bilhar, telhados e pavimentos) por vezes usada também como ornamental. A areia comum é utilizada sobretudo na construção civil, enquanto a areia siliciosa (>98 % SiO_2) com explorações importantes em Rio Maior e em Alhadas (Figueira da Foz) é usada fundamentalmente na indústria vidreira. Um outro sector importante é o da cerâmica, que inclui diversos ramos, sobretudo porcelana, faiança, grés porcelânico, sanitários, telhas e tijolos. Os problemas surgem quando são exigidas matérias-primas de elevada qualidade e, neste caso, o país é insuficiente, recorrendo-se a importação. É o caso do caulino para a porcelana e o sector dos sanitários. Outro caso é o dos feldspatos; apesar dos extensos afloramentos graníticos, o país é incapaz de satisfazer a procura interna. Quanto às argilas, o problema residirá mais em termos territoriais e não tanto na qualidade. Os depósitos encontram-se maioritariamente em zonas de elevada densidade populacional o que coloca uma pressão na extração (casos de Oliveira do Bairro, Barcelos, Pombal, Leiria, Aljubarrota, entre outros).



FIGURA 2. A exploração de areia siliciosa da empresa SIBELCO, em Rio Maior.
Fonte: <https://www.sibelco.com/en/locations/rio-maior>.

Nos plásticos e tintas, domina o carbonato de cálcio nacional que acaba por ser o mineral industrial mais versátil adaptando-se a numerosas aplicações industriais como a cal, os produtos químicos, os fertilizantes e pesticidas, os produtos de limpeza, entre muitos outros. Se bem que existam diversos minerais industriais que, potencialmente, poderiam abastecer os diferentes sectores industriais, o grande desafio é a qualidade e a quantidade, limitações geológicas que são difíceis de serem superadas. É o caso, por exemplo do talco (recurso geneticamente relacionado com a alteração de rochas magmáticas ultrabásicas), em que a pouca qualidade (contaminantes minerais) o coloca em aplicações menos nobres, caso dos fertilizantes e adubos, recorrendo-se à importação de talco de melhor qualidade (por exemplo do Afeganistão) para, através de mistura (*blending*) poder ser aplicado no sector dos plásticos. O gesso é utilizado como retardador de presa no cimento (gesso pardo) estando ausente graus de superior qualidade. Apesar da tendência geral no sentido de aumento da extração, existem recursos minerais que têm mostrado quedas assinaláveis de produção, casos do quartzo e do salgema (este recurso com produções de 631 295 t, em 2011, e 8 277 t em, 2021). Os motivos são diferentes, no primeiro faltam depósitos de qualidade e de dimensão, no segundo a globalização tem facilitado a importação de produtos químicos produzidos a partir do salgema oriundo de Espanha.

Devemos incluir aqui, também, os designados “minerais” sintéticos, fabricados em unidades adequadas e que fazem parte do panorama mineiro, se bem que de uma forma muito especial. Referimo-nos ao carbonato de cálcio (calcite), aplicado como carga funcional em *office paper*, fabricado em duas unidades com tecnologia norte-americana, na Figueira da Foz e Setúbal, que abastecem as respetivas unidades papeleiras.

Na TABELA 1 podem ver-se as produções e o valor dos minerais industriais, com extração em 2023.

TABELA 1. Estatísticas da produção de minerais e rochas industriais, em Portugal, em 2023 (dados provisórios). Fonte: DGE.

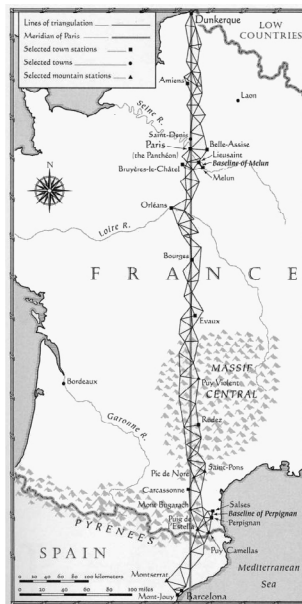
Minerais industriais	Toneladas	€x1000
Argila comum	1 468 714	4 033
Argila especial	209 204	1 847
Caulino	427 187	9 185
Areia especial	2 388 529	42 002
Calcário para indústria transformadora	2 473 041	6 535
Calcite para indústria transformadora	964 351	2 796
Feldspato	159 047	2 359
Mistos de quartzo, feldspato e lítio	31 231	294
Quartzo	9 106	88
Talco	5 673	312
Granito para outras indústrias	2 725 941	19 834
Sal-gema	4 963	139
TOTAL	10 866 987	89 424

A Terra, a Geodesia e o estabelecimento de unidades fundamentais.

José Alberto Gonçalves

OA/ FC/ U. Porto

A preocupação de perceber e representar o espaço que habitamos existe pelo menos desde a sedentarização e o desenvolvimento da agricultura. Era necessário medir os terrenos agrícolas, avaliar a dimensão da propriedade, planejar a construção de infraestruturas, explorar novos territórios, conhecer a nossa localização e navegar. Era, por isso, necessário medir o nosso território, tendo assim surgido a Geodesia, a ciência que estuda a forma, dimensões e campo de gravidade da Terra. Ela tem as suas raízes profundamente ligadas à Astronomia. Desde a antiguidade, os diferentes povos usaram a observação astronómica para se localizar e para medir a Terra. A observação astronómica permitia também a medição do tempo e o estabelecimento dos calendários. A Terra proporcionou-nos a definição de grandezas físicas fundamentais, como o comprimento e o tempo. Este texto centra-se sobretudo no estabelecimento das unidades de comprimento e na sua relação com a medição da Terra.



Atualmente, com a internet e as redes sociais, somos muitas vezes confrontados com opiniões surpreendentes, algumas das quais desafiando conhecimentos científicos estabelecidos há séculos. Um exemplo notório é a crença na Terra Plana. Muitos dos que tentam corrigir esse equívoco, usam argumentações que recorrem à exploração espacial: “Já viajamos ao espaço e vimos que a Terra é curva”. Mas..., era preciso ir ao espaço? A medição da Terra já era possível muito antes da era espacial, e quem tem a tarefa de a medir nunca assume uma Terra plana!

A preocupação de perceber e representar o espaço que habitamos existe pelo menos desde a sedentarização e o desenvolvimento da agricultura. Era necessário medir os terrenos agrícolas, avaliar a dimensão da propriedade, planejar a construção de infraestruturas, explorar novos territórios, conhecer a nossa localização e navegar. Era, por isso, necessário medir o nosso território, tendo assim surgido a Geodesia, a ciência que estuda a forma, dimensões e campo de gravidade da Terra. Ela tem as suas raízes profundamente ligadas à Astronomia. Desde a antiguidade, os diferentes povos usaram a observação astronómica para se localizar e para medir a Terra. A observação astronómica permitia também a medição do tempo e o estabelecimento dos calendários. A Terra proporcionou-nos a definição de grandezas físicas fundamentais, como o comprimento e o tempo. Este texto centra-se sobretudo no estabelecimento das unidades de comprimento e na sua relação com a medição da Terra.

A medição da Terra por Eratóstenes.

No século III a.C., Eratóstenes fez a primeira medição conhecida do raio da Terra, através da diferença de inclinação dos raios solares entre duas localidades no Egito: Assuão e Alexandria. Assuão localiza-se aproximadamente sobre o trópico de Câncer, isto é, à latitude igual ao ângulo de inclinação entre o equador e o plano da órbita da Terra (23,5 graus). Nesta latitude, ao meio dia solar do dia do solstício de verão, o sol está no zénite, o que faz com que os objetos não tenham sombra. Pelo mesmo motivo, era possível ver o reflexo do Sol num poço vertical, como se observa na FIGURA 1A). Estando Alexandria mais a norte, junto ao Mediterrâneo, observava-se que, também ao meio dia solar, o Sol não estava no zénite, razão pela qual os objetos, como um obelisco que lá existia, tinham sombra. Medindo a sombra (s) e a altura do obelisco (h), era possível determinar o ângulo, α , entre a direção dos raios solares e a vertical do lugar, que corresponde à diferença de latitude entre os dois lugares (FIGURA 1B)). Esse ângulo foi estimado como 1/50 de um círculo completo, ou seja, 7,2 graus. Assumindo que as duas localidades estão à mesma longitude, bastaria avaliar a distância entre os dois lugares para calcular o raio da Terra. Essa distância foi medida a passo, tendo sido estimada em 5000 estádias. A estádia era uma unidade de medida utilizada na Antiguidade, pelos gregos e pelos romanos, que correspondia a, aproximadamente, 190 metros.

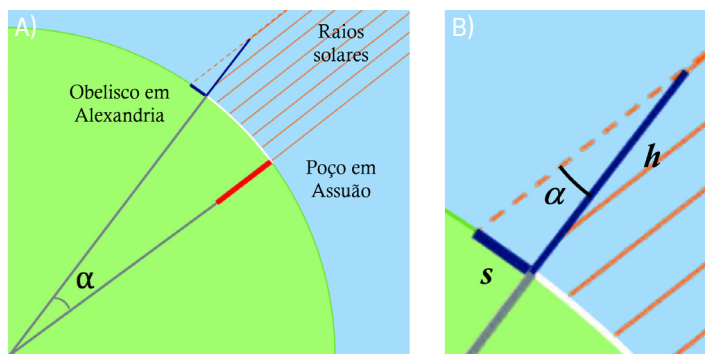


FIGURA 1. A) ângulo de diferença de latitude, α , entre Assuão e Alexandria e correspondente diferença de incidência dos raios solares. B) triângulo definido pela altura (h) e sombra (s) do obelisco.

Apesar de, por vezes, a medição efetuada por Eratóstenes ser referida como sendo muito precisa, não é tão certo que assim seja, em primeiro lugar, pelas características dos dois lugares considerados. A latitude de Assuão não é exatamente igual à do Trópico de Câncer, diferindo por cerca de 0,4 graus, ou seja, aproximadamente, 40 km. Além disso, os dois pontos não estão exatamente no mesmo meridiano, tendo uma diferença de cerca de 3 graus de longitude, o que introduz um erro na suposição inicial do cálculo. Acresce a este facto a incerteza sobre a unidade utilizada. A estádia correspondia a 600 pés, na versão romana, e a 625 na versão grega. Por sua vez o pé romano e o pé grego tinham dimensões diferentes. Havia também outras definições de estádia, não se sabendo qual a que Eratóstenes usou. Daqui resulta uma grande incerteza, inevitável com unidades definidas com base no corpo humano, que podem ter grandes variações em diferentes culturas e civilizações.

O Corpo Humano como referência para Unidades de Medida.

Antes da adoção de sistemas de unidades padronizados, as civilizações antigas baseavam as suas medições em referências naturais e acessíveis, como o corpo humano. Esta abordagem prática facilitava o comércio, a construção e outras atividades quotidianas, pois qualquer pessoa podia recorrer às dimensões do próprio corpo como padrão de medida.

Entre as unidades mais comuns derivadas do corpo humano, destacam-se:

- Polegada: aproximadamente o comprimento da falange do polegar.
- Palmo: distância entre a ponta do polegar e a do dedo mínimo com a mão aberta.
- Pé: equivalente ao comprimento do pé humano, com variações entre culturas e épocas.
- Côvado: distância entre o cotovelo e a ponta dos dedos (*cubit*, em inglês).
- Braça: medida correspondente à envergadura dos braços abertos de uma pessoa (*fathom*, em inglês).

Uma unidade também utilizada foi o passo. Apesar de não se referir à dimensão de uma parte do corpo humano, era facilmente reproduzível por uma pessoa, mas, tal como nestas unidades, apresentava uma diversidade de valores entre diferentes culturas e regiões.

Como é óbvio, unidades baseadas no corpo humano e em referências informais tinham um problema evidente: a sua variabilidade. O pé de uma pessoa não era igual ao de outra, e o comprimento do côvado podia diferir significativamente de região para região.

Naturalmente que, com a evolução do conhecimento científico e com a necessidade de rigor de muitas atividades humanas, tornou-se necessário criar padrões para as unidades de medida usadas. No século XVI, em Inglaterra, foram criadas barras de bronze para representar as unidades de medida utilizadas no país: a jarda, o pé (terça parte da jarda) e a polegada (1/12 do pé). Apesar disso eram unidades válidas apenas para um país e sem uma definição rigorosa independente daquele padrão. À medida que a ciência avançava e a navegação se tornava mais precisa, tornou-se evidente a necessidade de definir unidades de medida que fossem universais e independentes de padrões baseados no corpo humano. Foi assim que surgiram unidades baseadas em dimensões do nosso planeta.

A milha náutica.

No século XVII houve grande desenvolvimento na navegação, tendo os marinheiros necessidade de medir a sua localização. Estava já estabelecido o conceito da referência da posição através das coordenadas esféricas latitude e longitude. A determinação da latitude era feita com medições angulares astronómicas, sendo então possível o estabelecimento de uma unidade de comprimento através de uma diferença de latitude. O matemático e astrónomo inglês Edmund Gunter, que contribuiu para o desenvolvimento de instrumentação de medição topográfica, propôs, em 1624, como unidade para a navegação marítima, a milha náutica. Ela é definida como o comprimento, ao longo do meridiano, de um arco de um minuto. Relacionou a milha náutica à unidade de medida do pé então em uso, definindo-a inicialmente com o valor de 5867 pés. Posteriormente foi corrigido para 6120 pés, muito mais próxima do valor oficialmente adotado atualmente.

A milha náutica foi, e ainda é, uma unidade de referência para a navegação marítima. Com a evolução da Astronomia e da Geodesia passou a haver o conhecimento do achamento do nosso planeta, cuja forma é muito mais bem representada por um elipsoide de revolução. Nesta figura geométrica a latitude de um ponto passou a ser definida como o ângulo entre o plano do equador e a direção normal ao elipsoide nesse ponto. Desta forma, um arco de um minuto tem dimensão variável, com um valor mínimo de 1843 metros, no equador, e um valor máximo de 1862 metros, no polo. Vários valores da milha náutica eram utilizados durante os séculos XIX, próximos dos 1853 metros, tendo havido uma harmonização em 1929, pela Organização Hidrográfica Internacional, do valor de 1852 metros. Atualmente a milha náutica é utilizada para referir distâncias na navegação marítima, assim como para unidade de velocidade, o nó, correspondente a uma milha náutica por hora.

As triangulações geodésicas.

A necessidade de navegação no mar desenvolveu os métodos do posicionamento e da representação do planeta e impulsionou muito o conhecimento científico. Contudo, havia igualmente uma necessidade de medir e representar com pormenor a superfície dos continentes. Essa era uma tarefa da Geodesia, que começa a consolidar-se a partir do século XVII, aplicando a matemática e a física na medição terrestre. No início desse século, Snellius, nos Países Baixos, desenvolveu o método da triangulação geodésica, baseada em medições angulares rigorosas. Usou muito do conhecimento desenvolvido por Tycho Brae, astrónomo dinamarquês, e também interessado na Geodesia, que implementou métodos de medição angular precisas, ainda sem o uso de lunetas telescópicas. As medições eram feitas com quadrantes e círculos graduados, com grande dimensão para melhorar a precisão, mas ainda assim limitados porque se baseavam em visadas a olho nu. Com o desenvolvimento das lunetas, elas foram incorporadas em instrumentos para a medição geodésica, como os teodolitos. Estes aparelhos destinavam-se à medição de ângulos horizontais e verticais, tendo como referência a vertical do lugar.

A triangulação consiste na aplicação de conceitos simples da trigonometria. Conhecida a distância entre dois vértices geodésicos, A e B, e considerando um vértice geodésico C, visível a partir de A e de B, medem-se os ângulos, α e β , como se representa na FIGURA 2.

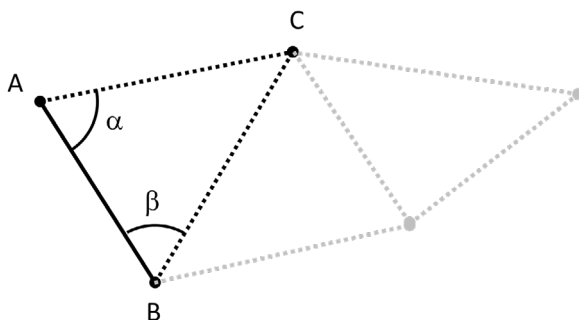


FIGURA 2. Triangulação: Conhecida a distância entre dois pontos A e B (vértices geodésicos), medem-se os ângulos α e β das visadas para o ponto C e calculam-se os lados AC e BC. O mesmo pode ser feito para outros triângulos (a cinzento).

Usando uma relação trigonométrica (lei dos senos), determinam-se os comprimentos dos lados AC e BC. No caso de dispormos de coordenadas retangulares dos pontos A e B, determinamos também as coordenadas do ponto C. A partir dos lados AC e BC poderão ser determinadas, pelo mesmo processo, coordenadas de novos pontos, em triângulos adjacentes. É assim possível ligar pontos afastados numa rede de triângulos que cubra uma grande região. O efeito da curvatura da Terra, e o conseqüente não paralelismo das verticais do lugar dos diferentes pontos, obriga à consideração dos triângulos como sendo esféricos e à aplicação da trigonometria esférica.

Microorganismos extremófilos na exploração espacial

De habitats sustentáveis, à procura de vida extraterrestre.

Marta Cortesão*, Inês Figueiredo‡, Afonso Mota*

*IACA/ U. Porto | ‡UKCA

Desde a chegada dos humanos à Lua, que a área científica da Astrobiologia tem crescido de mãos dadas com a exploração espacial, tanto robótica quanto humana, não só para estabelecer os limites da vida como a conhecemos, mas também para avaliar o potencial de habitabilidade de outros corpos planetários. Cientistas na área da Microbiologia do Espaço exploram soluções para ambos os desafios, através do estudo de microrganismos extremófilos, isto é, organismos que vivem em ambientes extremos. Por um lado, os extremófilos possuem mecanismos celulares e moleculares complexos e eficazes, que são cruciais para estabelecer os limites da vida (como a conhecemos) e informar sobre se a vida poderia, ou não, existir em mundos além da Terra. Por outro lado, é através da utilização de microrganismos extremófilos que se desenvolvem novas biotecnologias sustentáveis, tanto em habitats espaciais como terrestres. Neste artigo, enfatizamos o papel dos microrganismos para combater os dois principais desafios da nova era da exploração espacial: 1) na criação de sistemas bioregenerativos de suporte à vida e a obtenção sustentável de recursos *in situ*; 2) e na procura de exoplanetas habitáveis e a possível deteção de vida extraterrestre.

Astrobiologia e Microbiologia do Espaço.

Uma das questões mais antigas da humanidade “estamos sozinhos no Universo?”, tem tentado ser respondida pela exploração espacial. Começámos por desenvolver telescópios na Terra, e enviar sondas pelo espaço fora, até que, na década de 1960, enviámos humanos numa viagem inédita à Lua. Com a capacidade de ter seres vivos no espaço, surgiu a necessidade de entender como a vida se adaptava ao espaço. Foi nessa altura que foi criada a área científica altamente interdisciplinar que hoje é conhecida como Astrobiologia – que estuda a origem, a evolução e a distribuição da vida no Universo.

A Astrobiologia tem crescido de mãos dadas com a exploração espacial, tanto robótica quanto humana, para entender os limites da vida tal como a conhecemos e avaliar o potencial de habitabilidade de outros corpos planetários. Há 25 anos conseguimos estabelecer uma presença humana permanente no espaço através da Estação Espacial Internacional (EEI ou ISS em inglês).

Agora, estamos cada vez mais próximos de entrar numa nova era da exploração espacial, com missões de longa duração à Lua e a Marte. Missões entusiasmantes, como o Programa Artemis (liderado pela NASA e pela ESA) com o objetivo de estabelecer uma base na Lua, e as perspectivas para 2040 de levar humanos a Marte, representam um passo fundamental neste caminho.

Simultaneamente, os avanços em astrofísica conseguiram identificar cerca de 6000 exoplanetas — ou seja, planetas que orbitam uma estrela fora do sistema solar. Tantos exoplanetas expandem significativamente o número de mundos potencialmente habitáveis, para além da Terra. Na próxima década, o telescópio espacial mais poderoso para o estudo de exoplanetas — o *James Webb Space Telescope* (JWST) — proporcionará um grande salto na caracterização dos ambientes desses mesmos exoplanetas.

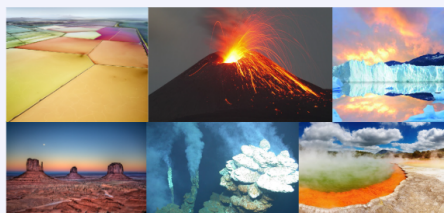
À medida que a exploração espacial progride com o objetivo de ter humanos a viver na Lua (e, mais tarde, em Marte), e à medida que os desenvolvimentos em astrofísica permitem a rápida identificação de novos mundos além do nosso sistema solar, a exploração espacial entra numa nova era. Esta nova era da exploração espacial tem dois principais desafios: i) como determinar o potencial de habitabilidade dos planetas fora do nosso sistema solar? e ii) como garantir que os *habitats* humanos na Lua sejam autossustentáveis e independentes de recursos da Terra?

Na área de investigação da Microbiologia do Espaço — uma subdisciplina da Astrobiologia — os cientistas exploram soluções para ambos os desafios, através do estudo de microrganismos extremófilos, isto é, organismos que vivem em ambientes extremos (FIGURA 1).



Microorganismos Extremófilos

Vivem nos ambientes mais extremos da Terra.



Por exemplo: em fontes hidrotermais sem luz nem oxigénio, ou em desertos quentes e secos com muita radiação ultravioleta!



Desafiam os limites da vida na Terra...



... e guiam a procura de exoplanetas habitáveis



Forjam novas biotecnologias...



... e viabilizam habitats sustentáveis

FIGURA 1. Microorganismos extremófilos.

Existem microrganismos extremófilos em vários domínios da vida, desde arqueas, bactérias, fungos, líquenes e até animais microscópicos. Por um lado, os extremófilos possuem mecanismos celulares e moleculares complexos e eficazes, que são cruciais para estabelecer os limites da vida (como a conhecemos). Ao estudar a capacidade dos diversos extremófilos de sobreviver, crescer e reproduzir-se em ambientes que desafiam as barreiras tanto físico-químicas como bioquímicas,

fornece informação valiosa sobre se a vida terrestre poderia, ou não, existir em mundos além da Terra. Por outro lado, é através da utilização de microrganismos extremófilos que se desenvolvem novas biotecnologias sustentáveis, tanto em *habitats* espaciais como terrestres.

Exploração espacial humana: usar microrganismos para *habitats* sustentáveis.

A Estação Espacial Internacional está equipada com sistemas de suporte de vida para os astronautas, onde é possível reciclar água e oxigénio a partir dos seus resíduos, por exemplo. Contudo, os astronautas a bordo dependem ainda de missões de reabastecimento a partir da Terra para obter uma ampla variedade de recursos, como alimentos, materiais para a estação, fármacos e equipamentos para experiências científicas. Para além disso, o transporte destes recursos envolve custos elevados, ultrapassando frequentemente os 10.000 euros por quilograma. Assim, é essencial desenvolver sistemas de suporte à vida mais sustentáveis e económicos, que não dependam destes reabastecimentos constantes ou de quaisquer outros recursos da Terra, que permitiriam não só aumentar a autonomia da EEI como também contribuir para o sucesso das futuras missões espaciais tripuladas de longa duração à Lua e a Marte.

Uma solução promissora são os Sistemas de Suporte de Vida Bioregenerativos (BLSS), que têm como principal objetivo reduzir ao máximo a necessidade de recursos externos. Estes sistemas consistem num ecossistema fechado e artificial que tenta mimetizar os ecossistemas naturais da Terra, através da integração de produtores (plantas), consumidores (seres humanos e animais) e decompositores (microrganismos) que interagem entre si com base em princípios ecológicos. O seu desenvolvimento combina as áreas da biotecnologia e da engenharia, e serão fundamentais para superar os desafios das missões espaciais de longa duração, permitindo reciclar e regenerar componentes essenciais à sobrevivência dos astronautas (oxigénio, água e comida).

A Agência Espacial Europeia (ESA) por exemplo, está a desenvolver um projeto cujo principal objetivo é criar um sistema “closed-loop” bioregenerativo para reciclar de forma eficiente resíduos sólidos, líquidos e gasosos durante estas missões de longa duração — o projeto MELiSSA (*Micro-Ecological Life-Support System Alternative*). Neste sistema, os astronautas assumem o papel de consumidores finais, os microrganismos funcionam como “agentes de reciclagem”, e as plantas e cianobactérias desempenham o papel crucial de produtores, todos de forma circular o que facilita a autossustentabilidade do sistema (FIGURA 2).

Estima-se que, para manter a sua saúde, cada astronauta requer cerca de 1,83 kg de comida e 2,50 kg de água por dia. Considerando que nas futuras missões à Lua e a Marte serão enviadas equipas de astronautas, transportar toda esta quantidade de recursos a partir da Terra iria exigir uma grande quantidade de carga para a nave, o que não seria viável e tornaria estas missões bastante dependentes do reabastecimento de bens essenciais a partir da Terra. Assim, mesmo que estes sistemas de suporte de vida bioregenerativos sejam criados aqui na Terra, não seria eficaz transportar todos os recursos necessários para o seu funcionamento a distâncias tão longas. Uma possível solução para este problema envolve a exploração dos recursos *In Situ* (IRSU). Esta abordagem consiste na utilização dos recursos “locais” que encontraremos na Lua e em Marte,

como o rególito (solo) da Lua ou a atmosfera de Marte, para produzir os bens essenciais que os astronautas necessitam para a sua sobrevivência. Desta forma, estaremos a contribuir para a redução das restrições de peso e de espaço que estas missões de longa duração impõem.

Atualmente vários grupos de investigação estudam o papel dos microrganismos tanto nos sistemas bioregenerativos de suporte à vida como na obtenção sustentável de recursos *in situ*. Na Terra, microrganismos como os fungos filamentosos (mais conhecido como bolor) são peças-chave na bioeconomia circular. Os fungos, como por exemplo do género *Aspergillus* e *Penicillium*, são usados na biotecnologia moderna para a produção de uma vasta gama de compostos de alto valor, como enzimas, antibióticos e conservantes alimentares. Estes fungos são também capazes de biominerar cobre e ferro, assim como extrair metais valiosos de componentes eletrónicos. Assim, uma das áreas de estudo da Microbiologia do Espaço tenta responder a duas perguntas: Como podemos transferir os processos eficazes de biotecnologia da Terra para o espaço? E como podemos utilizar os fungos para reciclar recursos em *habitats* espaciais?

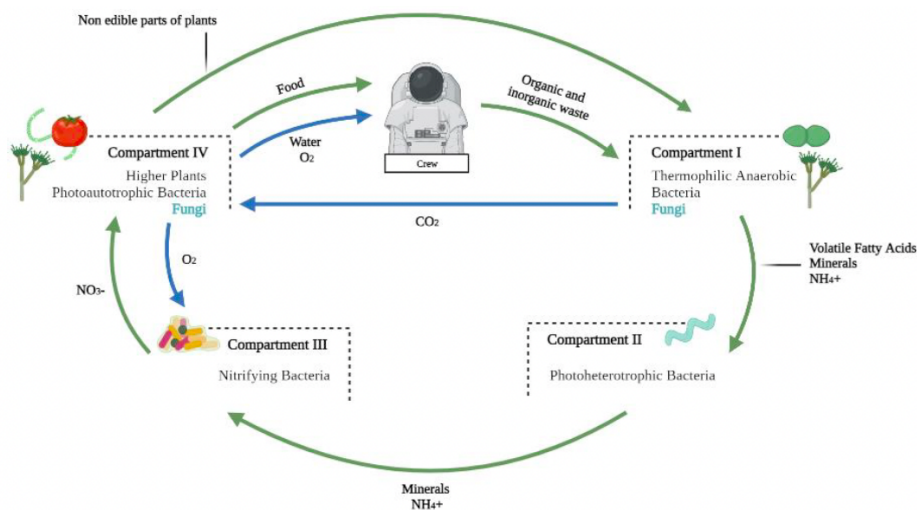


FIGURA 2. Esquema do projeto MELISSA (Micro-Ecological Life-Support System Alternative) mostrando o princípio do sistema bioregenerativo para reciclar de forma eficiente resíduos sólidos, líquidos e gasosos durante missões espaciais de longa duração.

Microorganismos na procura de vida extraterrestre: sistema solar e exoplanetas.

Na procura de vida fora da Terra, os cientistas concentram-se essencialmente em dois grandes domínios: o sistema solar e os planetas em órbita de outras estrelas, chamados exoplanetas. Tradicionalmente, a procura de vida centra-se na identificação de exoplanetas situados na chamada “zona habitável” da estrela, ou seja, a distância de um planeta à sua estrela que, supostamente, pode permitir que exista água líquida à superfície. No entanto, a definição de zona habitável baseia-se somente na Terra — afinal, sabemos que, cá, onde há água, há (quase) sempre vida. No entanto, descobertas feitas ao longo das últimas décadas vieram revelar o caráter simplista desta definição como uma regra rígida para a definição de um local habitável.

Atualmente, sabemos que a definição de habitabilidade envolve uma abordagem interdisciplinar, combinando conceitos da biologia, astronomia, química, entre outras áreas da astrobiologia. Mesmo cá na Terra, têm-se vindo a descobrir cada vez mais microrganismos extremófilos, que desafiam os limites da vida como a conhecemos. Desde cavernas profundas ao topo da atmosfera, há microrganismos adaptados para crescer confortavelmente em zonas vulcânicas, lagos ácidos, desertos áridos, e *permafrost* que não descongela há milhões de anos, entre muitos outros. Portanto, se todos estes locais são habitáveis na Terra... então e os outros ambientes lá fora, no espaço?

Começemos pelo nosso “quintal” – os corpos do sistema solar. Várias missões e sondas espaciais recentes têm proporcionado descobertas fascinantes, como a presença de vastos oceanos de água líquida debaixo das superfícies de várias luas de Júpiter e Saturno. Em alguns casos, como os de Europa (lua de Júpiter) e Encélado (lua de Saturno), foram até identificadas moléculas orgânicas complexas às suas superfícies. Também em Titã, uma outra lua de Saturno, sabemos que existe uma atmosfera rica em moléculas precursoras da vida, bem como ciclos atmosféricos e geológicos complexos e semelhantes aos da Terra, apesar da temperatura muito menor. Naturalmente, estes corpos situam-se muito fora da tradicional “zona habitável”, e mostram que os ambientes potencialmente habitáveis são mais comuns do que se imaginava. Além disso, missões como Perseverance em Marte procuram diretamente bioassinaturas, isto é, sinais químicos e físicos de que a vida possa ter existido no passado do planeta vermelho, ou possa até persistir na forma de extremófilos.

Saindo do sistema solar, tentamos também procurar sinais de habitabilidade em exoplanetas usando telescópios. Em particular, o telescópio espacial James Webb (JWST) tem revolucionado a investigação ao permitir a caracterização detalhada das atmosferas planetárias. Recentes deteções de compostos como vapor de água e dióxido de carbono nas atmosferas de exoplanetas próximos representam um avanço crucial na compreensão das suas condições de habitabilidade. Estes dados são fundamentais para avaliar a composição atmosférica e o potencial para suportar ambientes habitáveis nestes planetas.

Para ultrapassar as limitações atuais e avançar significativamente na procura de vida extraterrestre, é fundamental a integração de diferentes disciplinas e tecnologias emergentes. O futuro da exploração espacial e da astrobiologia requerem projetos internacionais e interdisciplinares que consigam fazer a ponte entre a microbiologia e a astrofísica, integrando o conhecimento da biodiversidade e os limites da vida na Terra na definição de parâmetros de habitabilidade universais, e na identificação de possíveis bioassinaturas para a deteção de vida noutros planetas. O uso de inteligência artificial vai também ter um papel importante, especialmente na análise de dados astronómicos e nos modelos preditivos de habitabilidade.

Através da Astrobiologia, uma área científica interdisciplinar, vibrante e inovadora, podemos aproximar-nos da resposta a uma das maiores perguntas da humanidade: Estaremos sozinhos no Universo?

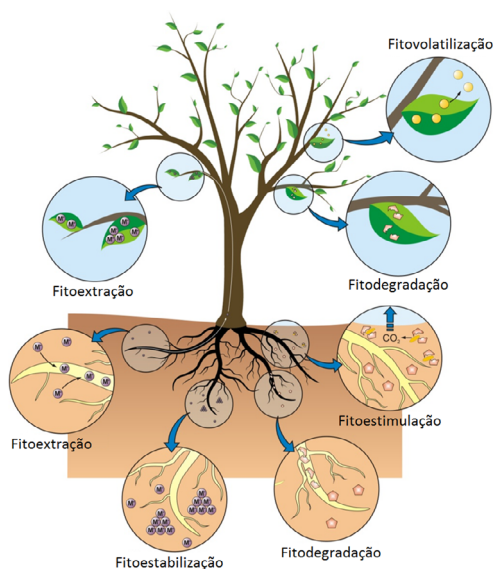
Zonas húmidas naturais e construídas como soluções baseadas na natureza

para a manutenção da boa qualidade da água dos ecossistemas aquáticos.

C. Marisa R. Almeida

CIIMAR | DQB/ FC/ U. Porto

As zonas húmidas naturais e construídas são, por excelência, Soluções Baseadas na Natureza (SbN) que contribuem para a manutenção da boa qualidade da água dos ecossistemas aquáticos, complementando com diversos outros benefícios (por exemplo, promoção da biodiversidade) e providenciando diversos serviços. A pressão da contaminação pode ser assim minorada, sendo, porém, imperativo adotar uma abordagem sistémica integrada, da fonte ao mar, na qual as zonas húmidas podem e devem ter um papel relevante. Integradas de forma holística, a implementação de SbN em sistemas hídricos contribuirá certamente para reduzir o impacto dos poluentes nas águas doces e marinhas.



As soluções baseadas na natureza (SbN) têm sido utilizadas há vários anos para melhorar a qualidade da água, reduzindo a emissão de matéria orgânica e nutrientes no meio aquático. Recentemente, estas soluções têm sido também implementadas para mitigar a disseminação de contaminantes persistentes e emergentes. As SbN não se limitam a ser uma infraestrutura verde, sendo definidas como “soluções vivas” inspiradas na natureza para enfrentar os vários desafios societários de forma eficiente quer em termos de recursos quer adaptabilidade, proporcionando simultaneamente benefícios económicos, sociais e ambientais. De facto, as SbN são soluções de engenharia concebidas para incorporar mais natureza nos ambientes urbanos, recreativos e marítimos, tirando partido dos ecossistemas naturais e das suas funções e serviços. As SbN estão integradas nos sistemas naturais e beneficiam múltiplas partes interessadas, sendo simultaneamente rentáveis, resilientes, adaptáveis e sustentáveis. Embora apresentem desafios, as SbN oferecem múltiplas vantagens que podem beneficiar toda a sociedade, contribuindo para a Agenda 2030 os [Objetivos de Desenvolvimento Sustentável](#).

As SbN contribuem diretamente para o *Objetivo de Desenvolvimento Sustentável* (ODS) 6, relativo a “Água potável e saneamento”, mas os serviços ecossistémicos prestados pelas zonas húmidas são transversais a outros ODS, como o ODS 1 (erradicar a pobreza), ODS 2 (erradicar a fome), ODS 12 (produção e consumo responsáveis) e ODS 13 (ação climática). Adicionalmente, considerando a aplicação das SbN e a sua localização, é possível contribuir com benefícios para os ODS 3 (saúde e bem-estar), ODS 7 (energia renováveis e acessíveis), ODS 11 (cidades e comunidades sustentáveis), ODS 14 (proteger a vida marinha) e ODS 15 (proteger a vida terrestre).

A pressão de contaminação, resultante de factores como a eutrofização, a presença de contaminantes emergentes e persistentes, o lixo marinho e os agentes patogénicos, tem vindo a aumentar de forma notória nos ecossistemas marinhos e de água doce. As zonas costeiras e os estuários constituem, por exemplo, alguns dos ecossistemas mais afetados pelos microplásticos (MPs) provenientes, sobretudo, de fontes terrestres e a presença de fármacos em estuários tem também sido reportada. Esta contaminação pode ter efeitos adversos nos organismos, incluindo a diminuição da reprodução, com potenciais impactos negativos na sustentabilidade das suas populações, e perdas económicas significativas nos serviços dos ecossistemas. Acresce a isto a ausência de informação sobre a ocorrência e os efeitos de muitos produtos químicos, em particular dos contaminantes emergentes, devido ao seu potencial para causar efeitos adversos nos animais aquáticos. Tal impõe também desafios às autoridades reguladoras para o desenvolvimento ou aplicação de políticas eficazes que limitem a emissão destes compostos e os seus impactos no ambiente aquático. Tais contaminantes podem ter um impacto negativo quer nos ecossistemas de água doce quer nos ecossistemas marinhos, pelo que para a sua mitigação é necessária uma abordagem integrada desde a fonte até ao mar, a abordagem “*from source-to-sea*”.

Nos anos mais recentes, diversas tecnologias com um elevado potencial de mitigação da contaminação química em sistemas aquáticos têm suscitado um interesse crescente. Entre

estas tecnologias destacam-se as SbN, que se apresentam como uma solução económica e eficaz a longo prazo. Nesse sentido, é possível aplicar diferentes abordagens, como as zonas húmidas naturais e construídas.

Conforme indicado pelo secretariado da convenção de *Ramsar*, “as zonas húmidas incluem uma grande variedade de *habitats* como pântanos, turfeiras, planícies aluviais, rios e lagos, e zonas costeiras como sapais, mangais e pradarias de ervas marinhas, mas também recifes de coral e outras zonas marinhas com uma profundidade não superior a seis metros na maré baixa, bem como zonas húmidas criadas pelo homem, como lagoas e reservatórios de tratamento de águas residuais” (FIGURA 1).

As zonas húmidas naturais são utilizadas como locais de descarga não controlada de diferentes fontes de águas residuais há longa data, devido ao seu papel na melhoria da qualidade da água. Atualmente, os estuários são, na maioria dos casos, recetores de contaminantes provenientes de múltiplas fontes resultantes das atividades que decorrem a montante e nas suas margens.

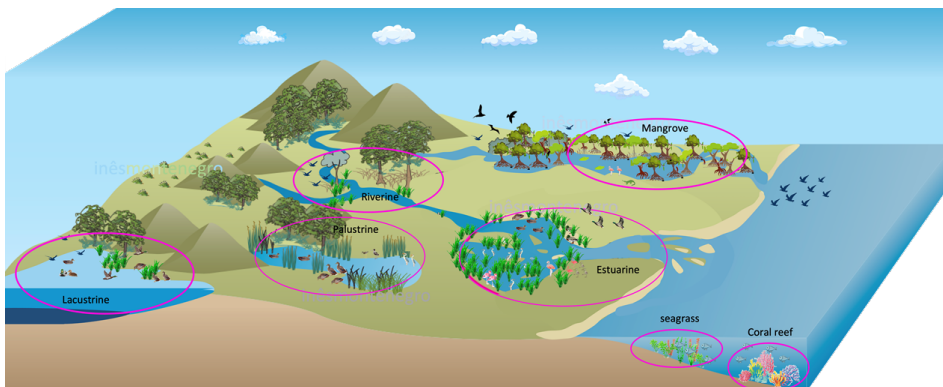


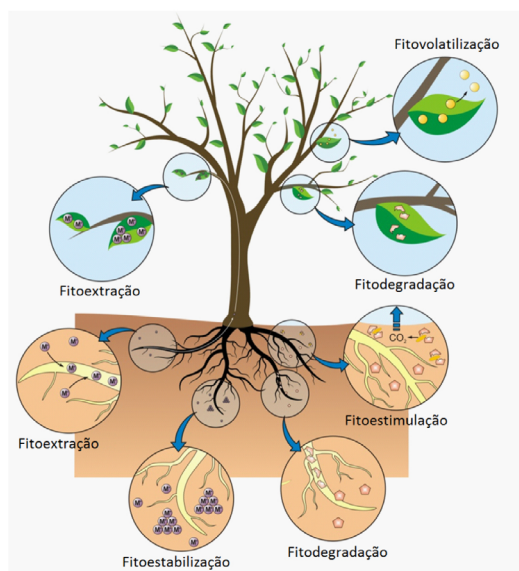
FIGURA 1. Representação de diferentes zonas húmidas.

Porém, os sapais existentes nestas zonas estuarinas podem atuar como filtros. Por exemplo, a remoção de contaminantes pelos sapais pode assegurar a manutenção ou melhoria da qualidade da água e dos sedimentos estuarinos. As plantas de sapal e as comunidades microbianas a elas associadas, nomeadamente os existentes na rizosfera (zona envolvente dos tecidos radiculares da planta) têm demonstrado potencial para reter/remover diferentes contaminantes, por exemplo, metais, hidrocarbonetos de petróleo e alguns fármacos e microplásticos, atuando como uma barreira à dispersão destes compostos no ambiente aquático. A biorremediação e a fitorremediação estão na base dos principais processos que ocorrem nestes ecossistemas.

A fitorremediação, consiste na utilização de espécies vegetais (árvores, arbustos, gramíneas e plantas halófitas, entre outras) e dos microrganismos associados à sua rizosfera para remover, degradar ou isolar substâncias nocivas ao ambiente. A etimologia da palavra fitorremediação é composta pelo grego *phyton*, que significa “planta”, e pelo latim *remedium*, que sig-

nifica “remediar” ou “corrigir”. Em comparação com a remediação clássica, a fitorremediação apresenta várias vantagens, nomeadamente: (i) é economicamente mais viável, utilizando os mesmos instrumentos e materiais que a agricultura; (ii) é menos disruptiva para o ambiente e não implica necessariamente que novas comunidades vegetais recolonizem o local; (iii) não são necessários locais extra de deposição; (iv) é mais suscetível de ser aceite pelo público, uma vez que é esteticamente mais agradável do que os métodos tradicionais; (v) evita a escavação e o transporte do material contaminado, reduzindo assim o risco de dispersão da contaminação, e tem potencial para tratar locais contaminados com mais de um tipo de contaminante. Todavia, apresenta algumas desvantagens, nomeadamente a sua dependência (i) das condições necessárias para o crescimento da planta (i.e., clima, geologia, altitude, temperatura), e (ii) da tolerância da planta ao contaminante. Acresce ainda que o tempo necessário para remediar os locais no geral excede o de outras tecnologias mais convencionais e a solubilidade do contaminante tem de ser controlada para evitar a possibilidade de lixiviação, o que poderá levar a maiores danos ambientais.

As técnicas de fitorremediação incluem diferentes estratégias, que podem decorrer simultaneamente, dependendo da estrutura química e das propriedades do contaminante e das características da planta (FIGURA 2).



- ❖ **Fitoextração** (acumulação de metais ou contaminantes orgânicos nas folhas, caules e raízes)
- ❖ **Fitoestabilização** (imobilização dos contaminantes nas raízes ou no solo)
- ❖ **Fitodegradação** (degradação dos contaminantes orgânicos por ação enzimática)
- ❖ **Fitovolatilização** (volatilização dos contaminantes através das folhas, transformando-os em formas menos tóxicas (ex. Hg))
- ❖ **Fitofiltração** (utilização das plantas para remover contaminantes da água, muito usada para substâncias radioativas)
- ❖ **Fitoestimulação** (estimulação dos microrganismos degradadores de contaminantes orgânicos)

FIGURA 2. Estratégias de fitorremediação (adaptado de Favas et al.).

A simbiose entre plantas e microrganismos presentes na sua rizosfera pode também ser vantajosa para potenciar a fitorremediação (protegendo a planta dos efeitos nocivos dos contaminantes) ou estimular a rizodegradação (a exsudação de compostos pelas raízes das plantas suporta uma comunidade microbiana diversa e resiliente). A rizodegradação (também designada por fi-

toestimulação ou biorremediação assistida por plantas) é a decomposição de contaminantes orgânicos por microrganismos que vivem no meio e que é reforçada pela presença da rizosfera. De facto, os exsudados das raízes das plantas, tais como açúcares, álcoois e ácidos orgânicos, atuam como fontes de hidratos de carbono para a microflora do solo e aumentam o crescimento e a atividade microbiana. Por exemplo, as plantas de sapal *P. australis* e *J. maritimus* potenciaram a degradação de hidrocarbonetos em sedimentos estuarinos pelos microrganismos. Por outro lado, os microrganismos podem estimular a fitoextração e a fitoestabilização de metais.

Apesar do extenso conhecimento sobre a fitorremediação e o seu potencial como ferramenta biotecnológica, bem como sobre o potencial das plantas de sapal para contribuir para a boa qualidade das águas superficiais, é importante identificar estratégias para potenciar a fitorremediação em zonas estuarinas e costeiras, para promover o papel das zonas húmidas naturais como SbN relevantes.

Tirando partido do conhecimento adquirido sobre zonas húmidas, as zonas húmidas construídas são por excelência uma SbN, sendo dos sistemas mais frequentemente implementadas. Estes sistemas recorrem, tal como nas zonas húmidas naturais, a processos naturais envolvendo o solo/substrato, a vegetação e os microrganismos associados, tendo como objetivo o tratamento de águas residuais ou outros tipos de água contaminada.

A volatilização, a fotodegradação, a sorção e a sedimentação, a absorção pelas plantas e a degradação microbiana são processos físicos, químicos e biológicos que ocorrem em simultâneo, contribuindo para a eliminação de vários tipos de compostos (FIGURA 3).

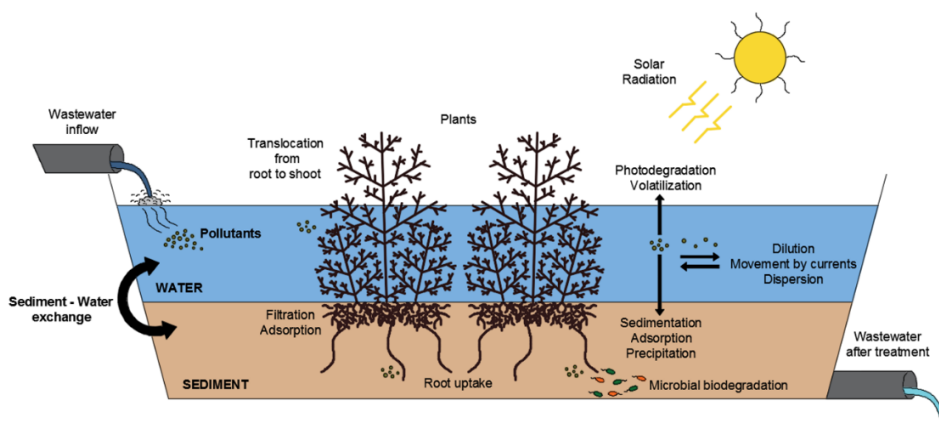


FIGURA 3. Principais processos de remoção de contaminantes em zonas húmidas construídas.

A volatilização está relacionada com a pressão de vapor dos compostos, pelo que os poluentes com valores de pressão de vapor mais elevados têm maior probabilidade de volatilizar, apresentando meias-vidas mais curtas.

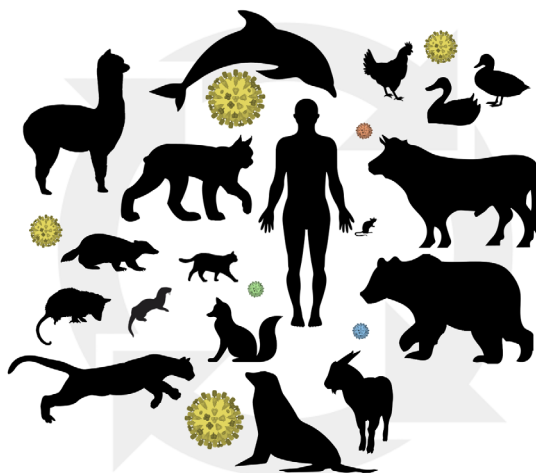
O vírus *influenza A* do subtipo H5N1.

Um problema atual à escala mundial?

Joana Abrantes

CIBIO | BIOPOLIS | DB/ FC/ U. Porto

Nos seres humanos, cerca de 70% das doenças infecciosas têm uma origem em animais selvagens e os vírus são os agentes patogénicos mais comuns, dada a sua elevada capacidade de mutação que lhes permite facilmente infetar novos hospedeiros e causar doença. Atualmente, a alteração das características do vírus da *influenza A* do subtipo H5N1 colocam questões sobre a possibilidade de ser a causa da próxima pandemia.



Doenças zoonóticas de origem viral.

Nos últimos séculos, as populações humanas têm sido afetadas por diversas doenças virais, como a SIDA, o Ébola, o Zika, ou, mais recentemente, a COVID-19. Em comum, todas estas doenças são causadas por vírus zoonóticos, isto é, por vírus originalmente presentes num animal vertebrado não humano no qual persistiam e eram inócuos (reservatórios ou hospedeiros naturais), mas que passaram a infetar os seres humanos (hospedeiros definitivos), onde se multiplicam ativamente, e causam doenças, muitas vezes, fatais. Em alguns casos, houve envolvimento de um hospedeiro intermediário onde a multiplicação do vírus provocou o apa-

recimento de novas mutações e lhe conferiu a capacidade de infectar o novo hospedeiro. Por exemplo, na COVID-19, os hospedeiros intermediários, ainda não totalmente identificados, desempenharam um papel crucial no aparecimento de mutações na proteína da espícula do vírus SARS-CoV-2 para que a sua ligação ao recetor existente nas células dos seres humanos e a sua subsequente infeção fosse possível. Adicionalmente, a transmissão de alguns destes vírus para os hospedeiros ocorre através de vetores. Os vetores são animais invertebrados que facilitam a dispersão dos vírus de um hospedeiro para outro. Os vetores mais comuns são os artrópodes, como os mosquitos, as carraças ou as pulgas. Estes podem transportar os vírus passivamente até ao hospedeiro final, sendo designados por vetores mecânicos, ou permitir a multiplicação dos vírus antes da infeção do hospedeiro definitivo, classificando-se como vetores biológicos. Nestes últimos incluem-se, por exemplo, o vírus do Zika que se multiplica no mosquito-tigre-asiático, *Aedes albopictus*, e no mosquito-da-dengue, *Aedes aegypti*.

Para além das taxas de mutação (e fixação) elevadas e dos efetivos populacionais numerosos, a infeção de múltiplos hospedeiros e a existência de vetores contribui para a contínua emergência de doenças zoonóticas virais. A estas características dos vírus juntam-se ainda as pressões antropogénicas, como a urbanização, a desflorestação, as alterações nas práticas agropecuárias, as translocações de animais, o comércio de animais selvagens e de animais vivos, a caça furtiva, o aumento da população humana, a mobilidade e as alterações climáticas, que favorecem o aumento da frequência de contacto entre animais selvagens, animais domésticos e seres humanos, o que proporciona as condições ideais para a ocorrência de saltos de espécies nos vírus e a emergência de doenças zoonóticas. Assim, as doenças zoonóticas virais representam uma ameaça socioeconómica global por afetarem a saúde pública, o bem-estar e a saúde animal, com efeitos nefastos na produção e na comercialização de produtos de origem animal.

O vírus da gripe A (ou o vírus influenza A).

Os vírus da gripe possuem um genoma segmentado de ARN de cadeia simples e polaridade negativa e pertencem à família *Orthomyxoviridae*. Esta família inclui os vírus da gripe A, B, C e D. Os vírus da gripe A e B são os principais causadores dos surtos de gripe sazonais em seres humanos. Os vírus da gripe B têm uma menor contribuição para as epidemias anuais de gripe, e ocasionalmente infetam focas. Os vírus da gripe C além de infetarem porcos, também infetam humanos, onde causam uma doença menos severa, e os vírus da gripe D apenas causam doença ligeira em gado.

Desde o início do século XX, os vírus da gripe A foram responsáveis por quatro pandemias com origem zoonótica, nas quais se incluem a pandemia de gripe espanhola de 1918 a 1920 que é considerada uma das piores pandemias de que há registo, pois estima-se que terá infetado cerca de um terço da população humana mundial e causado aproximadamente 50 milhões de mortes, e, mais recentemente, a pandemia de gripe A de 2009 que causou a morte a cerca de 17 mil pessoas. O principal reservatório dos vírus da gripe A são as aves aquáticas selvagens, incluindo patos, gansos e cisnes, onde não causam doença. Os vírus da gripe A têm elevada facilidade em atravessar a barreira de espécies, circulando também em aves domés-

ticas (galinhas, perus e codornizes), e em mamíferos como suínos e cavalos. A proximidade dos seres humanos aos animais domésticos parece facilitar a sua infecção pelo vírus da gripe A e poderá levar à emergência de pandemias.

A organização do genoma da gripe A em diversos segmentos separados (FIGURA 1) também promove este salto de espécies ao permitir a troca de segmentos quando ocorre a coinfeção de uma célula do hospedeiro com dois ou mais vírus. Esta troca pode criar uma descendência de vírus com um genoma constituído por uma mistura de segmentos de um ou mais vírus parentais com adaptações a diferentes hospedeiros, sendo particularmente relevante nos segmentos que codificam as glicoproteínas hemaglutinina (HA) e neuraminidase (NA; FIGURA 1). A hemaglutinina efetua a ligação dos vírus a recetores existentes na superfície das células do hospedeiro, os resíduos terminais de ácido siálico, o que facilita a entrada na célula. Após a formação de novas partículas virais, a neuraminidase atua removendo a ligação das partículas infecciosas recém-formadas (isto é, viriões) aos resíduos de ácido siálico através da hemaglutinina presente na sua superfície, o que permite a sua propagação para infecção de outras células do hospedeiro. Adicionalmente, o equilíbrio entre a atividade da hemaglutinina e da neuraminidase possibilita que os vírus atravessem a camada de muco que protege os sistemas respiratório e digestivo e infetem as células alvo do hospedeiro. Estas duas proteínas têm elevadas taxas de mutação, facilitando o aparecimento de mutações adaptativas a novos hospedeiros.

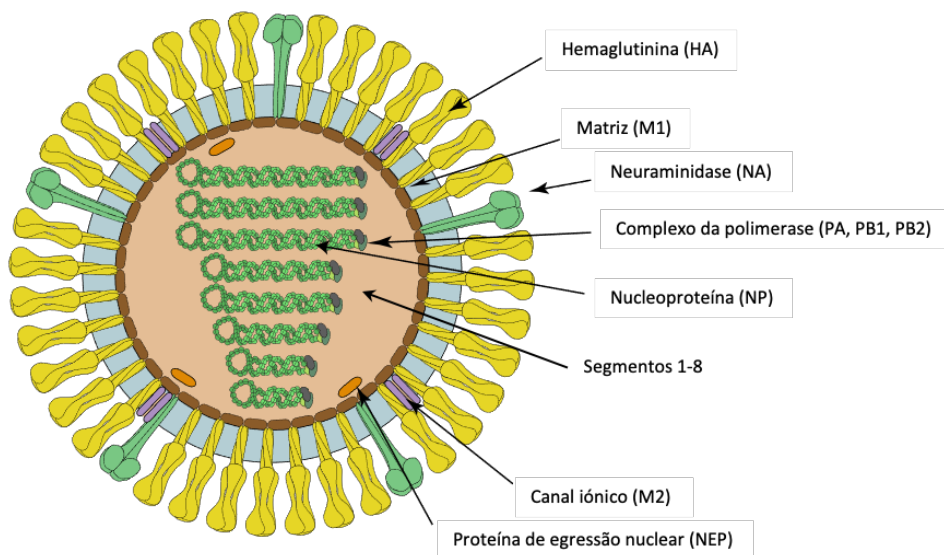


FIGURA 1. Representação esquemática de um vírus *influenza A* do subtipo H1N1. O vírus contém oito segmentos de ARN de cadeia simples que codificam diferentes proteínas virais. A polimerase viral é um complexo constituído pelas subunidades proteicas PA, PB1 e PB2. As glicoproteínas da superfície, hemaglutinina (HA) e neuraminidase (NA), são responsáveis pela entrada e libertação das partículas virais, respetivamente. A proteína M1 forma a matriz que se encontra por baixo do envelope do vírus (camada azul). O envelope deriva da membrana bilipídica da célula do hospedeiro. A proteína M2 é um canal de iões que faz a mediação da acidificação do vírus quando está nos endossomas. A proteína NEP exporta os segmentos do núcleo da célula do hospedeiro. A nucleocápside (NP) condensa o genoma de ARN segmentado numa nucleocápside helicoidal e, juntamente com as subunidades da polimerase, forma uma ribonucleoproteína para a transcrição, replicação e empacotamento do ARN. Adaptado de www.viralzone.expasy.org.

De acordo com a natureza das glicoproteínas hemaglutinina e neuraminidase, os vírus da gripe A são classificados em subtipos HxNy. Por exemplo, os vírus que causaram a gripe espanhola e a gripe A foram causadas por vírus do subtipo H1N1. Na gripe espanhola, um vírus H1N1 de origem aviária infetou humanos (e suínos). O vírus da gripe A de 2009 resultou de um vírus H1N1 de origem suína e tripla conjugação, tendo-se formado um genoma viral com dois segmentos de linhagens aviárias, um de linhagem humana, três de linhagens (clássicas) de suínos da América do Norte e dois de linhagens de suínos da Eurásia. Esta composição genómica facilitou o salto de espécies para os seres humanos e tornou o vírus capaz de se disseminar de forma eficiente entre humanos.

A preocupação atual: o vírus influenza A do subtipo H5N1.

Em 1996, o vírus *influenza A* do subtipo H5N1 foi identificado pela primeira vez em aves aquáticas domésticas. Em 1997, juntamente com um surto de H5N1 em aves domésticas, foram detetados os primeiros casos de infeção zoonótica em Hong Kong, em que das 18 pessoas infetadas, seis sucumbiram à infeção. Em 2003, o vírus surgiu na Ásia em aves selvagens e causou surtos em aves domésticas e dois casos fatais em humanos. Entre 2003 e 2005, o vírus disseminou-se de aves selvagens para aves domésticas em África, no Médio Oriente e na Europa. A evolução da HA do vírus originou diferentes clados e sub-clados e, embora a maioria destes se tenha extinguido, o clado 2.3.4.4b tornou-se dominante e circula amplamente em aves selvagens. Esta ampla circulação resultou num número sem precedentes de espécies de aves selvagens e domésticas afetadas e aumentou a probabilidade de animais mamíferos contraírem o vírus através do contacto com carcaças de aves infetadas ou ambientes contaminados.

Entre 2003 e 2023, e em particular entre 2020 e 2023, assistiu-se a um aumento significativo do número de espécies de mamíferos fatalmente infetados, quer terrestres, quer aquáticos, como raposas, guaxinins, martas, furões, cães-mapache, texugos-europeus, lincos-pardos, lincos-euroasiáticos, pumas, gatos, lontras, focas, leões marinhos, golfinhos, toninhas-comum, ursos polares, gambás-da-Virgínia, murganhos, alpacas, cabras e vacas, assim como de uma expansão geográfica massiva. Apesar da maioria das infeções em mamíferos parecer limitada a poucos casos, existem relatos de surtos com elevada mortalidade, o que parece indicar o aparecimento de mutações adaptativas no vírus H5N1 que tornam a transmissão mamífero para mamífero possível. Adicionalmente, a atual circulação deste vírus em múltiplas espécies de mamíferos, incluindo em animais domésticos, poderá favorecer a emergência de estirpes virais com uma ainda melhor capacidade de transmissão entre mamíferos, mas também para e entre seres humanos. Assim, atualmente, o H5N1 constitui uma ameaça para a saúde animal e para a saúde pública.

Enfrentar o problema: Uma Só Saúde.

Dada a ameaça que os vírus da gripe representam para a saúde humana, a Organização Mundial de Saúde (OMS), juntamente com outras entidades e governos, estabeleceu o programa de vigilância mundial *Global Influenza Surveillance and Response System (GISRS)* em 1952. Este sistema providencia, por exemplo, informação para o desenvolvimento de vacinas adequadas aos vírus da gripe sazonais e analisa os vírus em circulação em hospedeiros não humanos para determinar o risco de pandemia.

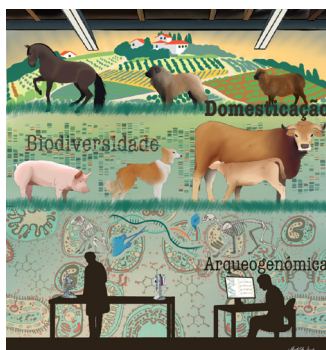
No entanto, a circulação do vírus *influenza A* do subtipo H5N1 em múltiplos animais selvagens e domésticos e em proximidade com os seres humanos e as suas atividades, a transmissão entre espécies, a sua dispersão mundial ou a mortalidade expressiva associada indicam que é uma ameaça não só para a saúde humana, mas também para a saúde animal e do meio ambiente. Assim, o conceito “Uma Só Saúde” é essencial no contexto do H5N1 para antecipar e mitigar a eventual emergência de uma pandemia, e deverá privilegiar estratégias de vigilância de aves selvagens e domésticas e de mamíferos para a deteção precoce de surtos, de casos em seres humanos, e do meio ambiente para uma rápida remoção de carcaças de animais infetados para evitar a propagação viral. Em paralelo, a caracterização dos genomas dos vírus em circulação poderá ser essencial para identificar mutações adaptativas ou novas composições genómicas, que poderão ser testadas experimentalmente em condições altamente controladas, e assim determinar o potencial pandémico. Finalmente, este conhecimento deverá estar acessível para acelerar a implementação de respostas globais concertadas e otimizadas para a contenção, controlo e erradicação.

Arqueogenómica e biodiversidade dos animais domésticos.

Ana Elisabete Pires^{*,†}, Catarina Ginja^{‡,†}

^{*}MVET/CECAV | FMVL/ U. Lisboa | [†]CISA | FMV/ U. Lisboa | [‡]BIOPOLIS | CIBIO/ U. Porto

Este artigo explora a origem e o desenvolvimento de espécies de animais domésticas através de uma análise diacrónica, mencionando alguns dos processos evolutivos envolvidos. Estes processos, orientados pelo Homem, mas também condicionados pela seleção natural, conduziram ao panorama atual em que raças distintas, com características genéticas e fenotípicas únicas, estão reconhecidas e são valorizadas em todo o mundo. As raças autóctones Portuguesas representam um valioso património cultural e genético, adaptado às condições locais, mas enfrentam ameaças de extinção devido à sua reduzida dimensão populacional e inerentes consequências. As alterações sociais e económicas das comunidades rurais humanas, como sejam o abandono do território e das atividades agrícolas, agravam o problema. A arqueogenómica surge como uma ferramenta valiosa para aprofundar o estudo de populações através da análise de ADN recuperado de restos arqueológicos, e assim melhor compreender as trajetórias evolutivas de cada espécie. Os principais desafios encontrados são a reduzida disponibilidade de restos arqueológicos bem preservados, conteúdo em ADN vestigial, fragmentado e quimicamente degradado, bem como a constante otimização dos processos laboratoriais e bioinformáticos que exigem elevada especialização dos investigadores. Os resultados da nossa investigação são divulgados em revistas da especialidade com revisão pelos pares e, também, através de iniciativas artísticas respondendo ao compromisso de contribuir para a literacia científica de um público mais vasto.



Raças autóctones de Portugal.

Portugal apresenta um extenso património biológico animal. Existem múltiplas raças de bovinos (15), ovinos (16), caprinos (6), suínos (3), equídeos (6), galináceos (5), canídeos (11) e até de abelha (1).

Estas raças têm características únicas: são reservatórios de variabilidade genética para a espécie a que pertencem e apresentam maior rusticidade do que as raças comerciais de dispersão global. Por exemplo, têm maior resistência a doenças — parasitas, vetores e agentes patogénicos, bem como revelam uma melhor adaptação às condições locais, terreno, clima, etc., mantendo as funções para as quais foram selecionadas. Desde o Neolítico, diferentes povos trouxeram consigo práticas e culturas que influenciaram a criação de animais domésticos, deixando marcas na diversidade das raças autóctones. No que respeita aos bovinos, estudos genómicos confirmaram que algumas das nossas raças, como a Barrosã, partilham certas variantes genéticas com gado taurino do Norte de África, consequência de cruzamentos (fluxo genético) que podem ter ocorrido muito antes da influência Islâmica na Península Ibérica.

Como todos sabemos, a nível mundial, a exploração intensiva dos animais úteis para a alimentação humana tem um lado negro em termos de bem-estar animal e de consequências nefastas para o meio ambiente, como sejam condições de cativeiro e falta de pastagens ao ar livre, seleção sexual que implica o abate de indivíduos, remoção das crias lactentes em idade precoce, crescimento acelerado com reforço de antibióticos, etc. Infelizmente, muitas raças autóctones enfrentam risco de extinção devido a alterações profundas no meio rural e nas práticas de agricultura tradicionais. Uma das principais consequências traduz-se na redução dos efetivos populacionais destas raças (número de animais reprodutores), também, como resultado da sua substituição e/ou ao cruzamento com raças comerciais transfronteiriças (diluição genética). Um exemplo paradigmático é o dos bovinos de raça Marinhola, cuja principal atividade estava associada à pesca artesanal — na Arte Xávega — apesar de serem tradicionalmente explorados para várias aptidões, como sejam o trabalho nos campos agrícolas e a produção de vitelos e leite para consumo humano, a crescente mecanização e substituição pela raça Holstein-Frísia na produção leiteira, terão contribuído para o seu declínio.

De forma análoga, o êxodo rural, a diminuição da atividade pastoril e a regressão da população de predadores selvagens, como o lobo ibérico, impactam negativamente a necessidade da presença de cães autóctones de raças de proteção de gado, colocando-as em risco. As raças autóctones como o Cão da Serra da Estrela, o Cão de Castro Laboreiro, O Rafeiro do Alentejo e o Cão de Gado Transmontano enfrentam esse desafio. Raças como as de condução de gado — Cão da Serra d'Aires, Barbado da Terceira e Cão de Fila de S. Miguel, também. O risco é multifactorial, deve-se à redução de exemplares (risco demográfico, raridade) e não havendo suficientes exemplares, um risco de perda de variabilidade genética (risco genético, por aumento de consanguinidade por cruzamento entre indivíduos aparentados com possível redução de capacidade de adaptação).



FIGURA 1. Fotografia de bovino autóctone da raça Mirandesa. Fotografia: Joaquim Pedro Ferreira.

Preservar estas raças significa garantir a manutenção da biodiversidade global e proteger um património genético e cultural de valor incalculável (e provavelmente irrepetível). Os criadores de gado e os canicultores desempenham um papel essencial na preservação das raças autóctones. Fica aqui uma palavra de apreço, pois o seu trabalho e dedicação contribuem para a sustentabilidade dos ecossistemas, ajudando na fertilização dos solos, no controlo de pragas, no controlo de matos e consequente prevenção de incêndios florestais, na manutenção da agro-biodiversidade e das paisagens rurais. Além disso, os produtos de qualidade derivados destas raças, como carne, leite e queijo, lã, possuem um valor acrescentado associado à utilização de recursos locais e são cada vez mais procurados por consumidores que valorizam a produção sustentável e tradicional.

Arqueogenómica.

A arqueogenómica surge como uma ferramenta relativamente recente, mas fundamental, permitindo estudar as origens, a diversidade e a estrutura genética das populações animais numa perspetiva diacrónica, i.e. ao longo do tempo, e multidisciplinar. Os materiais disponíveis são os restos ósseos ou dentes de animais, escavados por arqueólogos/zooarqueólogos que primeiramente identificam a que espécie pertencem esses restos recorrendo a informação odontométrica e osteométrica do esqueleto. A partir destes restos e seguindo protocolos bem estabelecidos de amostragem, incluindo a criação de bases de dados e repositórios 3D das peças, o material genético – ADN antigo – pode ser extraído a partir de apenas miligramas de material osteológico. Estes métodos estão em constante otimização, são implementados em laboratórios de referência com condições adequadas para estes procedimentos. De forma resumida, as condições devem garantir um acesso restrito a poucos elementos, uma circulação dos investigadores de

zonas mais limpas para menos limpas, espaços separados, com ambientes independentes para diferentes fases do procedimento. Cada sala deverá ter pressão positiva e ser de fácil limpeza e descontaminação (e.g. com luz ultravioleta durante a noite por exemplo). Desta forma podemos minimizar e controlar possíveis contaminações. Apenas algumas amostras devem ser processadas em simultâneo. O recurso a réplicas do procedimento integral para cada amostra e a monitorização de cada etapa por inclusão de controlos negativos assegura uma interpretação dos resultados de forma mais segura. Os dados genómicos são obtidos por sequenciação de alta densidade com equipamento sofisticado. A análise bioinformática destes dados é extremamente complexa, os métodos exigem também constante otimização e é realizada por investigadores altamente especializados. A arqueogenómica tem uma índole multidisciplinar e está, na interface das ciências naturais (biologia, genética), da informática (bioinformática, computação, modelação) e das humanidades (arqueologia, zooarqueologia, história, geografia).

Assim que um animal morre inicia-se a degradação dos seus tecidos, células e conteúdo celular (processos tafonómicos). Tipicamente o ADN antigo recuperado de peças esqueléticas enteradas há muito tempo, apresenta-se em reduzidas quantidades (por vezes vestigiais), frequentemente fragmentado e com alterações químicas (lesões) que aportam desafios à identificação da espécie (autenticidade), da variante genética em estudo e da sua frequência na amostra.

Na Península Ibérica, com um clima temperado e quente, a recuperação de ADN antigo é ainda mais difícil, devido ao efeito prejudicial que a temperatura exerce na molécula de ADN original. Acresce ainda o perigo de contaminações caso não sejam tomadas as devidas precauções durante a manipulação destes materiais até à recolha de amostras, de osso ou dente, em ambiente condicionado e durante a manipulação no laboratório. Recomenda-se o recurso a material arqueológico recém-escavado e mantido, após escavação, a baixa temperatura e sem grandes oscilações.

Só por curiosidade, foi possível recuperar ADN ambiental a partir de amostras de sedimentos recolhidas na Gronelândia e reconstruir parte de um ecossistema de há 2 milhões de anos. Os dados genómicos mais antigos obtidos até agora de restos animais são de dois espécimes de mamute com mais de 1 milhão de anos, recolhidos na Sibéria, e de um cavalo do Yukon, no Canadá, datado de há 780–560 mil anos.

Importa salientar que a análise genómica de apenas um indivíduo pode ser, mesmo assim, extremamente informativa, pois representa parte da história evolutiva de uma determinada população. Um indivíduo contém informação genómica dos seus antepassados e ao analisá-lo ficamos a saber algo sobre esses ancestrais, mesmo que estes não sejam encontrados no registo arqueológico nem estudados diretamente.

As marcas deixadas nos genomas pelos processos evolutivos atrás mencionados, podem ser recuperadas, analisadas e interpretadas. Por exemplo, uma súbita perda de variabilidade num determinado marcador genético, associado à produção de leite, num determinado momento cronológico, pode significar que esses antepassados exerceram uma seleção para essa característica prevalecer nos animais que exploravam. A seleção intensiva implica perda de va-

riabilidade genética (desaparecem outras variantes associadas àquela característica) e eventualmente a fixação de determinadas variantes de particular interesse. A seleção para características de interesse reduz também a variabilidade genética em regiões do genoma adjacentes, criando blocos de homozigotia, podendo produzir efeitos associados não previstos noutros genes. Um aumento da consanguinidade nalgumas raças, como consequência da tentativa de fixar características físicas (por vezes estéticas e extravagantes) ou produtivas, pode levar ao aparecimento de situações nefastas denominadas de depressão endogâmica. Por exemplo, problemas do desenvolvimento como assimetrias, aumento da ocorrência de doenças genéticas de natureza recessiva (que não se manifesta no indivíduo heterozigótico, mas que pode ser transmitido à descendência), menor fertilidade, fecundidade mais baixa e, consequentemente, um número de descendentes mais reduzido, maior mortalidade, menor longevidade, etc.

As inferências que podemos fazer a partir de dados genómicos, bem como os principais estudos desenvolvidos em Portugal na área da arqueogenética, estão descritos num artigo de revisão publicado recentemente. Foram escavados restos de cães pré-históricos na Península Ibérica, datados de há 5.000–4.000 anos, no período Calcolítico (ou Idade do Cobre), exibindo diferenças osteométricas, em relação à sua altura ao garrote, que interpretamos como sendo o reflexo de uma intenção para a manutenção dessa diversidade provavelmente associada a uma tarefa como caça (para os mais baixos) ou guarda (para os mais altos).

A nossa equipa conseguiu sequenciar os primeiros genomas de quatro bovinos Africanos da Idade do Ferro (>2500 anos). Foi, assim, possível revelar que o ancestral selvagem – o auroque Africano – contribuiu para os genomas de bovinos domésticos do Magreb, na Tunísia. Esta evidência é fundamentada pelo ADN nuclear (herdado de ambos os progenitores) e, também, pelo ADN mitocondrial (as máquinas energéticas das células que existem em múltiplas cópias e que são herdadas pela via materna). Estes resultados reacenderam o debate sobre a eventual domesticação de bovinos no Norte de África, uma questão que é amplamente debatida pela comunidade científica, entre arqueólogos e geneticistas. Um dos objetivos da nossa investigação sobre as origens e trajetória evolutivas dos bovinos Ibéricos consiste em compreender em que medida a elevada diversidade genética que observamos no gado autóctone resulta de hibridação, isto é cruzamento, com os auroques que outrora existiram nesta região. Temos já sequenciados genomas de auroques do neolítico e do calcolítico (com mais de 5000 anos) que nos vão fornecer informação-chave sobre este assunto.

Uma análise preliminar de restos de ovelhas do período Romano revelou a sua afinidade com raças atuais da Península Ibérica e do Mediterrâneo, e uma diferenciação acentuada do Merino Ibérico (raças de lã fina) provavelmente associada a práticas de criação intensiva ao longo de séculos. Já os cavalos que viveram aqui há milhares de anos pertenciam a uma linhagem única que acabou por desaparecer sem deixar descendentes nos cavalos atuais. O porco é outro caso curioso: ao longo dos séculos, os porcos domésticos cruzaram-se continuamente com os javalis selvagens, ao ponto de quase substituírem as linhagens originalmente trazidas

do Sudoeste Asiático na época do Neolítico. Fica evidente a enorme complexidade de processos demográficos que conseguimos inferir, também, por recurso a análises arqueogenómicas e que influenciaram as raças que conhecemos atualmente.

Arte e Ciência.

Com uma outra perspetiva, os resultados destes estudos são partilhados com públicos mais amplos, de várias escolaridades e idades, através de iniciativas com carácter artístico e de comunicação de ciência. Desta forma, promove-se um envolvimento mais profundo com o passado e pratica-se uma maior sensibilização para o património cultural e biológico.

Exemplos de materiais desenvolvidos pela nossa equipa de investigação são:

- O livro chama-se [Esses Osso: 39 Imagens e trinta e seis poemas animais](#). Fotografia: Paulo Gaspar Ferreira. Seleção de poemas: Isaque Ferreira. Paisagem sonora: Brendan Hemsworth. Curadoria: Catarina Ginja. Porto 2017. Os fios condutores deste trabalho artístico são as peças arqueológicas e as emoções que causam. Cultivámos a liberdade de escolhas sem preconceitos. Recusámos a ideia de catalogar as peças, ou de impor a presença de autores específicos. Pelo contrário, procurou-se criar uma dimensão estética para estes materiais. Resultado de uma certa abstração, mas que no seu todo pudesse transmitir a carga histórica, emblemática e das memórias que lhes estão associadas. Uma história que é a da evolução das espécies de animais domésticos e que está intimamente ligada à das diversas comunidades humanas. A riqueza de ideias e as formas poéticas com elas relacionadas ilustram bem esta proximidade.
- Curta-metragem de animação ilustrada: [O Cão de Muge – um amigo pré histórico](#), em 2018. Este filme de animação digital reflete a feliz fusão entre o cinema e a ciência. Conta a história de um cão com cerca de 7600 anos. O mais antigo esqueleto quase completo de que há registo na Península Ibérica. Foi premiado internacionalmente em 2020 com o 1.º Prémio *ex aequo* na modalidade Curtas Científicas/Concurso *Ciencia en Acción*, Espanha, e a nível nacional, em 2021 – Prémio Especial do Júri/Casa das Ciências.
- *Reconstrução facial do Cão de Muge* – uma aproximação, publicada em 2022. Utilizaram-se métodos inovadores, com base em imagens de tomografia computadorizada, numa tentativa de reconstruir aquele que seria o rosto deste animal. Este estudo multidisciplinar envolveu zooarqueólogos, biólogos, veterinários, bem como processos gráficos e artísticos.

Mar de Chukchi.

in.casadasciencias.org/banco-imagens

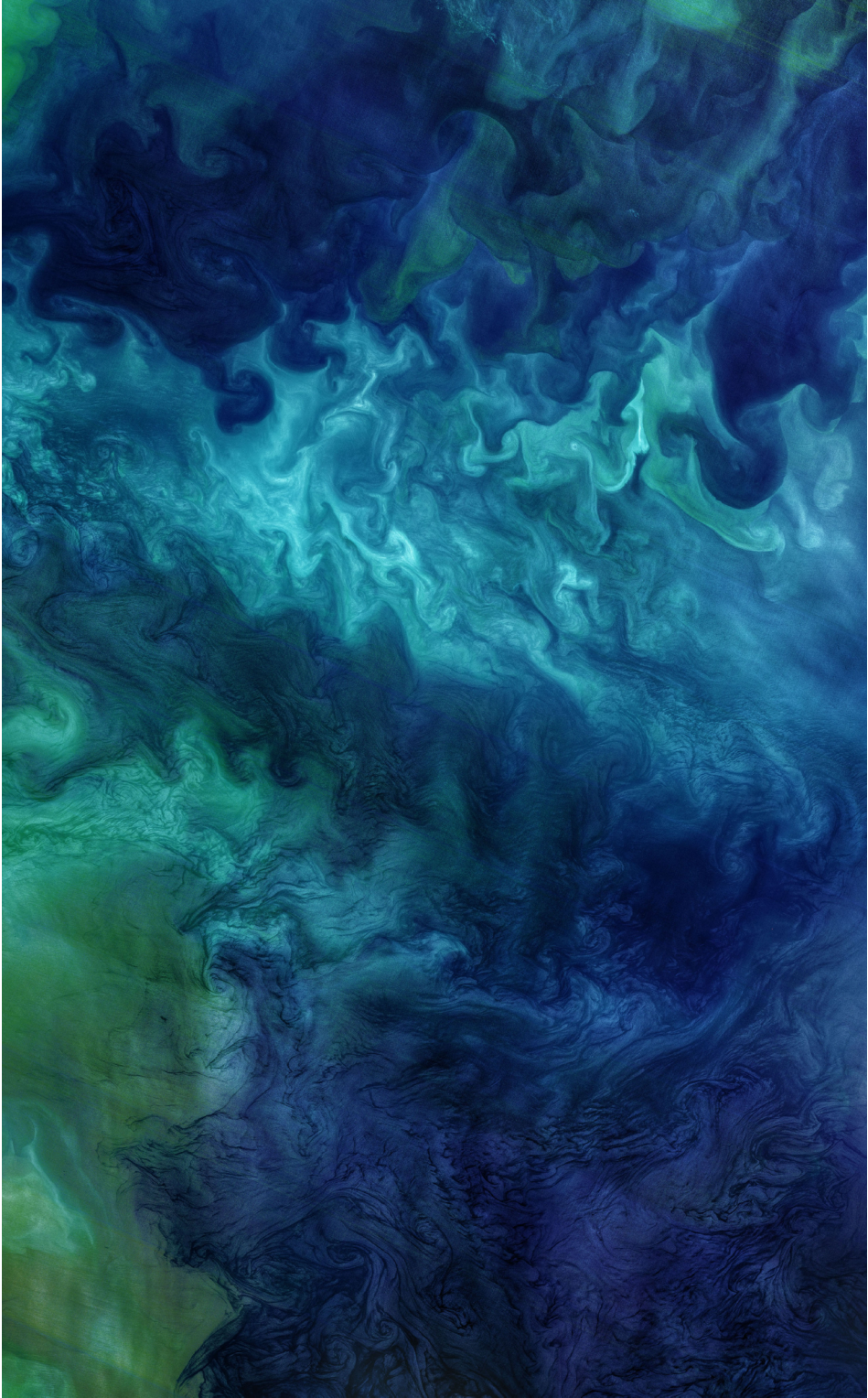
Esta bela imagem do mar de Chukchi, no Alasca, foi capturada pelo *Operational Land Imager* do satélite *Landsat 8* na primavera de 2018 e tratada por Norman Kuring/*NASA's Ocean Color Web*. Não parece o que é; a nossa percepção depende da perspetiva do olhar. Todos os anos, estas águas ganham cor com as florações de fitoplâncton. A dinâmica das correntes dá o toque artístico final a este fenómeno que só podemos apreciar quando observado a longa distância.

Alexandre Lopes Magalhães
Universidade do Porto

Qual paleta de mistura de cores pela mão do pintor esta imagem do mar Chukchi ilustra o pulsar da vida na Primavera sob a forma de *blooms* coloridos de fitoplâncton. O fitoplâncton, constituído fundamentalmente por cianobactérias e algas microscópicas (como diatomáceas e dinoflagelados), é a maior biomassa fotosintética do planeta libertando mais oxigénio que as florestas terrestres. É responsável pela grande produtividade dos sistemas marinhos e constitui a base da cadeia trófica marinha, fornecendo alimento para uma ampla gama de criaturas marinhas, como zooplâncton, peixes e mamíferos que deles se alimentam. Normal-

mente as concentrações de fitoplâncton são mais elevadas junto à costa, devido à presença de nutrientes provenientes dos rios e do afloramento costeiro (*upwelling*) que, na Primavera, transporta nutrientes do fundo marinho para as águas superficiais. Assim, na Primavera com o aumento de luminosidade, temperatura da água e disponibilidade em nutrientes as populações de fitoplâncton crescem de forma explosiva, um fenómeno conhecido como *bloom*. A vida útil de um organismo fitoplantónico raramente é superior a alguns dias, mas um *bloom* pode durar várias semanas e no oceano podem cobrir centenas de quilómetros quadrados sendo facilmente visíveis em imagens de satélite. De uma maneira geral os blooms de fitoplâncton são benéficos para a fauna marinha. Contudo, em condições de excesso de nutrientes o fitoplâncton pode crescer descontroladamente e formar blooms de microalgas nocivas que libertam compostos com efeitos tóxicos em peixes e crustáceos e com impactos negativos na saúde pública. As "marés vermelhas" e as marés bioluminescentes visíveis durante a noite, são exemplos de blooms de dinoflagelados, mas nem todos tóxicos.

José J. S. Pissarra
FCUP/GreenUPorto/ Universidade do Porto



X ENCONTRO
DA CASA
DAS CIÊNCIAS

**PARA UM
ENSINO HUMANISTA
DAS CIÊNCIAS.**

CALDAS DA RAÍNHA
14, 15 + 16
ABRIL
2025

IMAGEM: ANTONIO CARLOS FERRELLI / GETTY IMAGES
FOTO: TATIANA MARINHA / CALDAS DA RAÍNHA / AGENCIA DE ESCOLAS PARA A INOVAÇÃO
DESIGN: TATIANA MARINHA / CALDAS DA RAÍNHA / AGENCIA DE ESCOLAS PARA A INOVAÇÃO