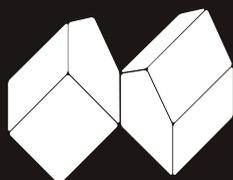
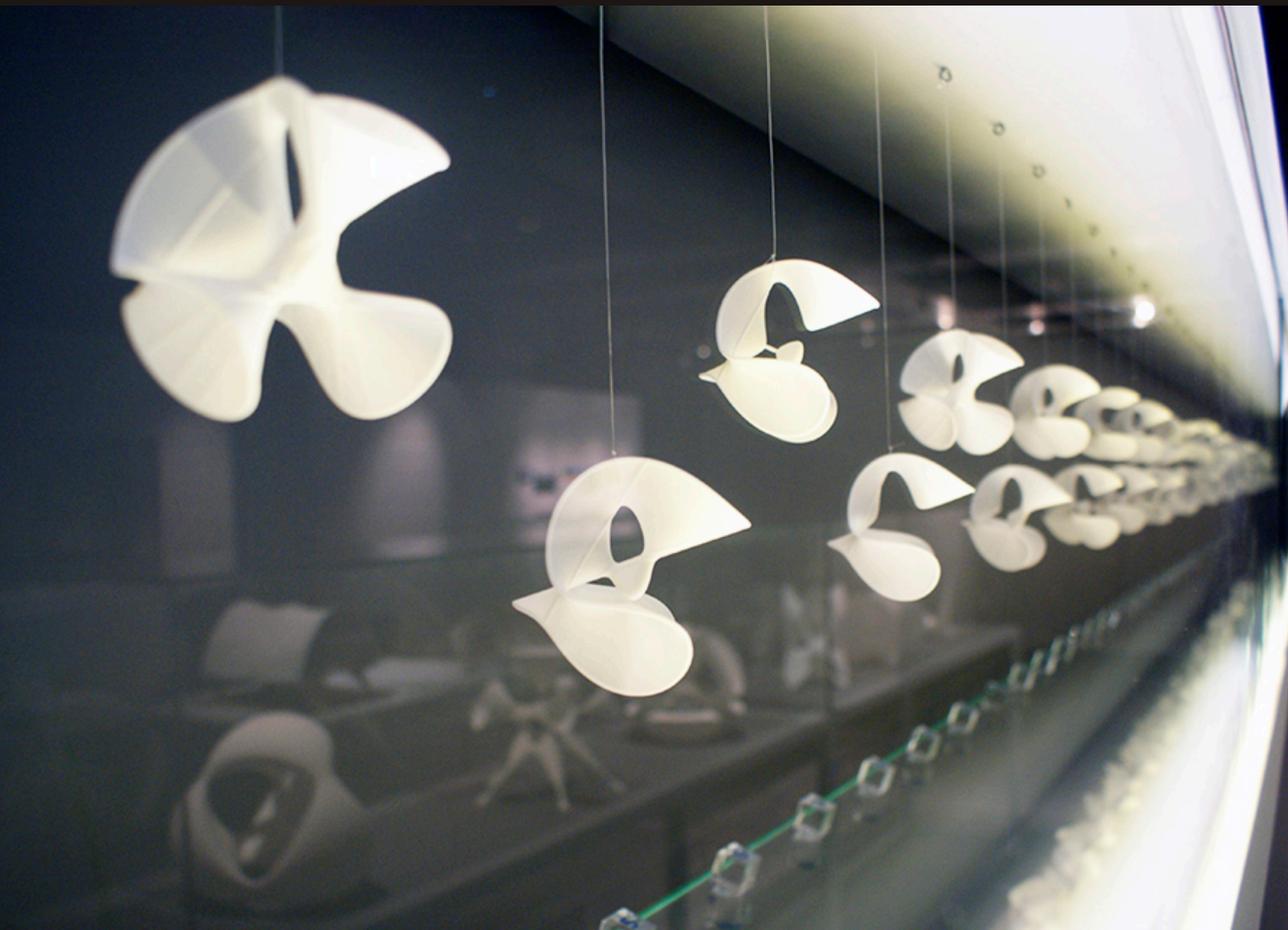


SETEMBRO 2022

V10/03

REVISTA DE CIÊNCIA ELEMENTAR. CASA DAS CIÊNCIAS



REVISTA DE CIÊNCIA ELEMENTAR



FICHA TÉCNICA

Rev. Ciência Elem., V10(03)

**Publicação trimestral
da Casa das Ciências**

ISSN 2183-9697 (versão impressa)

ISSN 2183-1270 (versão online)

rce.casadasciencias.org

DEPÓSITO LEGAL

425200/17

COORDENAÇÃO EDITORIAL

Alexandra Coelho

DESIGN

Rui Mendonça

PAGINAÇÃO

Raul Seabra

IMPRESSÃO E ACABAMENTO

Uniarte Gráfica S.A.

TIRAGEM

3200 exemplares

IMAGEM NA CAPA

45 superfícies cúbicas em perspetiva

José Francisco Rodrigues

<http://formas-formulas.fc.ul.pt/>

© 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

José Francisco Rodrigues (UNIVERSIDADE DE LISBOA)

CONSELHO EDITORIAL

Alexandre Lopes Magalhães (UNIVERSIDADE DO PORTO)

Jorge Manuel Canhoto (UNIVERSIDADE DE COIMBRA)

Paulo Ribeiro-Claro (UNIVERSIDADE DE AVEIRO)

Paulo Fonseca (UNIVERSIDADE DE LISBOA)

José Cidade Mourão (INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO)

Luís Vítor Duarte (UNIVERSIDADE DE COIMBRA)

José Francisco Rodrigues (UNIVERSIDADE DE LISBOA)

PRODUÇÃO E SECRETARIADO

Alexandra Coelho

Ana Santos

Guilherme Monteiro

NORMAS DE PUBLICAÇÃO NA RCE

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

INFORMAÇÃO PARA AUTORES E REVISORES

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

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



**CASA DAS
CIÊNCIAS**

EDULOG · FUNDAÇÃO BELMIRO DE AZEVEDO

SETEMBRO 2022

V10/03

ÍNDICE

- 02 AGENDA
- 03 NOTÍCIAS
- EDITORIAL
- 05 **A Comunicação da Matemática**
José Francisco Rodrigues
- BIOGRAFIA
- 07 **José Sebastião e Silva**
José Francisco Rodrigues
- ARTIGOS
- 11 **Vírus, Poliedros, Arquitetura e...
Matemática**
Maria Suzana Metello de Nápoles
- 17 **Ondas de gravidade em fluidos**
Eduardo Lage
- 21 **Inflação cósmica**
Cláudio Gomes
- 26 **Nanopartículas de prata**
Adelaide Sousa *et al.*
- 30 **Reprodução humana assistida**
Ana Margarida Aleixo, Vasco Almeida
- 34 **Termalismo e Termas**
Celso de Sousa Figueiredo Gomes
- 38 **Ciência cidadã ao longo do tempo**
Cristina Luís
- AOS OLHOS DA CIÊNCIA
- 43 **Deserto, sal e água**
Nuno Pimentel
- IMAGEM EM DESTAQUE
- 48 **Octaedro diamântico**
José Francisco Rodrigues,
João Pedro Xavier

04/11 (2022)

Desafios da Ciência na Sociedade Contemporânea

Quinzenalmente, às quartas-feiras, o Instituto de Altos Estudos da Academia das Ciências de Lisboa, no cumprimento da sua missão, promove, através de várias palestras, em formato on-line, uma reflexão ampla e plural sobre o papel da Ciência na sociedade contemporânea através do diálogo entre investigadores e pensadores de várias áreas científicas e os participantes no *Ciclo de Conferências Desafios da Ciência na Sociedade Contemporânea*. Entre as 18h e as 19h30 pode ligar-se e assistir via zoom.

ZOOM: VIDEOCONF-COLIBRI.ZOOM.US/J/923740289241

ID DA REUNIÃO: 923 7402 8924

Guia de Serviços Educativos de Roteiro de Minas

Está agora disponível o Guia "Serviços Educativos e visitas escolares - 2022/2023" dos Parceiros do Roteiro de Minas e Pontos de Interesse Mineiro e Geológico de Portugal, uma ferramenta essencial para professores do Ensino Básico e Secundário, reunindo mais de 200 sugestões de oferta educativa e recursos online de mais de 30 locais de interesse geológico e mineiro de Portugal, para o ano lectivo 2022/2023.

WWW.ROTEIRODASMINAS.DGEG.GOV.PT/

14/12 (2022)

Prémios Casa das Ciências

A Casa das Ciências premeia os melhores Recursos Educativos e Imagens publicados na sua plataforma e distingue o Professor do Ano de 2022. A cerimónia de entrega será dia 14 de dezembro, pelas 14h30, no Departamento de Química e Bioquímica da Faculdade de Ciências da UP.

Contamos com a sua presença!

DQB, FCUP

WWW.CASADASCIENCIAS.ORG/PREMIOS?TIPO=RECURSO&ANO=2022



PRÉMIOS
CASA DAS CIÊNCIAS 2022

Museu de Anatomia

Prof. Nuno Grande

A Universidade do Porto tem um Museu de Anatomia Humana (com uma secção também de Anatomia Animal) aberto a visitas. Este Museu de Anatomia pertence ao Instituto de Ciências Biomédicas de Abel Salazar que se encontra junto aos jardins do Palácio de Cristal.

A visita ao Museu é grátis, mas requer contacto prévio por email, devendo mencionar o nome da escola, a data pretendida para a visita, ano escolar, número de alunos e contacto.

De 2.ª a 6.ª feira.

Dra. Madalena Santos: up239746@g.uporto.pt

Entradas: 09h30 /11h00 ou 14h00.

UNIVERSIDADE DO PORTO, MUSEU DE ANATOMIA HUMANA

A seca do Rio Colorado pode ser vista do espaço

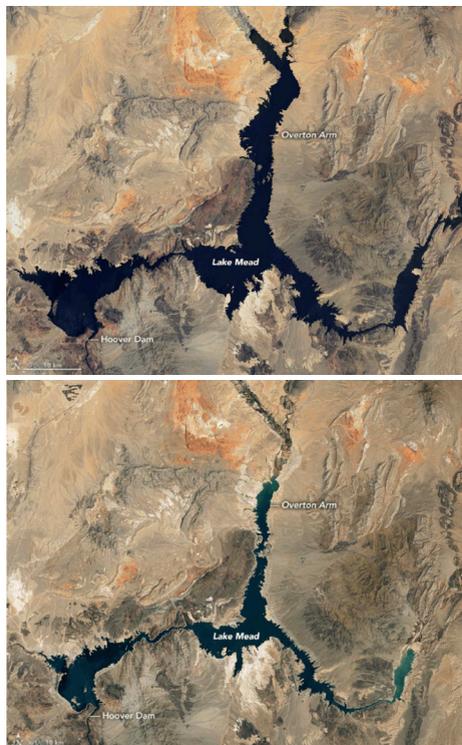


FIGURA 1. Lago Mead entre 2000 e 2022.

O rio Colorado é um dos principais rios que atravessa uma das regiões mais áridas do sudoeste da América do Norte, cuja bacia, ao longo dos seus 2330 km, é uma fonte vital de água para cerca de 40 milhões de habitantes. Presentemente, com o efeito acrescido das alterações climáticas está a sofrer a mais severa seca dos últimos 1200 anos com consequências dramáticas, tendo o seu sistema hidráulico atingido globalmente um terço do seu nível máximo. Os dois maiores reservatórios de água dos Estados Unidos, o Lago Mead,



FIGURA 2. Lago Powell entre 1999 e 2021.

entre os estados de Nevada e do Arizona, formado pela barragem Hoover, cujo nível da água baixou 45 metros nas últimas duas décadas, e o Lago Powell, formado pela barragem do Glen Canyon entre os estados do Utah e do Arizona, cujos volumes de água este verão desceram a cerca dos 26%, com a continuação da seca poderão vir a ser *dead pools* (piscinas mortas) e atingir um nível da água tão baixo que esta deixa de poder escoar a jusante das barragens. As imagens de satélite da NASA, entre 2000 e 2022, do Lago Mead e, entre 1999 e 2021, do Lago Powell, falam por si.

Mas a atual seca extrema não explica tudo. Há um século, quando se estabeleceu um acordo da utilização da água do rio Colorado entre os sete estados do Oeste, Arizona, Califórnia, Colorado, Nevada, Novo

México, Utah e Wyoming, houve um enorme erro de cálculo da quantidade total de água que o rio pode fornecer anualmente, tendo as decisões políticas ignorado a Ciência já então conhecida. As conveniências econômicas dos interesses dos sete estados ignoraram um aspeto muito importante de um relatório de 1916 do *US Geological Survey*, que já referia que o rio Colorado está sujeito a grandes secas em períodos variáveis entre 10 a 20 anos e 50 a 100 anos.

As Medalhas *Fields* de 2022

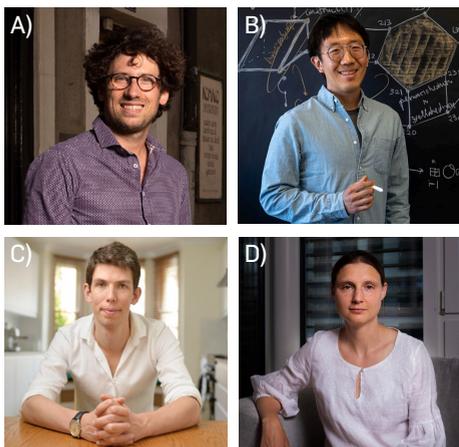


FIGURA 1. A) Hugo Duminil-Copin. B) June Huh. C) James Mainard. D) Maryna Viazovska.

A *International Mathematical Union* atribuiu este ano as Medalhas *Fields* ao francês Hugo Duminil-Copin, professor da Universidade de Genève e do *Institut des Hautes Études Scientifiques*, pela resolução de problemas da teoria probabilista das transições de fase em Física Estatística, ao co-

reano June Huh, professor da Universidade de Princeton, pela demonstração de várias conjecturas em geometria finita e em combinatoria e desenvolvimentos em Geometria Algébrica, ao inglês James Mainard, professor da Universidade de Oxford, pelas contribuições em teoria analítica dos números e progressos na compreensão da Estrutura dos Números Primos e na Aproximação Diofantina, e à ucraniana Maryna Viazovska, professora da *École Polytechnique Fédérale de Lausanne*, pela resolução do problema do Empacotamento de esferas em dimensão 8 e contribuições a Problemas de extremos e de Interpolação em Análise de Fourier.

A Medalha *Fields*, em cuja face apresenta a imagem de Arquimedes, é o prémio de maior prestígio na Matemática e é atribuída todos os quatro anos no Congresso Internacional de matemáticos a um jovem matemático que não faça quarenta anos antes de 1 de janeiro do ano do congresso. Este prémio foi proposto em 1924 no Congresso de Toronto e, entre os 64 laureados desde 1936, apenas uma vez foi atribuído a um matemático lusófono, em 2014, ao matemático brasileiro Artur Avila, pelos seus contributos à Teoria dos Sistemas Dinâmicos. Vários medalhistas *Fields* têm visitado Portugal, o primeiro, a convite de José Sebastião e Silva, em 1957, foi o matemático francês Laurent Schwartz, premiado em 1950 pela Teoria das Distribuições.

A Comunicação da Matemática

Entrados na Era Digital, os meios que os cientistas dispõem para a investigação, para a publicação e para a disseminação das suas pesquisas, das suas descobertas e das suas previsões, estão a modificar e a aumentar o ritmo do progresso no Conhecimento. Certamente que os matemáticos, por muito que estejam embrenhados nas abstrações das suas teorias ou nas interações com o mundo real dos seus modelos, não são alheios a este facto.

A disseminação das Ciências Matemáticas pelos seus cultores e praticantes pode ser dividida em três tipos: a comunicação da Matemática interpares, através da publicação em livros ou revistas científicas, da correspondência, individual ou em fóruns digitais, e ainda em seminários, encontros e congressos, presenciais e, agora, também de forma remota; a comunicação da Matemática às novas gerações, através dos professores, dos textos e do ensino a vários níveis, onde os novos métodos eletrónicos e digitais não dispensam a assimilação cumulativa do conhecimento matemático; e, finalmente, a comunicação da Matemática à sociedade de um modo geral, seja a popularização junto do grande público, seja a sensibilização dos decisores e dos políticos para a sua importância atual e alcance futuro.

A Casa das Ciências e a Revista de Ciência Elementar, que já vai no décimo volume, tem vindo a consolidar a sua importante missão de transmitir e divulgar os conceitos científicos numa linguagem elementar e rigorosa, procurando uma visão crítica da realidade atual, não descurando os projetos escolares de sucesso, contribuindo assim para a comunicação da Ciência às novas gerações, incluindo, naturalmente, a Matemática. É disto exemplo, neste número, o artigo sobre *Vírus, Poliedros, Arquitetura e ... Matemática*, não só pelo seu aspeto interdisciplinar, bem patente no título, mas sobretudo por chamar a atenção dos poliedros e a importância crucial da Matemática na nossa conceção de espaço. Também a Imagem de Destaque que selecionei, um belíssimo cristal de diamante com uma forma octaédrica natural, numa fotografia feita com o meu velho iPhone durante uma visita memorável ao Museu de História Natural de Paris em abril de 2017, pode ser um instrumento e uma motivação ao estudo interdisciplinar da Geometria Espacial. E também a imagem da capa deste número não foge à tradição da Revista em contribuir para a divulgação científica, neste caso da galeria das 45 superfícies cúbicas caracterizadas num teorema de Geometria Algébrica

provado em 1987 e colocadas, apenas um quarto de século mais tarde, em impressões 3D na exposição *Formas e Fórmulas*, que esteve exposta no Museu Nacional de História Natural e da Ciência da Universidade de Lisboa, entre 2012 e 2016, e cujo catálogo se encontra no ciberespaço.

A Revista de Ciência Elementar retoma a secção das biografias de cientistas com a evocação biográfica do mais influente matemático português do século XX, José Sebastião e Silva, que teve uma influência determinante na modernização do Ensino da Matemática. E vem a propósito recordar o que Sebastião e Silva escreveu sobre a introdução das matemáticas modernas no ensino secundário, num relatório em francês reproduzido na *Gazeta de Matemática* de 1962: *Pensamos que estas inovações devem ser executadas com uma prudência extrema e com o mais fino tato pedagógico, se não queremos criar nos alunos uma repulsa invencível pelas matemáticas ou conduzi-los à aquisição de um formalismo vazio, absolutamente esterilizante. Com efeito, a orientação moderna das matemáticas é uma espada de dois gumes segundo o uso que dela se faz: pode tornar o ensino mais atrativo e muito mais eficaz; mas, mal aplicado, pode também conduzir a resultados quase opostos.*

Num momento em que a evolução pendular recente do Ensino da Matemática em Portugal, entre o eduquês e o matematiquês, não parece estar ainda a estabilizar, torna-se imperioso encontrar a síntese da didática das matemáticas e proporcionar, a par da formação geral dos jovens, formas de estimular o interesse científico e complementar a aprendizagem matemática daqueles que estão abertos e dispostos a ir mais longe.

José Francisco Rodrigues

Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa

— José Sebastião e Silva

(1914-1972)

José Francisco Rodrigues

Universidade de Lisboa

No cinquentenário do falecimento do mais influente e original matemático português do século XX, autor do “método de Silva” para a aproximação numérica das raízes de polinómios, introdutor dos “espaços de Silva” e de uma classe de ultradistribuições na análise funcional e nas aplicações à Física-Matemática, J. Sebastião e Silva é ainda hoje, talvez, mais conhecido entre nós como o professor da modernização do ensino secundário da Matemática e o autor, para esse efeito, do notável *Compêndio de Matemática*.



O Homem

“Não se mecaniza a vida, não se logifica o sentimento, não se automatiza o espírito livre e criador. Não se resolvem problemas sentimentais por meio de equações, e ainda bem que tal não é possível. (...) O matemático deve sempre evitar o perigo da deformação profissional, que pode ser nociva para a própria atividade científica (...). Nas horas vagas, o seu espírito deve orientar-se para outros domínios: procurar na arte, na literatura, na filosofia, um equilíbrio que foi perturbado (sem cair num diletantismo dispersivo, outro perigo a evitar!)” J. Sebastião e Silva (1950).

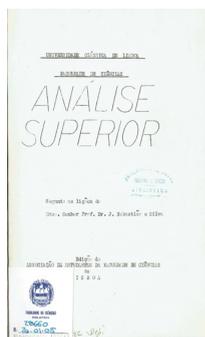
Nascido a 12 de dezembro de 1914 em Mértola, filho de uma professora primária e de um funcionário municipal, que faleceu quando Sebastião e Silva tinha nove anos e frequentava o ensino primário, prosseguiu o ensino básico em Beja e o secundário em Évora. Em 1933

obteve uma bolsa para estudar Matemática em Lisboa, na Faculdade de Ciências (FCUL), licenciando-se em 1937, ano em que começou a lecionar no ensino particular. Iniciou a sua atividade de investigador em 1940 no recém-criado Centro de Estudos de Matemática de Lisboa (CEML), como bolseiro do Instituto para a Alta Cultura (IAC), sob a direção científica de António Monteiro, que se havia doutorado em 1936 em Paris com M. Fréchet.

Já como 2.º Assistente da FCUL, obteve uma bolsa de estudo para investigar em Roma entre 1943 e finais de 1946. Entre 1947 e 1950 lecionou na FCUL onde completou o doutoramento sobre *As Funções Analíticas e Análise Funcional*, em 1949. Professor Catedrático de Matemáticas Gerais e de Cálculo Infinitesimal e das Probabilidades no Instituto Superior de Agronomia de Lisboa, em 1951, ano em que se casou vindo a ser pai de três filhos, retornou à FCUL em 1960 como professor de Análise Superior, onde foi Catedrático até ao falecimento em 25 de maio de 1972.

Grande melómano, segundo um familiar, num dos seus regressos à sua vila natal terá utilizado o sistema de som do teatro para compartilhar música clássica e de ópera com os mertolenses. Segundo um dos seus discípulos, era

"possuidor de uma cultura vastíssima, vivamente interessado por todos os problemas do Homem, Sebastião e Silva era o oposto do cientista confinado nos limites da sua ciência. A sua conversa era um encanto, e um estímulo permanente ao exercício da inteligência e à abertura do espírito." J. Campos Ferreira (1997).



A obra de José Sebastião e Silva está disponível online no link do Centenário.

O Professor

"Um dos principais deveres do ensino é ensinar o aluno a pensar. E todo o aluno deve ambicionar adquirir autonomia mental e espírito crítico suficiente para não se deixar facilmente convencer com argumentos errados." (...) "Os formalismos rigorosos têm a exatidão inflexível das máquinas de calcular, às quais se aplicam. A linguagem comum não tem a precisão das máquinas; mas, por isso mesmo, oferece outras vantagens, que a tornam imprescindível: a plasticidade, o dinamismo, o élan criador; numa palavra - a vida." J. Sebastião e Silva (1964).

O gosto e a facilidade com que explicava a Matemática ter-se-á revelado em Beja ainda enquanto adolescente e aprofundado num colégio no Estoril, até 1942. Como docente na FCUL, em 1947, foi o primeiro a lecionar Álgebra Moderna e Topologia Geral em Portugal, e, posteriormente nos anos 1960's, foi determinante no ensino da Análise Superior e Funcional, para o que redigiu cursos que estão disponíveis livremente e ainda hoje se consultam com proveito.

Em 1963 foi nomeado presidente da Comissão para a modernização do ensino da Matemática no 3.º ciclo dos liceus, e inicia, no ano seguinte, a orientação das turmas piloto e a publicação do influente *Compêndio de Matemática* e do seu *Guia*, livros que, juntamente com a *Geometria Analítica Plana* e o *Compêndio de Álgebra*, ambos adoptados no ensino oficial, ainda hoje são uma referência.

Conforme salienta uma professora de Matemática que trabalhou com ele,

"Sebastião e Silva valorizava muito estes aspectos da linguagem e acreditava que as dificuldades em Matemática resultavam principalmente de deficiências na comunicação e na leitura, além da má compreensão dos conceitos mais básicos. (...) A melhor homenagem que podemos fazer a José Sebastião e Silva é acreditar no valor social e formativo da Matemática e ensiná-la com paixão." Y. Lima (1997).



Sebastião e Silva, 4.º a contar da direita, à esquerda de Fréchet, em Lisboa, em 1942.

O Cientista

"Embora seja vago o significado da palavra "cultura" podemos dizer que a cultura científica resulta precisamente da síntese dos dois termos complementares: a teoria e a prática. E, mesmo quanto à cultura geral, que inclui os aspectos filosófico, literário, artístico e humano, tem-se verificado que a sua ausência prejudica seriamente a formação de bons técnicos e de bons cientistas. E mais ainda a de bons dirigentes." J. Sebastião e Silva (1964).

Nas suas primeiras publicações na *Portugaliae Mathematica*, de 1940 em diante, introduziu um método numérico para as raízes de polinómios, que foi testado inicialmente em Roma no *Istituto per le Applicazioni del Calcolo* e ainda hoje é citado, e tratou de questões de Topologia

Geral, resolvendo uma questão colocada por Fréchet, que conheceu em Lisboa em 1942. No seu período romano, onde conheceu F. Enriques, F. Severi, G. Castelnuovo, L. Fantappiè e M. Picone, apresentou os seus trabalhos de investigação, em lógica e fundamentos da Matemática e em Funcionais Analíticos nas Academias científicas romanas, em cujas revistas publicou.

Em 1952 foi nomeado Diretor do CEML, anexo à FCUL no âmbito do IAC a quem submeteu, no ano seguinte, uma proposta de regulamento do Instituto Português de Matemática, e desenvolveu investigação em Análise Funcional, acompanhando e participando nos desenvolvimentos contemporâneos e formando jovens discípulos. Em 1955, na sequência das ideias da sua tese, que influenciaram o trabalho de G. Köthe e de A. Grothendieck, introduziu os espaços localmente convexos (LN*), os espaços de Silva. Na década seguinte, motivado pelas aplicações à Física, desenvolveu uma teoria das ultradistribuições com vista ao cálculo operacional e tornou-se, em 1961, consultor do Laboratório de Física e Engenharia Nuclear de Sacavém.

Em 1964 organizou, em Lisboa, um relevante *International Summer Institute* sobre a Teoria das Distribuições, com a participação de L. Schwartz e de J-L. Lions, entre outros cientistas de 19 países. Em 1966 tornou-se consultor do Instituto de Física Matemática (IFM), criado pelo IAC, defendendo publicamente a sua existência e intervindo ativamente na controvérsia antes do seu curto período de atividade, entre 1972 e 1975.

DIÁRIO DE LISBOA 30 FEVEREIRO 1972 PÁGINA 11

Um instituto de Física-Matemática fora da Universidade?

Adoptado no número anterior, com um despacho do prof. J. Teófilo de Sá, um despacho acerca da criação e funcionamento do Instituto de Física Matemática, ficou pendente a nomeação do prof. J. Sebastião e Silva para o cargo de diretor do instituto. O prof. J. Sebastião e Silva, que se encontra atualmente em viagem de trabalho em Espanha, não poderá assumir o cargo até ao fim de março.

ESPERANÇAS QUE ACABE POR TRUFARE O BOM-SENDO

Há a expectativa de que o prof. J. Sebastião e Silva, que se encontra atualmente em viagem de trabalho em Espanha, não poderá assumir o cargo até ao fim de março.

Prof. J. Sebastião e Silva



Prof. J. Sebastião e Silva

Manteve contatos com matemáticos italianos e a sua atividade científica até ao fim, como relata o testemunho de um seu aluno:

"Infelizmente, a saúde do Prof. Sebastião e Silva, que acabou por não poder ocupar o seu gabinete do IFM, deteriorou-se rapidamente dando-se o seu falecimento em maio de 1972. Ficou-me na memória a última visita que lhe fiz no IPO de Lisboa onde estava internado: encontrei-o a dormir com um caderno e um lápis na mão com que escrevia, com grande sacrifício, aquele que foi o seu último trabalho de investigação publicado já após o seu falecimento! Foi um exemplo para todos nós que o admiramos como um dos maiores cientistas portugueses do século XX." J. P. Dias (2014).

NOTA

O autor integrou e agradece à Comissão da ULisboa para o centenário de José Sebastião e Silva, em particular, a Suzana Nápoles e Anabela Teixeira. <http://jss100.campus.ciencias.ulisboa.pt/>

Vírus, Poliedros, Arquitetura e... Matemática

Maria Suzana Metello de Nápoles
Universidade de Lisboa

A recente pandemia de Covid-19 motiva-nos a falar de vírus, de arquitetura e de poliedros. Como veremos, o elo entre estes três tópicos é a Matemática... que está em toda a parte.

Numa iniciativa conjunta da Sociedade Europeia de Matemática (EMS) e da Sociedade Europeia de Biologia Teórica e Matemática (ESMBT), celebrou-se, em 2018, o Ano da Biologia Matemática, com iniciativas científicas em diversos países da Europa.

Respondendo ao desafio de celebração dessa efeméride, a mostra *Biologia Matemática sem fronteiras*, promovida pelo Centro de Matemática, Aplicações Fundamentais e Investigação Operacional (CMAFcIO), incluiu resultados originais de diversos investigadores. O financiamento foi assegurado pela Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa e pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia. Esta mostra, inaugurada em 12 de dezembro de 2018 e patente ao público até 31 de março de 2019, surgiu como um breve olhar sobre algumas das aplicações da Matemática na Biologia, exemplos de como eliminando fronteiras se consegue ir mais longe no conhecimento científico. Não pretendendo ser exaustiva, tentou mostrar de que forma estas duas áreas se têm cruzado ao longo do tempo, abrindo o caminho para explorar conquistas mais recentes. Um dos painéis desta mostra foi dedicado aos vírus.

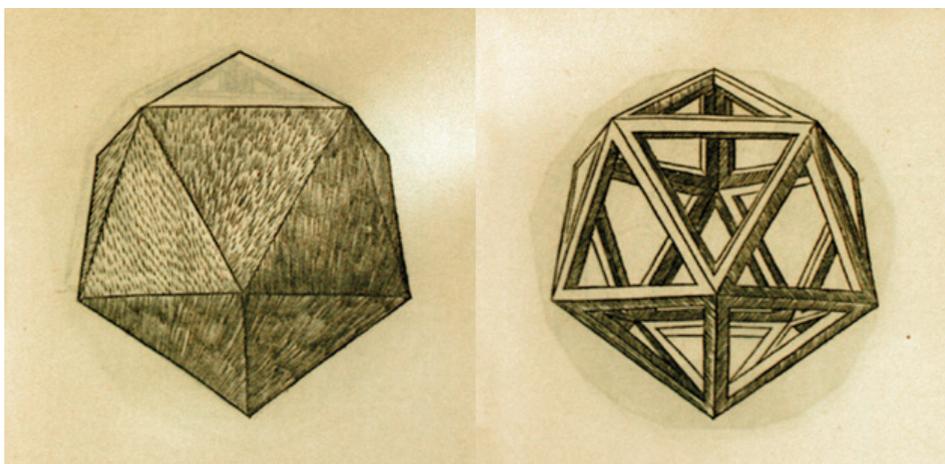
A partir dessa data, a pandemia foi-se agravando em todo o mundo e nunca se falou tanto de Matemática como nos últimos tempos, com gráficos e previsões a encher jornais e noticiários televisivos. Mas, mais do que estimar como será a disseminação da doença, o número de infetados e as percentagens de mortes e hospitalizações, os modelos matemáticos permitem simular cenários e testar a eficácia de normas das autoridades de saúde e governamentais para reduzir o contágio, tais como o encerramento de escolas, o cancelamento de eventos públicos e a restrição de viagens. Menos de um ano depois, em 31 de

dezembro de 2019, foi dado o primeiro alerta do governo chinês sobre o surgimento de um novo coronavírus e os primeiros casos em Portugal surgiram em março de 2020.

Os vírus, que só a microscopia eletrónica permitiu visualizar, são sistemas orgânicos simples compostos por material genético (ADN ou ARN) rodeado por um invólucro proteico, o capsídeo, constituído por subunidades proteicas idênticas, chamadas capsómeros e podendo ainda, ter uma membrana exterior designada envelope. O capsídeo tem duas funções: proteger o material genético e reconhecer o seu alvo. A sua estrutura é responsável pela forma como o vírus se forma, evolui e infeta os seus hospedeiros.

A modelação geométrica dos capsídeos virais permite indicar as orientações relativas das suas proteínas, contribuindo para avanços recentes na compreensão dos vírus e na terapia antiviral. O grupo dos vírus mais comum é o chamado icosaédrico. Este nome deve-se ao facto de terem capsídeos com a simetria de um icosaedro.

O icosaedro é um poliedro regular composto por triângulos equiláteros, que apresenta 20 faces, 12 vértices e 30 arestas.

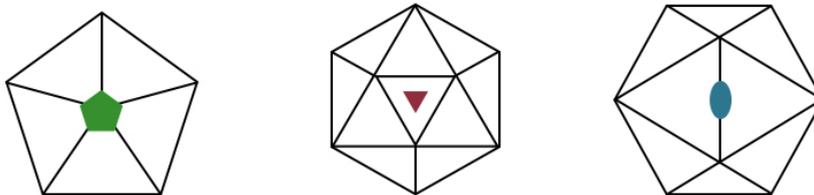


Desenhos de Leonardo da Vinci para a obra *De Divina Proportione*, da autoria de Luca Pacioli. Trata-se de um livro de Matemática cujo objetivo é estudar as aplicações das proporções matemáticas à geometria, à arte e à arquitetura.

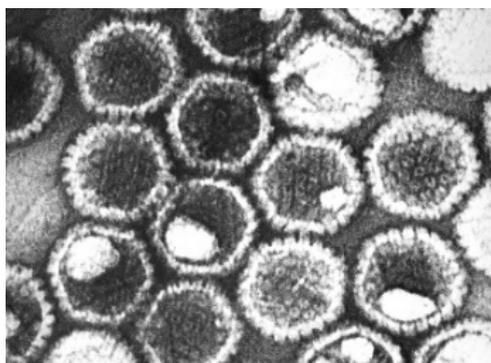
O estudo dos poliedros remonta ao século IV a.C. com a fundação da Academia de Platão que, rapidamente, se tornou o centro do estudo da Matemática e da Filosofia.

No diálogo *Timeu*, Platão inclui a discussão dos cinco poliedros regulares, isto é, em que todas as faces são polígonos regulares iguais e com a mesma disposição em todos os vértices. Existem apenas cinco poliedros regulares, os cinco sólidos platónicos: tetraedro, cubo, octaedro, dodecaedro e icosaedro. A estes cinco poliedros, Platão associou os constituintes fundamentais da natureza — Fogo, Terra, Ar, Universo e Água — razão pela qual os poliedros regulares são também denominados sólidos platónicos.

Num icosaedro, as retas que passam por vértices opostos, as que passam pelos centros de faces opostas e as que passam pelos pontos médios de arestas opostas são, respetivamente, eixos de simetria rotacional de ordem 5, 3 e 2.



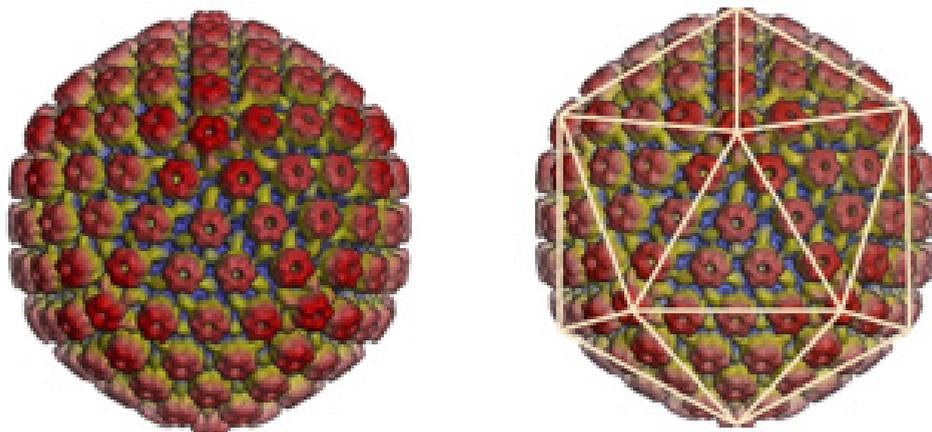
Com efeito, os eixos que passam por vértices opostos são de ordem 5 porque quando rodado o icosaedro de 360° em torno de cada um deles são necessárias 5 rotações de 72° para ele retomar a posição inicial. Quanto aos eixos que passam pelos centros de faces opostas, ao fim de 3 rotações de 120° , o icosaedro retoma a posição inicial e, para os eixos que passam pelos pontos médios, bastam 2 rotações de 180° para ele retomar a posição inicial.



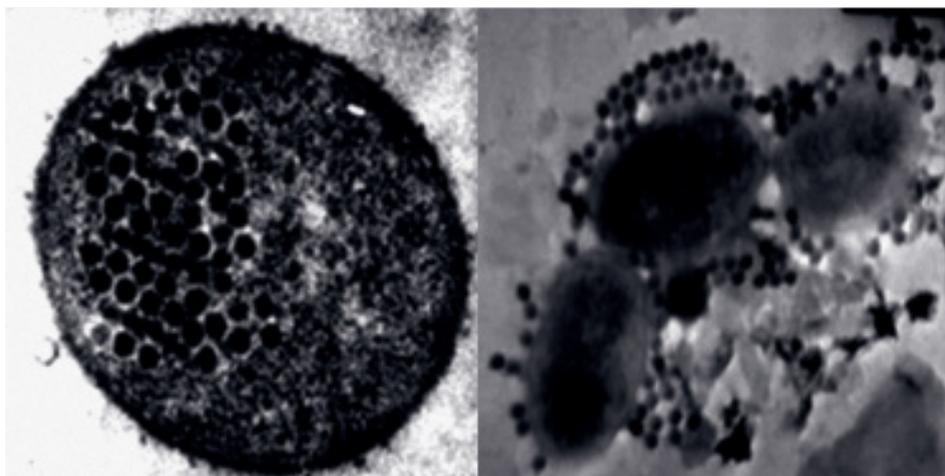
Muitos vírus, como o vírus causador do herpes, assumem uma simetria icosaédrica. As estruturas virais são constituídas de subunidades proteicas idênticas repetidas e o icosaedro é a forma mais simples de se montar tais subunidades. Esta estrutura maximiza o volume para armazenamento do material genético.

Neste tipo de vírus, múltiplas cópias de uma ou mais proteínas, distribuem-se segundo a simetria de um icosaedro. A organização das proteínas do capsídeo, segundo esta simetria, torna o processo de criação de novos vírus mais eficaz, uma vez que a formação de um capsídeo com esta forma recorre ao menor número e diversidade de proteínas.

Atendendo a que num icosaedro temos 20 triângulos e cada um tem 3 vértices, cada vértice está em contacto com 59 vértices. Assim, por cada proteína presente em determinado ponto, existem outras 59 relacionadas, o que aumenta a área de contacto do vírus com o seu alvo.



Uma vez reconhecida uma célula-alvo, o vírus quebra o seu capsídeo e introduz o material genético dentro da célula, que assume o controlo da mesma para se replicar continuamente. Esta replicação leva ao rebentamento da célula, migrando os novos vírus para as células vizinhas.



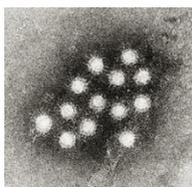
Também outros conceitos matemáticos, como as pavimentações, são utilizados para modelar a estrutura do capsídeo, indicando a posição e orientação relativa das suas proteínas.

No Modelo de Pavimentação do Vírus do Papiloma Humano (HPV), as interações entre três proteínas são representadas por ladrilhos em forma de papagaios de papel e as interações entre duas proteínas representadas por ladrilhos em forma de losangos.



A enorme influência dos vírus na vida humana, torna a investigação em virologia fundamental no desenvolvimento de novas terapias, para o que a informação sobre as características das estruturas virais é importante. O desenvolvimento e aplicação de métodos matemáticos fornece, assim, novas oportunidades para atingir este objetivo.

Também as técnicas computacionais permitem simular a configuração de muitos vírus e as imagens virtuais facilitam o estudo geométrico das suas estruturas.



Mas, antes do icosaedro ser descoberto nos vírus, os mesmos princípios foram aplicados pelo arquiteto Buckminster Fuller na construção de edifícios icosaédricos, as cúpulas geodésicas.

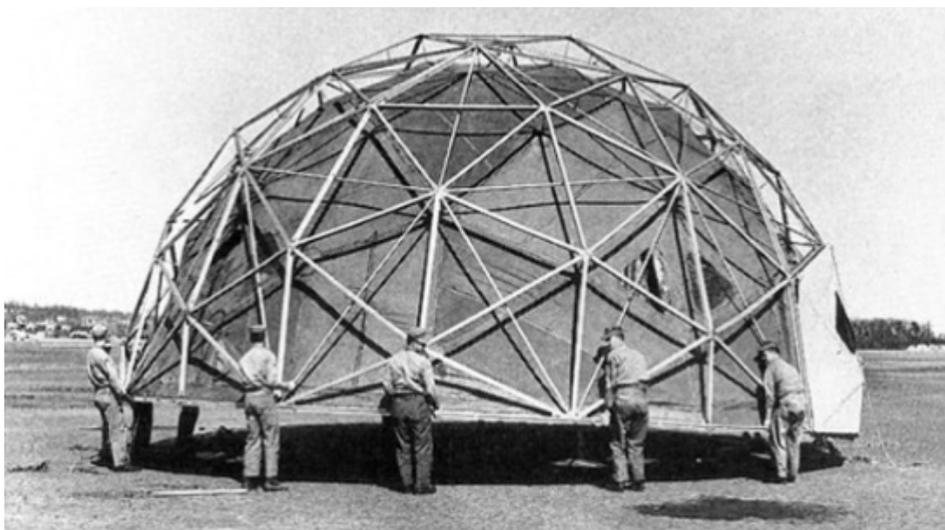


Em 1949, Fuller construiu a primeira cúpula geodésica. Tinha 4,3 metros de diâmetro e era feita de um tubo de alumínio e uma camada de vinil em forma de icosaedro.

Para demonstrar aos cééticos a solidez da estrutura, Fuller pediu a vários alunos que o tinham ajudado na construção para, com ele, nela se suspenderem. O seu objetivo era construir uma estrutura de cúpula forte com economia de materiais. Observando que um triângulo era duas vezes mais forte do que um suporte quadrado, construiu uma cúpula apenas com triângulos. Esta opção usa menos material ao mesmo tempo que ajuda a maximizar o volume.



Em 1954, na Trienal de Milão, Fuller apresentou esta cúpula. Além de receber o *gran premio*, granjeou reconhecimento internacional. Este tipo de estrutura ganhou popularidade graças ao baixo impacto ambiental e durabilidade em todos os climas.



Ondas de gravidade em fluidos

Eduardo Lage
Universidade do Porto

Atirar uma pedra a um tanque ou o pingar de uma gota numa bacia com água são excelentes oportunidades para se observarem e estudarem as ondas de gravidade, um importante tópico da mecânica de fluidos. Estes exemplos não podem esquecer que este conceito também se aplica a ondas no mar, a rios ou lagos, a diversos fenómenos atmosféricos ou simplesmente ao fluido que enche um copo ou uma proveta.

Uma onda de gravidade é um fenómeno periódico, no tempo e no espaço, que se manifesta na superfície de separação de dois fluidos, sendo água e ar os mais comuns pelo que serão, aqui, considerados como exemplos típicos. Em equilíbrio no campo gravítico da Terra, a superfície que separa os dois fluidos é plana e horizontal (para distâncias curtas comparadas com o raio da Terra), servindo como referência, ficando a água abaixo e o ar acima deste plano. Nesta primeira abordagem, o ar serve, apenas, para manter uma pressão atmosférica que se admite ser constante e uniforme na superfície de separação — mais adiante, será discutido qualitativamente o efeito que uma onda de gravidade tem no ar. A água é considerada um fluido incompressível (*i.e.*, densidade constante), sem viscosidade.

Uma pequena perturbação na superfície afastá-la-á do plano de referência, elevando-a acima do plano numa zona e baixando-a noutras zonas. Imaginemos dois pontos na água à mesma distância do plano de referência (FIGURA 1).

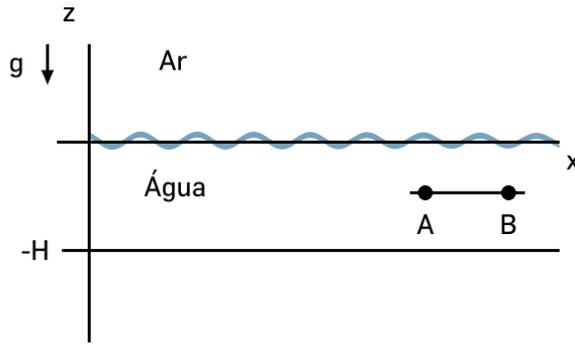


FIGURA 1. Onda de gravidade num canal ou tanque.

O ponto A, situado abaixo de uma elevação instantânea da superfície de separação, apresenta uma maior pressão hidrostática que a verificada no ponto B, localizado abaixo de uma depressão da mesma superfície. Esta diferença de pressões empurra a água de A para B, baixando a superfície em A e subindo-a em B, originando, assim, uma propagação destas alterações na superfície — esta propagação é a onda de gravidade. Começaremos por estudar o caso mais simples: ondas longas em águas rasas, conceitos que se tornarão precisos mais adiante. Designamos por H a profundidade da água, *i.e.*, a distância do plano de referência ao fundo, suposto plano e horizontal, onde assenta a água. Iremos, aqui, apenas considerar que a onda de gravidade se propaga numa única direção que tomaremos para eixo x ; o eixo z tem a direção vertical; e o eixo y , que não desempenhará qualquer papel nesta abordagem, é perpendicular aos anteriores, podendo admitir-se que a água está confinada a um canal ou um tanque, de largura b .

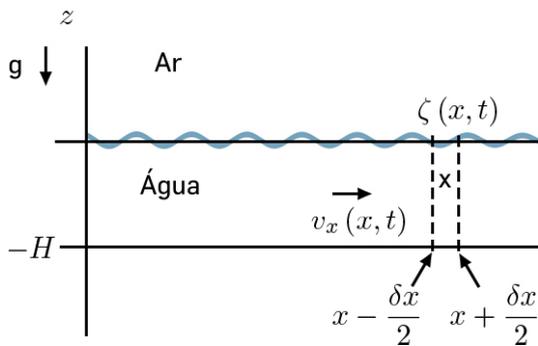


FIGURA 2. Parametrização de uma onda de gravidade.

Designamos por $\zeta(x, t)$ a elongação instantânea que a superfície de separação apresenta num dado ponto e num dado instante: se $\zeta > 0$ ($\zeta < 0$), o nível da água está acima (abaixo) do plano de referência. Admitimos ser $\zeta \ll H$: trata-se, pois, de uma pequena

perturbação em relação ao equilíbrio. O movimento do fluido faz-se, essencialmente, na direção x : designamos por $v_x(x, t)$ essa velocidade, ignorando quer a componente v_z , quer qualquer dependência de v_x com a profundidade, dado esta ser pequena ("águas rasas"), por hipótese. Nestas condições, as equações que regem o movimento do fluido deduzem-se facilmente. Para isso, consideremos a porção de fluido instantaneamente situado em $\left[x - \frac{\delta x}{2}, x + \frac{\delta x}{2}\right]$, como se mostra na FIGURA 2. Então:

a) Conservação de massa

A massa situada no domínio indicado é $\delta M = \rho b (H + \zeta(x, t)) \delta x$, onde ρ é a massa específica do fluido (água). Deste modo, a conservação de massa impõe que, durante um pequeno intervalo de tempo δt , o aumento da massa δM seja igual à massa que entra naquele domínio. Ora, em $x - \frac{\delta x}{2}$, entra a massa:

$$\rho b \left(H + \zeta \left(x - \frac{\delta x}{2}, t \right) \right) v_x \left(x - \frac{\delta x}{2} \right) \delta t \simeq \rho b H v_x \left(x - \frac{\delta x}{2}, t \right) \delta t$$

e em $x + \frac{\delta x}{2}$ sai a massa $\rho b H v_x \left(x + \frac{\delta x}{2}, t \right) \delta t$. Então:

$$\delta t \frac{d}{dt} \delta M = \delta t \rho b \frac{\partial \zeta}{\partial t} \delta x = \rho b H \delta t \left[v_x \left(x - \frac{\delta x}{2}, t \right) - v_x \left(x + \frac{\delta x}{2}, t \right) \right] = -\rho b H \delta t \frac{\partial v_x}{\partial x} \delta x$$

Isto é:

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} = -H \frac{\partial v_x}{\partial x} \quad (1)$$

b) Lei fundamental da dinâmica

Ignorando a tensão superficial, que será considerada mais adiante, a pressão no interior da água é suposta ser a pressão hidrostática, que deve reduzir-se à pressão atmosférica (p_a) na superfície de separação, *i.e.*, $p = p_a + \rho g (\zeta(x, t) - z)$. Então:

$$\rho \frac{\partial v_x}{\partial t} = -\frac{\partial p}{\partial x} = -\rho g \frac{\partial \zeta}{\partial x}$$

Isto é:

$$\frac{\partial v_x}{\partial t} = -g \frac{\partial \zeta}{\partial x} \quad (2)$$

Combinando as equações 1 e 2, obtém-se:

$$\frac{\partial^2 \zeta}{\partial t^2} = c_0^2 \frac{\partial^2 \zeta}{\partial x^2} \quad (3)$$

onde:

$$c_0 = \sqrt{gH} \quad (4)$$

é a velocidade de propagação das ondas de gravidade nas condições referidas. A velocidade do fluido v_x satisfaz à mesma equação 3, conhecida genericamente por equação de onda (a uma dimensão espacial). Note-se a ausência de dispersão (c_0 é uma constante), em contraste com o que acontece quando se considera a tensão superficial ou profundidades arbitrárias, como se verá adiante.

Antes de prosseguirmos, é conveniente analisar a componente v_z do campo de velocidades que, recorde-se, foi ignorada. Tal será justificado se for $v_z \ll v_x$. Ora, v_z deve anular-se no leito da água (*i.e.* $z = -H$) e atingir o seu maior valor, $v_z = \dot{\zeta}$, na superfície de separação. Então, podemos ignorar v_z se for $|\dot{\zeta}| \ll |v_x|$ ou, pela equação 1, $H \left| \frac{\partial v_x}{\partial x} \right| \ll |v_x|$. Se v_x variar periodicamente numa distância λ , como acontece numa onda, então $\frac{\partial v_x}{\partial x} \sim \frac{v_x}{\lambda}$. Assim, a condição anterior fica $\lambda \gg H$, o que justifica a designação de “ondas longas em águas rasas”.

Trajetórias de pequenas massas de água para diferentes profundidades quando se considera o movimento bidimensional do fluido, *i.e.*, segundo a profundidade e a direção de propagação da onda (FIGURA 3).

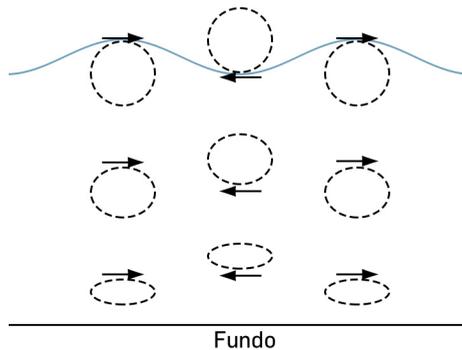


FIGURA 3. Trajetórias das partículas e sua variação com a profundidade. A linha azul representa a progressão da onda à superfície.

Inflação cósmica

Cláudio Gomes

CFUMUP/ Universidade dos Açores

A inflação cósmica corresponde ao paradigma associado ao período de expansão exponencial, ou aproximadamente exponencial, do Universo primordial entre, sensivelmente, 10^{-36} e 10^{-32} segundos após o Big Bang. As evidências observacionais para este cenário encontram-se na radiação cósmica de fundo, resolvendo os problemas do modelo do Big Bang quente e explicando a origem das estruturas cosmológicas.

A teoria do Big Bang é o modelo amplamente mais aceite pela comunidade científica para explicar a origem do Universo, tendo várias comprovações observacionais que vão desde a existência de uma radiação cósmica de fundo à previsão da nucleossíntese primordial e abundância relativa de elementos químicos leves. Todavia, existiam outras questões para as quais a teoria anterior não dava uma explicação satisfatória, nomeadamente os problemas do horizonte, da planura, da ausência de defeitos topológicos e da formação de estruturas.

O primeiro problema tem a ver com o seguinte: porque é que as estruturas no Universo parecem praticamente iguais em qualquer lugar e em qualquer direção que se observe, isto é, porque parece o Universo homogéneo e isotrópico? Na realidade, vemos que a temperatura do Universo hoje é sensivelmente a mesma em qualquer par de regiões opostas entre si na radiação cósmica de fundo. Mas isso seria impossível, uma vez que não houve tempo suficiente no passado para que as partículas de luz, os fótons, interagissem entre si num processo de termalização, pois estas só desacoplaram da matéria cerca de 380 mil anos após o Big Bang. Assim, qualquer região separada de outra por 2 graus no Universo seria causalmente desconexa.

O segundo problema tem a ver com a curvatura espacial do Universo ser plana. Assim, parece haver condições iniciais do Universo muito especiais para que ele fosse e/ou se mantivesse espacialmente plano, uma vez que pequenos desvios levariam a cenários bastante diferentes da evolução do Universo: valores acima de uma dada densidade crítica levariam a um Universo muito denso e que colapsaria num *Big Crunch*; valores abaixo dessa densidade promoveriam um Universo essencialmente vazio onde a gravidade não conseguiria formar as estruturas que observamos no Cosmos.

O terceiro problema do modelo quente do Big Bang diz respeito à ausência de defeitos topológicos observáveis no Universo. Com efeito, a Física do Universo primordial depende muito da Física de Partículas, uma vez que se supõe, na Teoria da Grande Unificação, que em muito altas energias as quatro interações fundamentais se juntam num único grupo de simetria. Em particular, na Física de Partículas existem diversas situações nas quais defeitos topológicos ocorrem, como por exemplo quando ocorre uma transição de fase e correspondente quebra de simetria, algo que seria natural de acontecer com o arrefecimento do Universo à medida que ele se expande. Exemplos destes defeitos são as texturas, parede de domínio, as cordas cósmicas ou os monopólos, que correspondem a defeitos a 3, 2, 1 e 0 dimensões, respetivamente. Em particular, o cálculo do número de monopólos produzidos, por exemplo, na quebra de simetria eletrofraca demonstra que aqueles seriam a forma dominante de energia, algo que não se observa em nenhum local do Universo.

Por seu turno, o quarto problema tem a ver com as inhomogeneidades locais do Universo. Isto é, nós observamos galáxias, sistemas planetários, estrelas, entre outros, porque houve possibilidade de colapso gravitacional devido a desvios da homogeneidade a larga escala. Adicionalmente, também se observam grandes vazios, regiões sem matéria, em virtude da atração gravitacional em regiões vizinhas.

A resposta a estes problemas surge com o paradigma inflacionário que implica um período de expansão quase exponencial do espaço-tempo após o Big Bang. Diversos contributos e classes de modelos foram propostos. Em 1979 e 1980, o físico soviético Alexei Starobinsky notou que correções quânticas à teoria da Relatividade Geral deveriam ser importantes no Universo primordial, sendo que tipicamente eram termos quadráticos da curvatura escalar no funcional ação de Einstein-Hilbert. Ora, isto significa que quando as curvaturas são elevadas, tal como no Universo primordial, então os termos quadráticos comportar-se-iam como uma constante cosmológica, descrevendo um estado do Universo muito simétrico designado *de Sitter*, sendo na realidade substituto da singularidade inicial. De facto, este modelo de Starobinsky, quando analisado no vazio (sem matéria), corresponde a um modelo particular da classe de teorias alternativas da gravidade proposta para explicar a matéria escura e a energia escura, nomeadamente as chamadas teorias $f(R)$.

Simultaneamente, e de forma independente, o físico norte-americano Alan Guth publicou um estudo, em 1981, enquanto investigava o problema da não observação de monopólos magnéticos no Universo, em que mostrou que existindo um estado metaestável de falso vácuo de energia positiva, que funcionaria como uma constante cosmológica, então o Cosmos, ao arrefecer após o Big Bang, ficaria "preso" nesse estado e teria, necessariamente, de sofrer uma expansão acelerada. Rapidamente percebeu a implicação desta conclusão, nomeadamente que muitos dos problemas do modelo quente do Big Bang seriam resolvidos, e designou esta fase como inflação. Mas como ocorreria essa expansão? Na realidade, um estado de falso vácuo que se expanda exponencialmente permite que o verdadeiro vácuo

(estado de menor energia) apareça por via de nucleação de bolhas, como na FIGURA 1, sendo que a perda de energia dentro das bolhas é compensada pela energia na superfície das mesmas (semelhante a uma tensão superficial dos fluidos). Esta energia é libertada nos processos de colisão entre bolhas. O processo continua até que todas as bolhas tenham colidido e o espaço esteja totalmente no verdadeiro vácuo. Contudo, para que a inflação tenha tempo suficiente para resolver os problemas do Big Bang quente, tem de haver poucos processos de nucleação de bolhas e as colisões serem raras, algo característico numa expansão exponencial. Assim, não haveria energia suficiente para que o Universo reaquecesse, tornando-o excessivamente frio e incompatível com as observações.

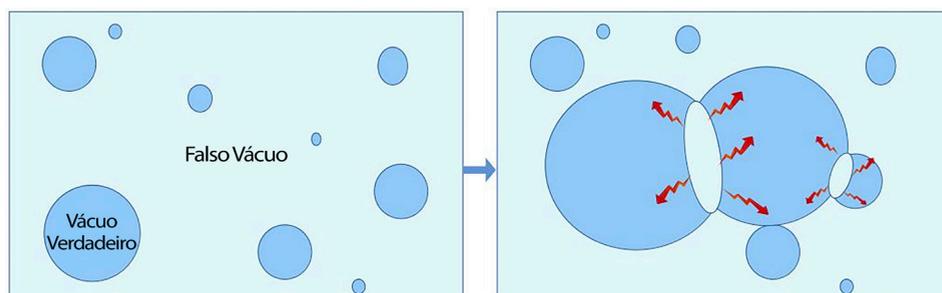


FIGURA 1. Processo de nucleação onde existe um novo vácuo, ou seja, uma região com energia menor que o chamado falso vácuo. As bolhas podem colidir, libertando energia, até que todo o espaço seja preenchido pelo novo e verdadeiro vácuo.

De facto, existem outros intervenientes pioneiros nos estudos iniciais de uma fase inflacionária, muitas vezes esquecidos nas tramas e urdumes da malha da história: o astrofísico grego Demosthenes Kazanas, o físico japonês Katsuhiko Sato e o seu colaborador e físico norte-americano Martin Einhorn. O primeiro havia sugerido, em 1980, que uma transição de fase no Universo primordial associada a uma quebra espontânea de simetria de uma Teoria de Grande Unificação poderia levar a uma expansão exponencial e, se durasse um tempo suficiente, potencialmente explicaria a isotropia observada do Universo. Por seu turno, Katsuhiko Sato, em 1981, sugeriu que uma expansão acelerada poderia eliminar o problema das paredes de domínio e, no mesmo ano, em colaboração com Einhorn publicou um modelo que resolvia o problema dos monopólos magnéticos. Este último modelo, semelhante ao de Guth, também padecia dos mesmos problemas: um valor muito específico para a constante cosmológica e muitas bolhas de verdadeiro vácuo para que o período inflacionário resolvesse os problemas do modelo do Big Bang quente restantes.

O físico russo Andrei Linde propôs uma solução para o problema da colisão das bolhas em 1982, assim como o fizeram, independentemente, os físicos Andreas Albrecht e Paul Steinhardt num artigo no mesmo ano. Esta nova solução passou a ser conhecida como Nova Inflação ou Inflação de "rolamento lento" (*slow-roll inflation* na terminologia inglesa), e, por conseguinte, a formulação anterior passou a ser chamada de Velha Inflação. Assim,

a nova ideia parte da consideração de um dado campo escalar, cuja flutuação quântica associada é a partícula inflatão, que rola muito lentamente ao longo do seu potencial em direção ao mínimo do mesmo. Durante este processo, o Universo expande e, quando o inflatão desce a parte mais pronunciada do seu potencial, a inflação termina e começa o processo de reaquecimento. Este modelo tem a vantagem de resolver os problemas da Velha Inflação, proporcionando uma “saída limpa” (*graceful exit* na terminologia inglesa), todavia introduzindo outros, nomeadamente, a assumpção de que o Universo teve de estar num estado pré-inflacionário extremamente quente e que a inflação estava intimamente ligada a uma transição de fase cosmológica.

Um ano mais tarde, em 1983, Linde propôs um cenário mais geral que os dois cenários anteriores aqui discutidos: a inflação caótica (FIGURA 2). Este modelo foi criado com base nas ideias e conclusões de Steinhardt de que o cenário da Nova Inflação poderia incluir a possibilidade de o processo inflacionário ser eterno, isto é, numa dada região poder terminar, mas noutra região do espaço continuar a expandir-se, e nas conclusões de Alexander Vilenkin de que efeitos quânticos promovem essa possibilidade de inflação eterna. Assim, a proposta de inflação caótica de Linde tem a vantagem de não requerer a existência de um equilíbrio térmico inicial.

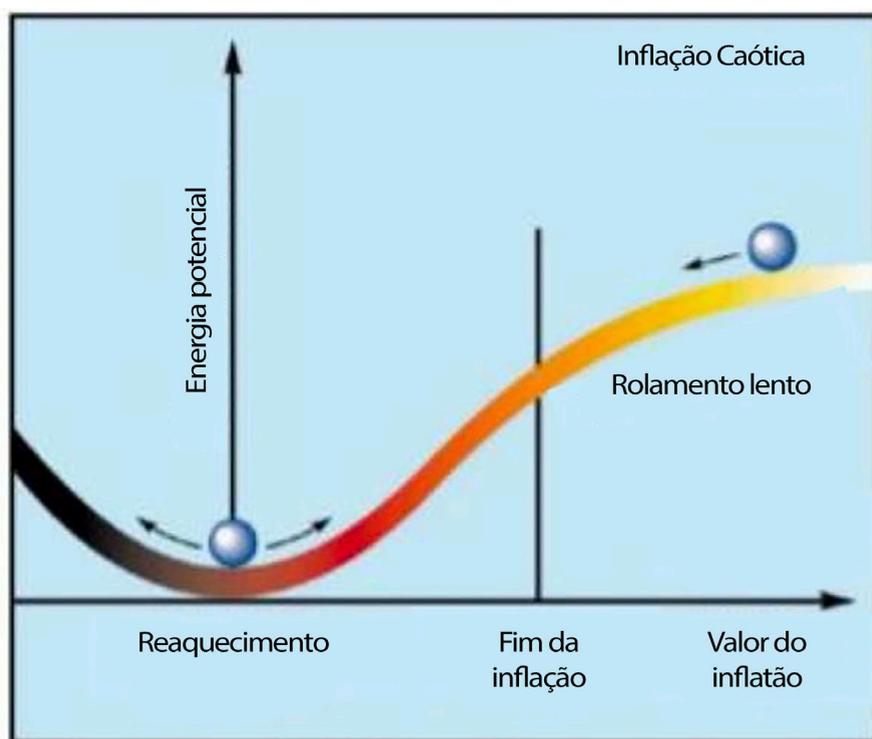


FIGURA 2. Inflação caótica. O inflatão rola lentamente ao longo do seu potencial até à parte mais pronunciada do mesmo, terminando a inflação e dando início ao período de reaquecimento do Universo.

Em 1994, Linde propôs um outro modelo inflacionário: a inflação híbrida, na qual um dado campo escalar rola rapidamente devido à presença de um campo adicional, sendo que a inflação termina naturalmente quando termina o *slow-roll* (FIGURA 3).

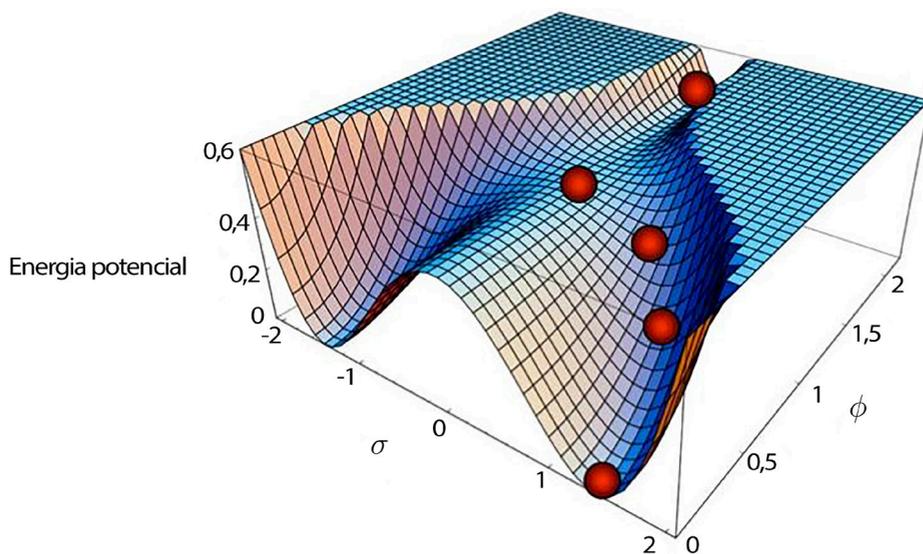


FIGURA 3. Exemplificação esquemática da Inflação Híbrida na qual existem dois campos escalares que permitem a inflação ocorrer e terminar.

Quando a inflação termina, existe um período chamado reaquecimento (*reheating* na terminologia inglesa), uma vez que o inflatão decai em partículas do Modelo Padrão da Física de Partículas que preenchem o Universo. Assim, a radiação eletromagnética emitida é a componente dominante desta fase cósmica. Assim, as flutuações quânticas inflacionárias adquirem dimensões cosmológicas, sendo as sementes da formação de estruturas do nosso Universo.

Sendo a inflação cósmica um paradigma e não uma teoria, significa que existem muitos modelos que prevêem uma fase inicial de rápida expansão. Felizmente, há também dados observacionais muito precisos que permitem excluir ou restringir um dado modelo, principalmente pelos dados da radiação cósmica de fundo obtidos pelas missões COBE, WMAP e, mais recentemente, Planck. Assim, esta época cósmica é particularmente relevante para estudar modelos gravitacionais de altas energias ou que permitem explicar os problemas da matéria escura e da energia escura.

Nanopartículas de prata

História, benefícios e aplicações

26

Adelaide Sousa, Ana Ramalho, Eduarda Fernandes, Marisa Freitas

LAQV/ REQUIMTE/ LQA/ DCQ/ FF/ Universidade do Porto

As nanopartículas de prata estão presentes na vida quotidiana do Homem desde tempos ancestrais, essencialmente devido à singularidade das suas propriedades físicas, químicas e biológicas. O interesse por este tipo de nanopartículas tem aumentado exponencialmente em todo o mundo, sendo prova disso a sua vasta aplicação em inúmeros produtos do nosso dia-a-dia. Apesar dos seus benefícios, a crescente exposição a nanopartículas de prata levanta questões acerca das suas implicações na saúde humana.

A história da nanotecnologia

Primeiramente, o que significa “nano”? A terminologia “nano” deriva da palavra grega *nanos*, que significa “anão” ou algo muito pequeno, sendo atualmente utilizada como prefixo no Sistema Internacional de Unidades para denotar um fator de 10^{-9} m. Assim sendo, as nanopartículas são comumente definidas como partículas ou aglomerados de partículas ultrafinas, com diâmetro entre 1 e 100 nm.

Na verdade, a história da nanotecnologia, isto é, do desenvolvimento e manipulação de matéria à escala nanométrica, pode ser traçada até tempos ancestrais. Embora a manipulação de materiais à escala atômica e molecular pareça ser um conceito moderno, sabe-se que vários artesãos antigos manipulavam a matéria à mais ínfima escala, ainda que de forma não intencional. Há vários exemplos famosos de artefactos antigos que foram criados utilizando materiais à escala nanométrica. Um dos mais conhecidos, a taça Lycurgus, que agora reside no Museu Britânico em Londres, foi criada por romanos, cerca de 400 d.C. e representa uma das mais notáveis realizações na indústria do vidro antigo, sendo o mais antigo exemplo famoso de vidro dicróico que contém nanopartículas de prata (AgNP) e ouro (FIGURA 1). Este copo de bronze romano revestido de vidro muda de cor em certas condições de iluminação e pode apresentar duas cores diferentes: verde sob luz direta e vermelho-púrpura quando a luz brilha através do vidro.



FIGURA 1. A taça Lycurgus, um exemplo de utilização de materiais nanotecnológicos nos tempos antigos. O copo aparece verde na luz refletida e vermelho-púrpura na luz transmitida. Reproduzido com a permissão do Museu Britânico de Londres.

Apesar de já estar presente na vida quotidiana, o surgimento teórico da nanotecnologia apareceu apenas em 1959, numa reunião de físicos, quando Richard Feynman proferiu a célebre frase "*There's plenty of room at the bottom*". De uma forma inteligente, e até mesmo provocatória, Feynman desenvolveu a hipótese de que a construção com precisão atômica e a escala até ao nível nanométrico, a partir da base, seria a chave para o avanço da tecnologia futura.

O surgimento das AgNP

De entre os diversos tipos de nanosistemas, a comunidade científica foi-se interessando de uma forma particularmente especial pelos nanosistemas metálicos, que permitem a melhoria das características físicas, químicas e biológicas dos metais como a prata ou ouro, em comparação com os seus homólogos volumosos. Devido ao elevado número de átomos presentes na sua superfície, estes nanosistemas apresentam propriedades físicas, químicas e morfológicas únicas. A sua elevada relação superfície/volume e pequeno tamanho permitem a ocorrência de algumas interações físicas ou químicas específicas com o ambiente biológico (como agregação, aglomeração, adsorção à superfície da célula e absorção pelas células).

Porquê e de que forma é que isto acontece?

Este fenómeno deve-se, em parte, ao confinamento espacial dos eletrões, que determina o tipo de movimento que os eletrões podem executar. Quando materiais maiores são alterados quanto ao seu tamanho e forma na nanoescala, o confinamento espacial dos eletrões é também alterado e surgem materiais com novas propriedades.

Atualmente, as AgNP são o tipo de nanopartículas mais produzido e comercializado em todo o mundo, estando presentes em cerca de metade dos produtos que contêm nanopartículas na sua composição.

Mas, porquê o interesse nas nanopartículas de prata?

A utilização da prata remonta a 4000 anos a.C., sobretudo na Grécia e Roma. Este metal era rotineiramente utilizado devido, sobretudo, às suas propriedades antimicrobianas. Embora nesta altura não se soubesse que os micróbios eram o foco das infeções e, portanto, o uso da prata fosse empregado de forma empírica, sabe-se que a prata era muito utilizada em recipientes para o armazenamento de água potável, bem como em suturas para fechar feridas e evitar infeções.

Tendo por base os benefícios da prata, juntamente com os avanços da nanotecnologia, surgem então as AgNP.

Propriedades químicas, físicas e biológicas e aplicações das AgNP

O crescente interesse nas AgNP deve-se ao facto de estas apresentarem uma série de características interessantes e otimizadas, em comparação com o metal prata, como por exemplo: atividade catalítica, propriedades óticas, térmicas e de alta condutividade elétrica, morfologia ajustável, fácil síntese, alta relação superfície/volume e sistema de entrega intracelular. Para além destas propriedades físico-químicas, as AgNP apresentam também diversas propriedades biológicas que as tornam ainda mais atrativas, nomeadamente, propriedades antibacteriana, antifúngica, antiviral e anticancerígena.

Quais são, então, as áreas de aplicação de AgNP? Em que produtos do nosso dia-a-dia podemos encontrar AgNP?

Apesar de invisíveis aos nossos olhos, as AgNP estão cada vez mais presentes em produtos do nosso dia-a-dia. Tal como mencionado na TABELA 1, as AgNP estão presentes em diversas categorias de produtos, sendo de destacar a sua utilização em áreas tão diversas como saúde (curativos de feridas, protetor solar), *fitness* (por exemplo: vestuário, cosméticos, protetor solar), casa e jardim (por exemplo: limpeza, materiais de construção, mobiliário doméstico, tintas) e em alimentos e bebidas (por exemplo: alimentos armazenáveis tipo enlatados, suplementos). Embora em menor percentagem, as AgNP também têm sido utilizadas em acessórios para crianças e brinquedos, eletrodomésticos, automóveis e eletrónica.

De entre as suas inúmeras áreas de aplicação, é importante destacar a utilização das AgNP na área da saúde. Estas nanopartículas têm sido amplamente utilizadas na terapêutica, nomeadamente como revestimentos antibacterianos utilizados em curativos de feridas, implantes cardiovasculares, cateteres, implantes ortopédicos e implantes dentários. Para além disso, as AgNP são também usadas no diagnóstico de inúmeras doenças como o cancro, sendo capazes de permitir a deteção de células cancerígenas.

TABELA 1. Exemplos de produtos que contêm AgNP na sua composição.

Categoria	Produto	Aplicação
Saúde	Curativos de feridas	Tratamento de feridas infetadas ou com risco de infeção
Saúde e fitness	Camisola de desporto	Regular a temperatura e resistir ao odor
Casa e jardim	Aspirador	Evitar a acumulação de bactérias e odores, e assegurar que o ar emitido é isento de odores e bactérias
Alimentos e bebidas	Suplemento	Reforçar o sistema imunitário, eliminar ou inibir o crescimento de leveduras. É considerado anti-bacteriano e anti-viral
Acessórios para criança e brinquedos	Biberão	Ação antibacteriana
Eletrodomésticos	Máquina de lavar	Inibir o crescimento e propagação de bactérias
Automóveis	Detergente de limpeza	Agente de limpeza anti-reflexo, remove contaminações, manchas e sedimentos gordurosos e absorve a radiação UV. Refresca a superfície de limpeza e ilumina a cor, deixando um aroma agradável
Eletrónica e computadores	Teclado	Ação antibacteriana

Mas, será que a exposição diária a AgNP pode estar associada a algum impacto negativo para a saúde humana?

Apesar da evolução da nanotecnologia e das vantagens associadas ao uso das AgNP, a sua utilização crescente na vida quotidiana da população mundial, de forma direta ou indireta, levanta várias preocupações sobre a exposição humana e possíveis efeitos tóxicos decorrentes de uma exposição prolongada. Se, por um lado, as propriedades das AgNP as tornam apelativas em diversas áreas, também são estas propriedades que resultam em riscos para a saúde humana. De facto, a exposição prolongada a AgNP promove não só a sua entrada no organismo, como também a libertação do ião prata, o que por sua vez poderá levar à ocorrência de danos no DNA, *stress* oxidativo e morte celular. Assim sendo, é fundamental regulamentar de forma adequada a aplicação de AgNP em produtos de consumo diário, para que a exposição humana não exceda a dose diária aceitável de 0,9 µg de iões de prata/kg de peso corporal por dia, estabelecida pela Agência Europeia dos Produtos Químicos.

Reprodução humana assistida

Ana Margarida Aleixo*, Vasco Almeida¹

* CIIMAR/ Universidade do Porto

¹DB/ FCUP

A reprodução humana assistida inclui um conjunto de técnicas e intervenções que ajudam muitos casais a realizar o seu sonho de ter um filho. Frequentemente, são associadas à ação médica que, numa consulta de infertilidade, projeta a melhor estratégia para auxiliar esse casal. Contudo, estas técnicas congregam um conjunto alargado de profissionais, em que se incluem biólogos (embriologistas), psicólogos, técnicos de diagnóstico, entre outros, pelo que se afigura mais correto falar-se em reprodução humana assistida, ao invés de reprodução medicamente assistida. Estudos recentes mostram que 1 em cada 50 crianças que nascem na Europa são, atualmente, resultado deste tipo de tratamentos, pelo que é de todo o interesse conhecê-los e perceber os avanços tecnológicos associados a estas técnicas. A opção por um dos tratamentos disponíveis depende de variadíssimos fatores, pelo que não é possível associá-los a uma situação específica de infertilidade. Normalmente, opta-se pelo tratamento menos invasivo, que ofereça a melhor relação entre a problemática em causa e a taxa de sucesso associada.

Inseminação intrauterina (IIU)

A inseminação intrauterina é o método avaliado como sendo mais simples, por ser não invasivo. Muitos autores não o consideram, verdadeiramente, um método incluído na definição de tecnologia de reprodução assistida, por não envolver o manuseamento *in vitro* de ovócitos e espermatozoides, ao mesmo tempo. Contudo, tem larga utilização quando se procura obter uma gravidez em situações de subfertilidade (diminuição da fertilidade, sem que ocorra uma completa incapacidade de procriar) e quando é necessário utilizar espermatozoides de um dador, sendo, por esse motivo, considerado um tratamento de primeira linha.

Caracteriza-se pela introdução de uma suspensão de espermatozoides previamente processado na cavidade uterina. As técnicas de processamento do espermatozoides permitem eliminar a maior

percentagem possível de espermatozoides imóveis ou com anomalias, restando os que apresentam melhores características em termos morfológicos e funcionais.

Esta técnica pode ser realizada num ciclo natural ou em combinação com estimulação ovárica. Contudo, essa estimulação prévia representa um risco aumentado de gestações múltiplas, com muitas desvantagens, que incluem complicações maternas e neonatais. A melhor opção pode passar por uma estimulação prévia, mas com constante acompanhamento e monitorização ecográfica: caso se verifique que os ovários contêm muitos folículos em desenvolvimento, o ciclo terá de ser cancelado, para evitar que ocorra libertação de um grande número de ovócitos (o que levaria a um elevado risco de gravidez múltipla).

A escolha deste método implica que se confirme, previamente, que a mulher não apresenta problemas de permeabilidade das trompas de Falópio. É um método que pode ser repetido em vários ciclos, até se conseguir uma gravidez ou até se decidir optar por outra solução mais invasiva.

Fertilização *in vitro* (FIV)

A fertilização *in vitro* é uma “técnica de reprodução humana assistida em que ocorre fecundação extracorporal”, sendo os embriões resultantes transferidos, posteriormente, para o útero materno.

Por um lado, procede-se à recolha e tratamento de uma amostra de sêmen. Paralelamente, são recolhidos gâmetas femininos através da técnica de punção (aspiração de ovócitos), após estimulação ovárica com recurso a hormonas. Os dois tipos de gâmetas são, posteriormente, incubados juntos, para que ocorra a fecundação. As elevadas taxas de sucesso da FIV e a possibilidade de contornar problemas que pareciam, há umas décadas, inultrapassáveis (trompas de Falópio obstruídas, por exemplo, ou deficiente produção de ovócitos), criaram, desde o início, grande expectativa para muitas pessoas afetadas por infertilidade.

No Reino Unido, a proporção de ciclos de fertilização *in vitro* realizados por pacientes com 40 ou mais anos aumentou de 10%, em 1991, para 21%, em 2019. Na verdade, a FIV veio revolucionar completamente a diminuição da maternidade em mulheres com idade avançada, especialmente por permitir o recurso a doação de ovócitos. Estas questões, contudo, acarretam alguns riscos e devem ser alvo de grande reflexão e ponderação.

O êxito da FIV depende, em grande medida, da quantidade e da qualidade dos ovócitos obtidos através dos procedimentos de estimulação ovárica controlada.

Injeção Intracitoplasmática de Espermatozoides (ICSI)

Esta técnica é um “procedimento onde um único espermatozoide é injetado no citoplasma de um ovócito”. O número de intervenções com recurso a ICSI tem aumentado, nos últimos anos, na Europa, ao contrário da FIV, que tem revelado tendência para diminuir.

A injeção intracitoplasmática de espermatozoides envolve uma grande manipulação dos gâmetas masculinos e foi introduzida, em 1992, para melhorar as taxas de fertilização associadas a infertilidade por fator masculino grave. Os espermatozoides adequados são selecionados (embora com algum grau de subjetividade) por um embriologista, de acordo com critérios definidos previamente. O embriologista introduz cada espermatozoide diretamente no interior de um ovócito, com auxílio de equipamentos especializados. Esta técnica permite que sejam usados espermatozoides que, de outra forma, não teriam grande capacidade de fecundar um ovócito (de forma natural, *in vivo* ou *in vitro*). As evidências sugerem que há um risco maior de aborto espontâneo e defeitos congênitos, pois é impossível identificar alterações no núcleo ou presença de fragmentação de DNA nos espermatozoides selecionados.

Diagnóstico Genético Pré-Implantação (DGPI)

O diagnóstico genético pré-implantação é usado para identificar defeitos genéticos do embrião. Desta forma, procura-se que não sejam transferidos para o útero materno os embriões (obtidos através de FIV ou ICSI) que sejam portadores de doenças hereditárias. Para o conseguir, atualmente, recorre-se à biópsia de 4 a 6 células da trofoectoderme, quando o embrião atinge a fase de blastocisto (FIGURA 1).

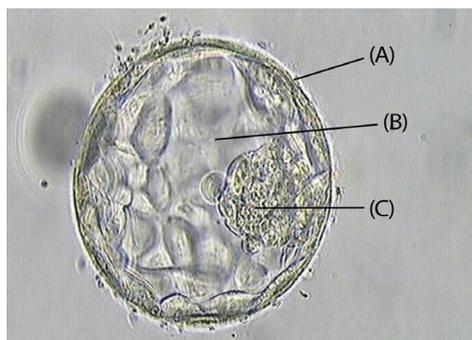


FIGURA 1. Embrião observado ao microscópio óptico, ampliado 400x, com 5 dias de desenvolvimento, num estágio denominado de blastocisto. (A) Trofoectoderme (células que induzem a nidação e permitem a formação da placenta; é deste conjunto celular que se retiram as células para biópsia). (B) Blastocélio (cavidade interna). (C) Massa celular interna (células a partir das quais se forma o embrião).

A primeira técnica padrão de DGPI para deteção de cromossomas foi a hibridização fluorescente *in situ* (FISH) que avaliava um pequeno número de cromossomas. Contudo, os galopantes avanços nas áreas da análise genética (nomeadamente ao nível da sequenciação de genes) trazem, constantemente, atualizações para este diagnóstico.

O objetivo é o estudo genético de embriões obtidos *in vitro*, permitindo distinguir os mais saudáveis e, portanto, os que têm maiores probabilidades de desenvolver uma eventual gravidez. Esta técnica mostra ser clinicamente segura no nascimento, mas não há ainda estudos suficientes que abordem as consequências a longo prazo.

O desenvolvimento das técnicas de edição de genes, incluindo a técnica CRISPR/Cas9, que motivou a atribuição do Prémio Nobel da Química em 2020, traz uma grande esperança de obter embriões com as melhores condições de sobrevivência, para serem transferidos. Contudo, estas técnicas ainda necessitam de ser aprimoradas para poderem ser usadas de forma generalizada e espera-se que esse avanço tecnológico possa ser também acompanhado de reflexão ética sobre a sua utilização.

Transferência de embriões

Os embriões obtidos por FIV ou ICSI podem ser transferidos para o útero no estágio de clivagem (com 2 ou 3 dias) ou no estágio de blastocisto (correspondente ao 5.º dia). A opção por esta transferência mais tardia pode aumentar a probabilidade de transferência seletiva de embriões viáveis e geneticamente normais, daí a importância da correta avaliação da sua qualidade. Inicialmente, todos os embriões eram transferidos o mais cedo possível, para que rapidamente tivessem acesso ao ambiente natural de desenvolvimento embrionário, o ventre materno. Contudo, isso fazia com que se transferissem, frequentemente, embriões condenados à degeneração e que, por esse motivo, nunca chegavam a implantar-se e desenvolver. A melhoria das técnicas de cultura embrionária tem permitido, atualmente, uma transferência mais tardia. Assim, o embrião é vigiado durante mais tempo, só se transferindo os que realmente conseguem ultrapassar com sucesso etapas tão sensíveis do seu desenvolvimento. Estes dias que medeiam entre a fecundação e a transferência, de divisões mitóticas sucessivas, permitem classificar os embriões que exibem desenvolvimento morfocinético mais consistente com os padrões descritos na bibliografia mais recente e, portanto, demonstram maior probabilidade de conseguir nidificar e levar a uma gravidez de termo. Por outro lado, por serem transferidos ao 5.º dia, são colocados mais próximos do local onde se iriam encontrar naturalmente nesse dia de desenvolvimento, caso a fecundação tivesse ocorrido normalmente, no interior do corpo materno.

Há uma tendência crescente para transferir menos embriões num único tratamento, reduzindo a probabilidade de que todos se implantem, originando uma gravidez múltipla, com grandes desvantagens para a mãe e os bebés.

É comum, em diferentes fontes bibliográficas, encontrar-se referência a algumas variantes destas técnicas, como a Transferência Intratubária de Gâmetas ou a Transferência Intratubária de Zigotos (GIFT e ZIFT, respetivamente, na sigla inglesa). Contudo, estas variantes tendem a ser mais dispendiosas e estão associadas a vários riscos (possibilidade de gravidez ectópica, por exemplo). Por outro lado, nos últimos anos, verificou-se uma enorme evolução no conhecimento relacionado com a capacidade de manter, por mais tempo e de forma estável, os gâmetas colhidos e os embriões formados *in vitro*, pelo que estas variantes foram sendo praticamente abandonadas em todo o mundo.

Termalismo e Termas

Celso de Sousa Figueiredo Gomes

Universidade de Aveiro

Algumas águas proporcionam ação catártica (purgativa), outras águas ação diurética, e outras águas ação diaforética (transpiração). A natureza e a extensão das reações são dependentes, quer dos constituintes químicos que predominam na água, quer dos teores respetivos. Várias doenças são tratadas através da administração de águas minerais naturais: doenças do metabolismo — obesidade, diabetes, gota, reumatismo; doenças do trato alimentar ou digestivo — obstipação e diarreia crónicas; doenças do fígado — hiperemia, cirrose; doenças do trato urinário — “pedra” ou cálculo do rim; doenças do sistema circulatório — anemia, hipertensão; doenças do sistema respiratório — faringite, rinofaringite, laringite, enfisema. A indicação terapêutica para doenças dos foros digestivo, respiratório, reumático e músculo-esquelético e dermatológico é condicionada pelas características físico-químicas da água e a dose diária prescrita — n.º de tomas e volumes respetivos, assim como as precauções que devem ser tomadas, varia com a mineralização, a composição química e a temperatura da água.

Termas Portuguesas — é a Água Mineral que as distingue

Em Portugal, existem 41 Termas ou Estâncias Termais ativas, distintas em termos de mineralização. Por exemplo, na Região Centro de Portugal, a mineralização da água silicatada sódica das Termas do Luso está estimada em 40 mg/L, a mineralização da água sulfatada cálcica das Termas da Curia está estimada em 2.375 mg/L e a mineralização da água sulfúrea, cloretada e fluoretada das Caldas de São Jorge está estimada em 690 mg/L.

As águas minerais naturais utilizadas nas Termas são distintas em termos de pH, umas são ácidas ($\text{pH} < 7$, como é o caso da água das Termas do Luso, com $\text{pH} = 5,4$), outras alcalinas ($\text{pH} > 7$, como é o caso da água das Termas de São Pedro do Sul, com $\text{pH} = 8,5$, da água das Termas de Monchique, com $\text{pH} = 9,5$ e da água das Termas de Cabeço de Vide, com $\text{pH} = 11,5$).

Quanto à temperatura na emergência, as águas minerais naturais podem ser classificadas em frias ou quentes (ou “caldas”), frias se emergem a temperaturas inferiores a 25 °C, quentes se emergem a temperaturas iguais ou superiores a 25 °C. Das águas frias, salientam-se as das Termas da Curia (20 °C) e das Termas de Monte Real (18 °C). As águas

quentes podem subdividir-se em: hipotermiais, se emergem a temperaturas entre 25—35 °C, de que são exemplo as águas das Termas de Monfortinho e das Termas de Unhais da Serra, na Região Centro de Portugal; mesotermiais, se emergem a temperaturas entre 35—50 °C, de que são exemplo as águas das Termas de Felgueira e de Manteigas, na Região Centro de Portugal; e hipertermiais, se emergem a temperaturas superiores 50 °C, como acontece nas Termas de Aregos (61 °C), nas Termas de Chaves (76 °C) e nas Termas de São Pedro do Sul (68 °C). Como se pode constatar, a designação Termas não implica a existência de águas quentes.

Quanto à mineralização das águas minerais naturais das termas portuguesas, elas são classificadas na base da sua Mineralização Total (MT), como segue: água muito fracamente mineralizada — MT igual ou inferior a 50 mg/L, exemplificada pela água de Luso; água fracamente mineralizada — MT igual ou inferior a 500 mg/L; água meso ou mediomineralizada — MT entre 500—1.500 mg/L; água fortemente mineralizada — MT igual ou superior a 1.500 mg/L.

A maioria das águas minerais naturais das Termas portuguesas, pelo tipo de rochas (granitos, granitoides e xistos) que atravessam, evidenciam alguma radioatividade atribuída ao gás natural radão (Rn), sendo classificadas como: águas não radioativas, quando a radioatividade é inferior a 2 m μ C/L; águas radioativas, quando a radioatividade se situa entre 2 m μ C/L—5 m μ C/L; águas fortemente radioativas, quando a radioatividade é superior a 5 m μ C/L.

O teor de radão (Rn) das águas minerais naturais, outrora muito valorizado do ponto de vista terapêutico, entretanto deixou de o ser. As águas das Termas portuguesas caracterizadas com maior radioatividade são as seguintes: radioativas — São Pedro do Sul (4,4 m μ C/L) e Cró (5 m μ C/L); fortemente radioativas: Alcafache (18 m μ C/L), Carvalhal (32 m μ C/L), Felgueira (25 m μ C/L), Luso (29 m μ C/L) e Sangemil (63 m μ C/L), termas localizadas na Região Centro do país, onde se verificam ocorrências de minerais de urânio.

A TABELA 1 mostra algumas das propriedades consideradas mais importantes de algumas águas minerais naturais de Termas das regiões Norte e Centro de Portugal. Fica evidente que as chamadas águas sulfúreas são dominantes em Termas das Regiões Norte e Centro de Portugal, onde são aplicadas no tratamento de certas afeções respiratórias e de certas afeções dérmicas.

A tipologia água sulfúrea é caracterizada por apresentar: 1) cheiro fétido a gás sulfídrico (H₂S) mais ou menos notório; 2) presença de solução de enxofre no estado reduzido, maioritariamente sob a forma de HS⁻; 3) pH francamente alcalino, quase sempre entre 8—9,5; 4) Mineralização Total moderada entre 200—700 mg/L; 5) em regra, o bicarbonato (HCO₃⁻) é o anião dominante e o sódio (Na⁺) é o catião dominante; 6) em regra, a temperatura na emergência é superior à temperatura média anual do local de emergência.

TABELA 1.

Termas	Temperatura (°C)	Mineral. Total (mg/L)	Composição Química	SiO ₂ coloidal (mg/L)	pH	CO ₂ natural livre (mg/L)
Aregos	Hipertermal 61	Fraca/mineral. 313	Sulfúrea, fluoretada, sódica	53	9,2	
Caldas da Saúde	Hipotermal 26	Meso/mineral. 564	Sulfúrea fluoretada	94,1	8,8	
Chaves	Hipertermal 68	Forte/mineral. 2.508	Bicarbonatada sódica	99,6	6,9	1.150
Gerês	Mesotermal 37—47	Fraca/mineral. 289	Fluoretada	66,6	9,1	
Pedras Salgadas	Fria 7	Forte/mineral. 2977	Bicarbonatada sódica	75,7	6,2	2.550
São Jorge	Fria 23	Meso/mineral. 690	Sulfúrea cloretada, fluoretada, sódica	62,0	8,6	
S. Vicente	Fria 19	Meso/mineral. 503	Sulfúrea fluoretada, sódica	69,6	8,6	
Vidago	Fria 18	Forte/mineral. 5.506	Bicarbonatada sódica	58,1	6,5	1.960
Alcáçache	Hipertermal 51	Fraca/mineral. 360	Sulfúrea fluoretada, bicarbonatada sódica	52	8,4	
Caldas da Rainha	Mesotermal 35	Forte/mineral. 2.990	Cloretada, sulfatada, sódica, cálcica	18	6,9	
Felgueira	Mesotermal 36	Fraca/mineral. 414	Sulfúrea fluoretada, bicarbonatada sódica	47	4,7	
Luso	Fria 22	Muito fraca/ mineral. 40		11	5,4	
Monfortinho	Hipotermal 27	Muito fraca/ mineral. 49	Silicatada	18	5,7	
Monte Real	Fria 18	Forte/mineral. 2.620		15	7,2	
São Pedro do Sul	Hipertermal 68	Fraca/mineral. 341	Sulfúrea, fluoretada, bicarbonatada, sódica	70	8,9	

Termalismo e Balneoterapia em Portugal — Factos Históricos

Desde a antiguidade, o Homem utiliza as águas termais para alcançar o bem-estar físico e psicológico. Até ao século XII, ou seja, até à fundação de Portugal, o termalismo atravessou vários períodos: pré-romano, romano-lusitano, pós-romano, luso-germânico e árabe. Os romanos, em Portugal, foram os grandes promotores do termalismo; valorizaram as chamadas águas termais mineromedicinais e desenvolveram as práticas e os métodos da hidroterapia. Os balneários faziam parte de uma civilização que busca expandir, no seu vasto império, uma cultura na qual o prazer, aliado à saúde do corpo e da mente, era um direito de cidadania. No território da Lusitânia, surgiram termas em Lisboa, Tróia, Estói, Conímbriga, Entre-os-Rios, S. Vicente, Vizela, Taipas, Chaves, Caldelas, São Pedro do Sul e Gerês, mais sumptuosos ou mais modestos, mas sempre funcionais.

A igreja, antes adversa à prática dos banhos públicos, aproveitou a terapia hidromineral e colocou os balneários sob sua jurisdição direta, pelo que conventos, abadias e bispados começaram a explorar os banhos.



FIGURA 1. A Fonte da Pedra (Várzea, São Pedro do Sul), onde água mineral natural emerge à temperatura de 67,8 °C e é classificada quimicamente como sulfúrea e bicarbonatada sódica; esta água é, desde há muito, utilizada nos dois balneários das Termas de São Pedro do Sul, apenas sob a forma de aplicações externas para tratamento de doenças dos sistemas respiratório, muscular, articular, esquelético e dérmico.

A FIGURA 1 mostra a chamada Fonte de Pedra, localizada próximo ao balneário Rainha Dona Amélia (em Várzea, São Pedro do Sul), onde emerge silicato sulfuroso, fluoreto e bicarbonato de sódio com pH = 8,89 (estimado a 18 °C) a 67,8 °C. A água utilizada na balneoterapia é provida de um poço artesiano de 500 m de profundidade. No Balneário de São Pedro do Sul, existe outro balneário denominado D. Afonso Henriques. Os dois balneários de São Pedro do Sul são, entre todos os balneários portugueses, os mais frequentados.

Ciência cidadã ao longo do tempo

Cristina Luís

CIUHCT/ Faculdade de Ciências/ Universidade de Lisboa

Tem-se assistido, durante a última década, ao enorme crescimento de uma prática conhecida como ciência cidadã. Por se tratar de uma forma de participação pública na investigação científica, esta prática potencia o avanço mais rápido do conhecimento científico, contribuindo para uma maior colaboração entre a ciência e a sociedade, daí o seu crescimento nos últimos tempos. No entanto, a ciência cidadã não é uma prática nova. Assim, apresenta-se aqui um breve resumo das principais características da ciência cidadã, um exemplo desta prática no passado e um breve panorama atual em Portugal.

O que é a ciência cidadã?

Apesar de ser uma prática cada vez mais conhecida, não existe uma definição única para o conceito de ciência cidadã, uma vez que pode assumir diversas vertentes. O termo tornou-se conhecido nos anos 90 do século XX, através de Alan Irwin (1995) e de Rick Bonney (1996). Alan Irwin define a ciência cidadã como uma abordagem para apoiar uma ciência mais democrática e participativa, ao passo que Rick Bonney a descreve como uma ferramenta utilizada por cientistas profissionais, na qual cidadãos, voluntariamente, contribuem para a ciência através da recolha de dados. Mais tarde, no Livro Branco sobre a Ciência Cidadã na Europa, o termo é definido como "o envolvimento do público em geral em atividades de investigação científica nas quais contribui ativamente para a ciência, com o seu esforço intelectual, com os seus conhecimentos ou com as suas ferramentas e recursos" (FIGURA 1).

Na prática, a ciência cidadã consiste essencialmente numa abordagem para responder a questões-chave da investigação contemporânea através do envolvimento voluntário de cidadãos nas várias etapas do processo científico, desde o desenho de projetos de investigação (através da definição das questões de investigação) até à disseminação dos principais resultados e conclusões, passando pela recolha, interpretação e discussão de resultados.

Os projetos e iniciativas de ciência cidadã podem ser concebidos de múltiplas formas, pelo que existe um esforço para os categorizar.



FIGURA 1. Registo de dados de biodiversidade.

A maioria dos autores divide as tipologias de projetos de acordo com o grau de envolvimento e o tipo de tarefas científicas realizadas pelos voluntários que participam. Assim, de uma forma geral, os projetos podem classificar-se de acordo com as seguintes tipologias:

Contributivos — geralmente desenhados por cientistas e nos quais o público em geral contribui com dados;

Colaborativos — geralmente desenhados por cientistas e nos quais os membros do público contribuem com dados, mas também ajudam a aperfeiçoar o desenho do projeto, a analisar dados ou a disseminar resultados;

Co-criados — desenhados em conjunto por cientistas e membros do público em geral e nos quais alguns elementos do público estão ativamente envolvidos na maioria ou em todos os passos do processo científico.

A ciência cidadã assume, assim, diversas facetas, entre as quais o levantamento de novas questões de investigação e a co-criação de novos conhecimentos científicos. Os participantes voluntários adquirem novos saberes e competências e uma compreensão mais profunda do trabalho científico, o que permite novas formas de cultura científica.

O passado da ciência cidadã em Portugal

Graças à proliferação, nos últimos anos, de projetos de ciência cidadã a nível global, esta prática é muitas vezes referida como sendo recente. No entanto, o envolvimento de cidadãos sem formação especializada na ciência está longe de ser um fenómeno novo. A his-

tória da ciência revela diversos exemplos que mostram que os primeiros dados científicos modernos terão sido, em grande parte, obtidos por amadores, nomeadamente membros do clero ou aristocratas, que dispunham de tempo e meios financeiros para se dedicarem à recolha de informação sobre o mundo natural. Há centenas de anos que grupos de pessoas sem formação científica fazem observações e registos sobre o mundo natural, incluindo a recolha de informação sobre distribuição de espécies de animais e plantas, a recolha de dados meteorológicos e observações de fenómenos astronómicos, registos esses que são, muitas vezes, centralizados por associações ou entidades governamentais.

Assim, encontra-se em desenvolvimento um estudo que pretende ajudar a reconstruir alguma da história da ciência cidadã em Portugal, examinando a rede de colaboradores voluntários no registo da biodiversidade animal e a forma como a informação circulou entre colecionadores, naturalistas amadores e naturalistas especializados.

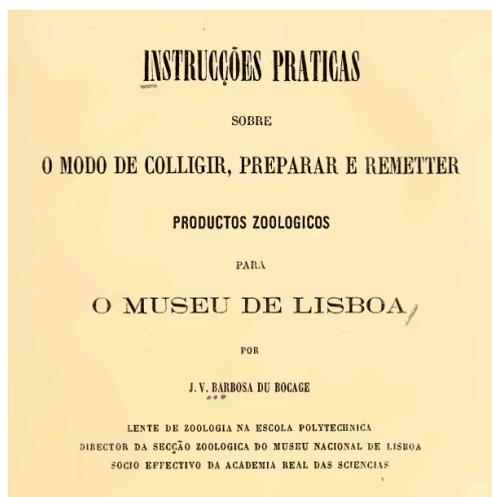


FIGURA 2. Publicação de Barbosa du Bocage intitulada *Instruções práticas sobre o modo de colligir, preparar e remetter productos zoologicos para o Museu de Lisboa*.

Dentro de vários exemplos já encontrados, destaca-se as *Instruções práticas sobre o modo de colligir, preparar e remetter productos zoologicos para o Museu de Lisboa* (FIGURA 2) publicadas em 1862 por José Vicente Barbosa du Bocage (1823-1907), diretor do Museu de Lisboa (a instituição que deu origem ao atual Museu Nacional de História Natural e da Ciência). Com esta publicação, o diretor do museu apelou à colaboração de indivíduos para ajudar a expandir as suas coleções zoológicas.

Bocage menciona que:

"Para colligir os productos naturaes da localidade onde se reside; para entreter os ócios da vida do campo com occupaões que fazem correr ligeiras as horas e elevam a intelligencia; para estudar a natureza, e procurar comprehender a grande obra da criação soletrando alguma das

paginas da sua historia,—não é mister ser naturalista de profissão, nem sábio diplomado por universidades e academias. Para começar bastam algumas indicações sobre o modo por que se devem procurar e preparar os objectos que se pretende colligir; depois a repetição das excursões e pesquisas, a experiência de cada dia, os ensaios e observações próprias desenvolverão aptidões, diremos quasi instinctos, de verdadeiro naturalista".

É muito interessante a forma como este documento aborda a população em geral e apela à colaboração de todos os interessados na recolha de espécimes zoológicos, ignorando qualquer experiência anterior como naturalista amador. Esta passagem das *Instruções Práticas...* é, pois, um testemunho daquilo a que poderíamos chamar um apelo do século XIX para todos se tornarem cientistas cidadãos!

O presente e o futuro da ciência cidadã em Portugal

Como vimos pelo exemplo anterior, a ciência cidadã em Portugal está longe de ser uma prática nova. No entanto, tem ainda pouca projeção comparativamente com o que acontece noutros países.

No caso português, como porventura em muitos outros contextos nacionais, é importante organizar e congregar esforços em torno da comunidade que promove iniciativas de ciência cidadã, bem como criar um plano mais alargado para divulgar o potencial da ciência cidadã, quer para um maior e mais rápido avanço na investigação científica, quer ainda para uma maior aproximação entre ciência e sociedade em geral. Assim, encontra-se em implementação a Rede Portuguesa de Ciência Cidadã que reúne regularmente com todos os membros interessados na temática, de dentro e fora da academia, e possui grupos de trabalho em funcionamento. A rede encontra-se a preparar o lançamento de uma plataforma na qual será possível visualizar os projetos e iniciativas de ciência cidadã a decorrer em Portugal.

Uma das tarefas, também em desenvolvimento por parte da rede, é o mapeamento das iniciativas de ciência cidadã em curso em Portugal. No entanto, num levantamento não exaustivo efetuado em 2015 e melhorado em 2020, é possível perceber que, em Portugal, os projetos de ciência cidadã parecem obedecer a um padrão global, ou seja, são maioritariamente contributivos e nas áreas do ambiente e biodiversidade (ex.: *BioDiversity4All*, *Invasoras.pt*, *GelAvista*, *Lixo marinho*), com alguns exemplos na área da saúde (ex.: *Gripenet*, *MosquitoWeb*) e da astronomia (ex.: *Sun4All*, *Caçadores de Asteroides*). Nas áreas das humanidades e ciências sociais, surgem também alguns projetos (ex.: *Memória para Todos*, *Histórias de Vida*, *Novos Decisores Ciências*), no entanto em número menor do que nas restantes áreas. É de realçar que uma parte dos projetos decorrem da colaboração com plataformas internacionais (ex.: *Biodiversity4All*, *Portugal Aves*, *Gripenet*). É ainda de referir que, apesar de muitos destes projetos serem adequados para a exploração em contexto escolar, existem alguns projetos que se dirigem particularmente ao público

escolar (ex.: Caçadores de Asteroides, MEDEA, *EduMar*). Ao permitir o envolvimento dos alunos em atividades de investigação científica, como é o caso do projeto *EduMar*, este tipo de experiências familiariza-os com os procedimentos típicos da produção de Ciência, contribuindo, ao mesmo tempo, com dados para o avanço do conhecimento científico (FIGURA 3).



FIGURA 3. Participante no projeto *EduMar* a fazer registo de espécies do litoral rochoso.

Considerações finais

Muito tem mudado ao longo do tempo no que toca à aproximação entre Ciência e sociedade, e Portugal não é exceção. Os projetos de ciência cidadã, não constituindo necessariamente uma novidade, são um dos mais interessantes desenvolvimentos neste movimento de aproximação, por permitirem a ativa participação da sociedade na prática científica e, em última análise, na exploração de novas formas de co-criação de conhecimento científico, num processo partilhado entre cientistas e não-cientistas.

Neste contexto, a comunidade escolar pode desempenhar um papel muito importante no sucesso de atividades de investigação científica que recorram à ciência cidadã. Pela sua própria natureza, a ciência cidadã envolve a participação numa ou mais etapas do processo científico oferecendo, portanto, oportunidades significativas para o ensino das ciências em ambientes formais e informais. A ciência cidadã aplicada à educação poderá assim contribuir para novas formas de aprendizagem através do envolvimento em atividades de investigação, transformando as salas de aula em laboratórios de investigação e os alunos em cientistas amadores.

Deserto, sal e água

Nuno Pimentel

IDL/ Universidade de Lisboa

No meio do deserto do Saara há uma mina de sal. Sal que ali foi deixado há milhões de anos quando o mar cobriu o Norte de África, sal que desde há séculos é explorado artesanalmente e distribuído por toda a região. Nas minas de sal de Taoudeni, no Mali, dezenas de pessoas trabalham para escavar por baixo da areia o sal, que depois é carregado em grandes placas que albardam os camelos que ali o vão buscar. Desde há séculos, caravanas de camelos saem de Tombuctu e dirigem-se para Norte, onde recolhem o sal e o trazem de volta, num trajeto que demora duas semanas para cada lado. Esta é a origem desta cidade mítica, carregada de História e cultura, localizada no exato lugar onde o meridiano de Taoudeni intersesta o Rio Níger, principal via de comunicação de toda a África Ocidental. Fui até meio caminho e voltei — 500 km de camelo, duas semanas, muito deserto e pouca água.

Para chegar a Tombuctu, o melhor é ir de barco. Da capital Bamako até Mopti ainda há uma estrada alcatroada, mas daí para Norte são caminhos de terra batida ou apenas carreiros na savana. Por isso, apanhei o barco em Mopti e durante três dias naveguei pachorrentamente entre bancos de areia, margens largas e zonas pantanosas ladeadas por dunas. O barco, uma espécie de pequeno cacilheiro, tem algumas cabines, mas a generalidade das pessoas viaja no enorme *deck*, onde toda a gente convive e partilha as suas coisas durante esses dias. E assim vivi esses três dias, em pleno Agosto e com temperaturas à volta dos 40 graus.

Chegado a Tombuctu, fui procurar um senhor de quem tinha ouvido falar num *fórum* dos inícios da Internet relacionado com os guias de bolso da *Lonely Planet* (bíblia incontornável para quem se aventurava por esse mundo fora, nos finais do século passado). Com ele, contratei o serviço que pretendia — uma viagem de ida e volta até Araouane (a meio caminho da mina de sal), seguindo a rota das caravanas *Azalai*, coisa para duas semanas no total.

Com tudo acertado, havia que preparar a viagem com alguns mantimentos e, principalmente, indumentária adequada. Para não darmos tanto nas vistas e para nos adaptarmos melhor ao calor do deserto, fomos a um alfaiate local para nos fazer um fato de touareg — calças largas e casaco de mangas compridas, tudo de algodão leve e côr azul forte. E um turbante, uma longa faixa de 3 metros, que aprendemos a enrolar na cabeça, pescoço e ombros, deixando apenas os olhos visíveis. Foi nesses preparos que nos lançámos à aventura, três pessoas (incluindo o guia) e três camelos, todos azuis e entusiasmados (FIGURA 1).



FIGURA 1. Avançando pelo deserto adentro.

Nos primeiros dias tudo é novidade, o deserto com alguns arbustos e erva rasa aqui e ali, o enorme desconforto do camelo durante horas a fio, a paragem a meio do dia para o arroz e uma sesta, e o adormecer exausto sob as estrelas. Aos poucos, a vegetação esparsa começa a desaparecer e começamos a entrar no *grand desert*, apenas dunas de areia sem fim e um pequeno arbusto espinhoso de tantos em tantos quilómetros.

Entrados no deserto puro e duro, as coisas começam a ser mais fortes. Olhar tudo à volta e nada mais ver senão areia, é uma sensação talvez comparável à de uma barcaça à deriva no mar alto. E calor, muito calor, de que à hora de almoço tentávamos fugir, depois de fazermos um chá e comer arroz cozido num fogareiro (FIGURA 2). Para dormir uma sesta, procurávamos um dos raros arbustos para estender um pano e fazer alguma sombra, enrolados sob as mantas que usávamos como um casulo. Enquanto isso, os camelos vagueavam nervosos ali à volta, à procura de alguma erva... e à primeira brisa da tarde, muito suave e quente, o guia ia procurar os camelos e trazia-os para continuarmos viagem... até anoitecer. Ao jantar, sempre chá e arroz, tínhamos um extra connosco — uma noite, uma lata de ananás morno, na noite seguinte, uma lata de pasta de carne sensaborona.

A cada novo dia, ao acordar, sempre a sensação fortíssima de estar à deriva no meio do nada. Olhar à volta e ver areia, só areia, amarela a 360°, todo o horizonte uma linha só, contínua e redonda, sem nada a perturbar. E o silêncio, fortíssimo, intenso... E mais um dia de camelo, uma sesta sufocante de calor, mais umas horas, um jantar de arroz e uma noite sob as estrelas. Um dia e outro dia...



FIGURA 2. Pausa para almoço.

No deserto puro, os camelos, que já de si são animais muito temperamentais, começam a ficar nervosos e inseguros. Teimam em não querer andar ou em mudar de direção. Começam a andar depressa e depois param, sem se perceber porquê. No nosso trajeto, era preciso abastecê-los de água, a eles e a nós também. Para tal, no alinhamento Sul-Norte até Taoudeni, estão situadas algumas “áreas de serviço” para camelos, na realidade apenas um poço numa área baixa ao lado de uma duna, de onde se tira água com uma corda de 20-30 metros durante todo o ano (se tiver chovido alguma coisa, nos últimos anos) (FIGURA 3). Quando chegávamos a um desses poços, tínhamos de esperar a nossa vez – podiam lá estar umas dezenas de camelos a beber água... e tínhamos de esperar. A água era um pouco salobra, morna, deitávamos chá para disfarçar, de pouco servia... mas era o que havia...

Durante uma semana fizemos um trajeto à vista, rigorosamente Sul-Norte, mas sem bússola, GPS ou o que quer que seja. O método de navegação no deserto é simples: há que seguir para Norte, na exata bissetriz entre Nascente e Poente ou na direção da estrela polar à noite. E, quando por alguma razão atmosférica essas referências não estão visíveis, assim que se tiver de novo noção da direção a tomar, basta corrigir em igual tempo e em igual desvio angular (contrário), até retomar o rumo certo. E a partir daí, com tudo já devidamente compensado, continuar para Norte.

Assim andámos uma semana de camelo, seis horas de manhã e outras seis ao final da tarde, a um ritmo de 4kms/ hora... 250 km para lá e depois outros tantos para cá. Seria como ir de Lisboa a Faro e voltar, de camelo, com saída a 1 e volta a 15 de Agosto.



FIGURA 3. Poço para abastecimento de água.

Ao fim de 6 dias chegámos a Araouane, uma aldeia no meio do nada, uns vinte casebres feitos de adobe, com meia dúzia de árvores espinhosas e um posto de rádio (FIGURA 4). Fomos recebidos com enorme espanto e simpatia, toda a gente nos veio cumprimentar e tivemos direito a uma canja de galinha que nos soube pela vida! Pernoitámos num desses casebres, com direito a colchão e almofada, mas no dia seguinte tínhamos de voltar. À despedida, a senhora da casa ofereceu-nos um pequeno presente, dois pequenos seixos rolados, do tamanho de uma amêndoa, objetos raros num deserto de areia e mais areia.

A volta para Tombuctu foi, naturalmente, mais tranquila. A cada noite, a sensação de estarmos sós no mundo, no deserto, sem nada nem ninguém, era extraordinária. Passar dias e dias sem ver outras pessoas, sem ver carros ou casas, sem horas, sem objetos ou esquinas para olhar, sem quaisquer acontecimentos, é de uma pureza sonora e visual inexplicável... e roça a meditação, suponho eu (que nunca fiz tal coisa). Quando conseguimos isso uns minutos, na cidade ou no campo, já nos parece muito. Imagine-se agora dias e horas, sem nada para ver ou ouvir, para além de três camelos e três pessoas a deslizar no deserto.

Na última noite, sentindo o fim daquela aventura, chorámos sem saber porquê. Porque tínhamos passado por aquilo, porque foram sensações únicas, porque íamos deixar para trás aquele extraordinário deserto que tanta coisa nos deu. Chegados a Tombuctu, o nosso contacto recebeu-nos em lágrimas, ansioso por nos voltar a ver. Recebeu-nos na casa dele, uma moradia de adobe com pátio e terraço e ofereceu-nos um banho, antes de tudo o mais.



FIGURA 4. Araouane.

Pedi à sua pequena filha que nos arranjasse ali na sala “*un bain de 20 litres*”, expressão que lhe iluminou a cara e que prontamente executou. Quando nos viu sair lá do recanto da sala, banhados e sorridentes, perguntou-nos: “*et vous, chez vous, combien de litres c'est votre bain?*”. Não consegui responder, mas aquela pergunta ingénuia ficou comigo para sempre e vem-me à memória centenas de vezes quando abro uma torneira para beber água ou ligo o duche para tomar banho.

Esta foi seguramente a experiência pessoal mais forte de que me recordo. A pureza do deserto e a força que tem de nos remeter a nós mesmos, é algo inesquecível, não como memória, mas como marca para tudo. O modo como sinto a água, o tempo, a distância, o conforto ou a abundância de um frigorífico, tudo ficou marcado por essa travessia do deserto. Até hoje, em que aqueles dois seixos estão pousados numa pequena tigela na minha casa na Graça, com vista para o casario de Lisboa.

Octaedro diamântico

in casadasciencias.org/banco-imagens

A propósito deste raro diamante interessante-me as possibilidades desta forma como matéria arquitetónica... só que, se a tomarmos por si só, arrisco dizer que não tem utilização. Já se considerarmos apenas a sua metade um sem fim de aplicações são viáveis. De imediato pensamos nas pirâmides, do Egito claro, da sua sublime magnificência e forte simbolismo. Mas falta a outra metade que não está decerto no subsolo.

Porém, o octaedro, é uma peça fundamental na composição de tesselações espaciais, ditas arquitetónicas. Conjugado com tetraedros, cuboctaedros ou cubos truncados, apresenta uma assinalável resistência estrutural e, por isso, encontra aí um vasto domínio de aplicação. Mas a própria cunhagem destas tesselações como arquitetónicas permite adivinhar que o seu efeito vai mais além de um eficiente comportamento estrutural, constituindo-se como um rico manancial de soluções formais suscetíveis de influenciar favoravelmente a qualidade arquitetónica dos espaços, não sem um pequeno contributo diamântico.

João Pedro Xavier

Faculdade de Arquitetura/ Universidade do Porto

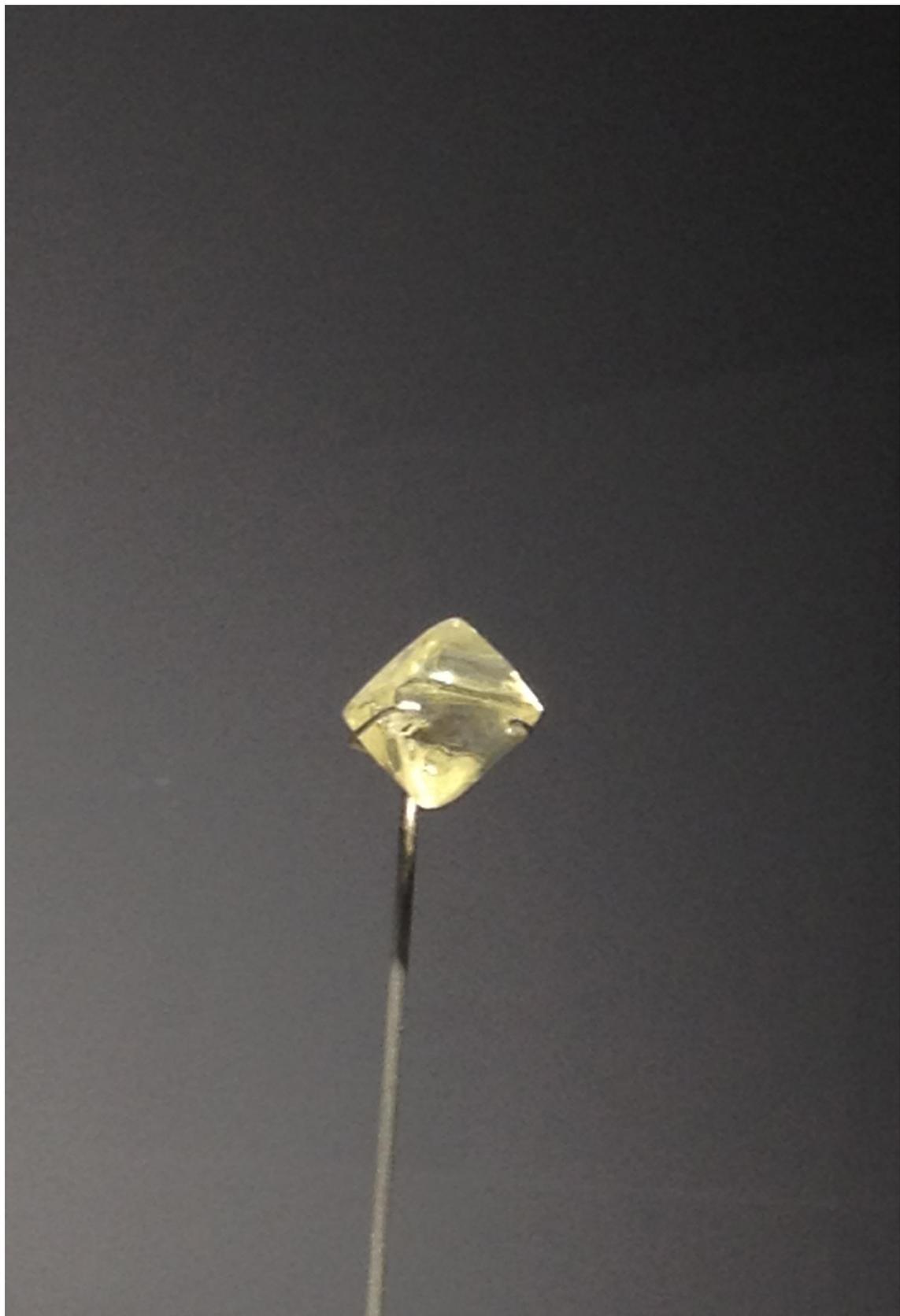
Este diamante octaédrico com 22,25 Quilates, originário do Cabo, África do Sul, e oferecido em 1888 ao Museu de História Natural de Paris, é um belíssimo sólido platónico natural.

Carbono puro cristalizado no sistema cúbico, o diamante é o material mais duro que aparece na natureza. A forma de octaedro, que também ocorre naturalmente na magnetite e na fluorite, com as 8 faces triangulares equiláteras, 12 arestas e 6 vértices, tem 48 simetrias, tal como o cubo, o seu poliedro dual.

Dos restantes sólidos platónicos, além do octaedro e do cubo, que aparece frequentemente na pirite, na Terra apenas se encontram cristais naturais na forma tetraedral com 4 faces, por exemplo, na calcopirite ou na tetraedrite. Não são conhecidos cristais naturais com as formas regulares do dodecaedro, apesar da granada ser caracterizada pelo hábito cristalino dodecaédrico e a pirite ocorrer na forma irregular piritóedrica com 12 pentágonos. Num meteorito descoberto na Sibéria, em 2009, a forma icosaédrica foi identificada na icosaedrite ($Al_{63}Cu_{24}Fe_{13}$) e no decagonite ($Al_{71}Ni_{24}Fe_9$).

José Francisco Rodrigues

Faculdade de Ciências/ Universidade de Lisboa



Casa das Ciências
2022



Prêmios

A Casa das Ciências vai premiar os melhores recursos educativos e imagens submetidas no portal durante 2021.

Temos o prazer de o/ a convidar a estar presente na sessão de entrega dos **Prêmios Casa das Ciências 2022**, onde serão conhecidos os vencedores. A sessão decorrerá dia 14 de dezembro às 14h30, no DQB da Faculdade de Ciências da UP.

Conheça todos os candidatos em casadasciencias.org.

Submeta os seus recursos educativos e imagens até 31 de dezembro e candidate-se ao prémio do próximo ano.