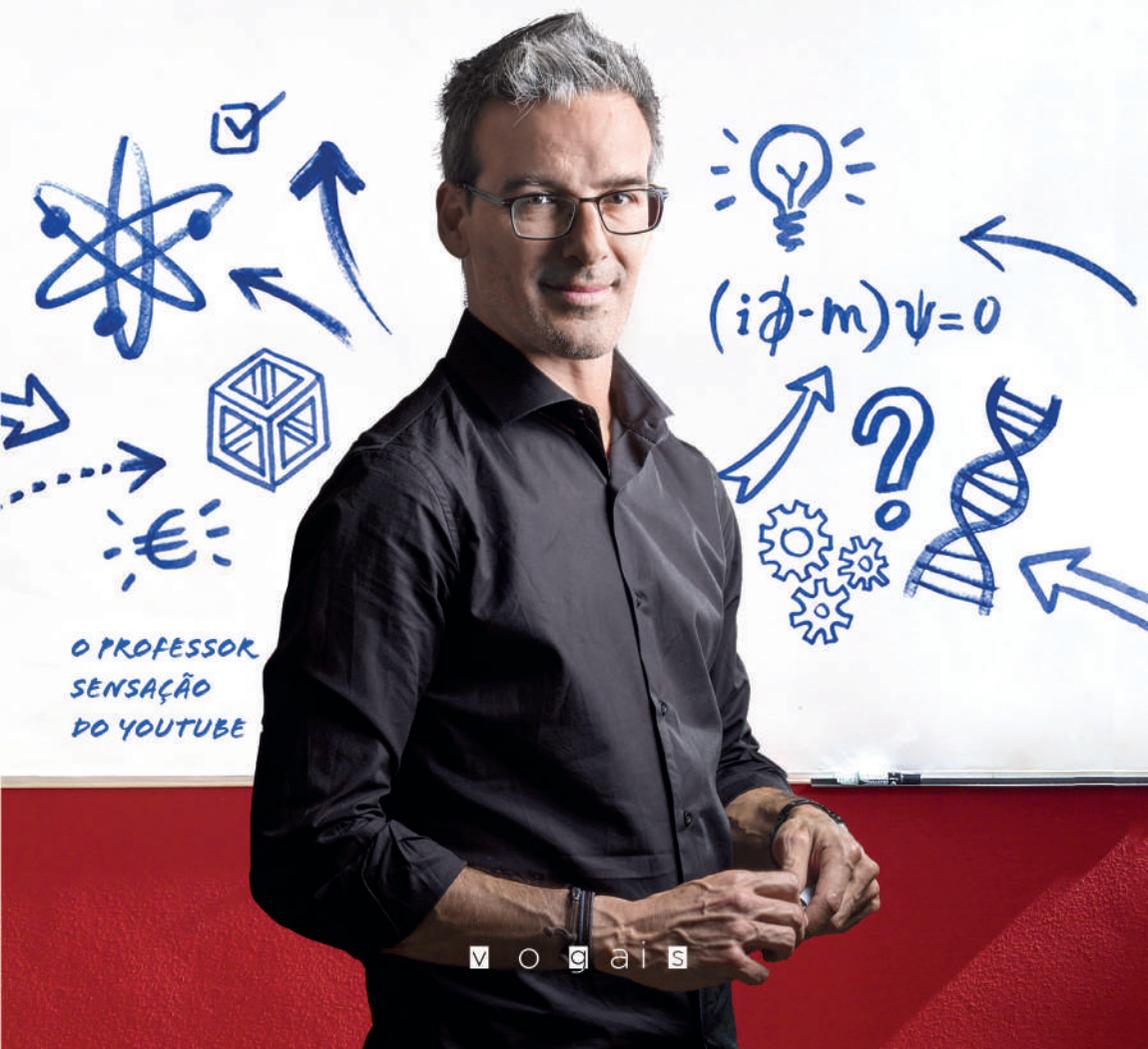


DAVID CALLE

QUANTO PESAM AS NUVENS?

E OUTRAS PERGUNTAS SIMPLES
COM AS RESPETIVAS RESPOSTAS CIENTÍFICAS



O PROFESSOR
SENSAÇÃO
DO YOUTUBE

*Para aqueles que nunca deixam de se interrogar.
Para a Cristina, a minha editora, e para o Sergio,
o meu ponto de apoio.
Sem a sua ajuda (e a dos que, de alguma maneira,
fazem parte dele), este livro teria sido impossível.*

*Para todos os que encontrei pelo caminho
e que me ensinaram alguma coisa.*

*Para 99% das pessoas que cito neste livro,
porque todas elas me serviram ou servem de inspiração.
Para todas as que não cito e que, no entanto, gostam
de mim e estão sempre comigo.*

E, acima de tudo, para os «meus unicoos», sempre presentes,
também eles protagonistas nesta aventura.
É meu sonho que um dia venham a fazer parte da resposta
a milhões de problemas que ainda estão por resolver.*

Sou porque nós somos. #somosunicoos

* Unicoos é uma organização educativa e um site criado em 2011 por David Calle, baseado no canal do *YouTube* com o mesmo nome.

ÍNDICE

INTRODUÇÃO		7
1	Porque é que o teu vizinho de baixo vai viver mais do que tu?	11
2	A que temperatura ferve a água no cume do Everest?	17
3	Quantos megapixéis tem o olho humano?	25
4	Que lei da física é que as naves de <i>A Guerra das Estrelas</i> não cumprem?	31
5	Fãs do número pi	39
6	Dá-me um ponto de apoio e moverei o mundo	45
7	Qual é a probabilidade de se ter um amigo extraterrestre?	55
8	As cores não existem	63
9	Quantos elefantes pesa uma nuvem?	73
10	Nós, os canhotos, não somos assim tão esquisitos. Bem, só um bocadinho...	79
11	Mistérios geométricos de um brócolo	89
12	Como poderíamos escapar da Terra?	95
13	Partículas apaixonadas	101
14	Os robots irão dominar-nos?	107
15	Verdades e mentiras sobre o planeta Terra	115
16	Porque é que o céu é azul?	129
17	O tempo existe?	135
18	Porque é que o Universo e o teu quarto tendem sempre para a máxima desordem?	141

19	Seremos ciborgues no futuro?	149
20	Que altura máxima pode ter um castelo de areia?	159
21	Como classificar as supostas civilizações existentes na Via Láctea	167
22	O que é que a gasolina sem chumbo tem que ver com a idade da Terra?	175
23	Porque é que a Lua nos abandona?	181
24	De que cor é um espelho?	189
25	Júlio Verne era adivinho?	195
26	Quanto custaria levar uma bola de futebol para o espaço?	201
27	Um transístor não é (apenas) um rádio	209
28	Quantas maçãs destruiu Galileu para fazer experiências com a gravidade?	223
29	Quais são os lugares mais frios e os mais quentes do Universo conhecido?	231
30	O que é que o LSD e a serendipidade têm em comum?	237
31	O espaço-tempo vibra	243
32	És de ciências ou de letras?	247
33	Quantas aranhas são necessárias para travar um Boeing 747?	253
34	O que é que um moinho eólico e o Carro Fantástico têm em comum?	261
35	A ciência também é coisa de raparigas	271
36	O que é que aconteceria se os polos da Terra se invertessem?	281
37	Como caminhar sobre as águas	287
38	Porque é que a Terra aquece?	293
39	Como serão os mapas do futuro?	301
40	Tudo o que não vemos do Universo	309

Introdução

«Aprendi a apreciar uma paisagem, uma canção. Um filme.
Um instante ao lado da pessoa que amo. Não vou mudar isso.
Não faço a mais pequena ideia de quantos segundos restam.
Mas sei que irão ser apaixonantes.»

RÚA LÓPEZ MORA, *Exprimiendo segundos*

Se a vida no Universo pudesse ser resumida num ano, podemos dizer que o ser humano apenas o teria habitado no último segundo. Para nós, esse segundo é equivalente a milénios. Porque o tempo, como tantas outras coisas, é relativo. Se a tua vida for longa e próspera, que assim seja, viverás mais de dois mil milhões de segundos, embora passes um terço delas a dormir. Como isso já é demasiado tempo com a cabeça colada à almofada, caber-te-á passares os restantes segundos acordado, a vivê-los, a apreciá-los. Porque podem ser apaixonantes.

A leitura deste livro ocupará 0,0005% da tua vida, entre 7200 e 14 400 segundos. Talvez a mesma duração do filme *Blade Runner 2049* (de 2017) ou da trilogia original de *A Guerra das Estrelas*. Se leres o livro daqui a alguns anos é possível que,

nessa altura, algumas das coisas que agora são tidas como certas e até imutáveis já não façam sentido. Nada permanece, nada é constante — «A única constante é a mudança», vaticinou Heráclito há 2500 anos. É essa a maravilha da ciência, que avança imparável de dia para dia graças ao trabalho incansável, criativo e, por vezes, genial de milhares de pessoas que se dedicam ao seu estudo. Aquelas às quais, tomara, quem sabe, talvez um dia acabes por te juntar, se agora estiveres a estudar.

«Se procuras resultados diferentes, não faças sempre o mesmo», afirmava Einstein. Assim, na procura inconformista de respostas, foram sendo construídas e forjadas as bases do imparável progresso tecnológico da nossa civilização nos últimos séculos e, principalmente, nas duas últimas décadas, enquanto outras perguntas continuam sem resposta. Quando eu era pequeno, não havia nenhum filme de ficção científica que visse e do qual não saísse a flipar com as cenas de ação e com os efeitos especiais, mas, sobretudo, do qual não saísse sem colocar alguma pergunta a mim mesmo. E, hoje em dia, fascinam-me mais as questões suscitadas por filmes como o *Interstellar* (de 2014) ou por séries como *Black Mirror*, do que a ação propriamente dita e por si só. Daí que eu seja tão extravagante, daí que talvez tenha acabado primeiro por me tornar engenheiro e depois professor de matemática e de física. Encontrei explicações para algumas dessas perguntas questionando pessoas que sabem mais do que eu e cujo número é quase infinito. Para outras, encontrei resposta na biblioteca ou na Internet, consoante as épocas, porque já tenho uma certa idade. E, para muitas delas, sinceramente, por mais que tenha tentado, não encontrei resposta alguma; e, nos casos em que encontrei, não consegui entendê-la (tenho consciência dos meus limites, que são quase infinitos: sou um mero professor). Mas aprendo sempre alguma coisa pelo caminho, por pouco que seja; é isso

que é fascinante e que constitui a base para enfrentar a resposta seguinte. Ou aprendo qualquer coisa engraçada que posso contar aos meus alunos quando tento demonstrar-lhes alguma coisa. Não falha.

Por isso, mais do que dar-te 40 respostas a perguntas que talvez também já tenhas colocado a ti mesmo, a única coisa que espero é que, para ti, este seja simplesmente o início de uma busca desenfreada de explicações para tudo o que se passa à tua volta, sem te conformares com as respostas que te forem dadas nem com nada do que já está estabelecido. É esse o meu desejo. Ajudar-te, de alguma maneira, a que te inspires para construíres os teus próprios sonhos, dar-te alguma ideia para as tuas aulas, caso sejas professor, ou simplesmente para que faças perguntas a ti mesmo, todas as que puderes fazer. E que procures as respostas a essas perguntas sem apelares aos deuses do Olimpo, que tinham sempre uma resposta, mitológica e fascinante, mas nada científica. Embora deles sejam os nomes das constelações e dos planetas.

1

Porque é que o teu vizinho de baixo vai viver mais do que tu?

O lha para o relógio: tiquetaque, tiquetaque... a avançar sempre ao mesmo ritmo, indiferente, imutável, com uma passada militar. Tiquetaque, tiquetaque. Todos os relógios avançam da mesma maneira, independentemente do que se faça, do lugar em que se esteja ou da velocidade a que se viaje. Os nossos sentidos dizem-nos que vivemos no Universo que é descrito pela física de Newton, em que as coordenadas espaciais e a coordenada tempo são independentes umas da outra. O tempo avança cegamente, como se nada mais importasse, alheio a tudo. Tiquetaque, tiquetaque...

Mas isso é o que nos dizem os nossos sentidos, nos quais não podemos fiar-nos totalmente. Com efeito, na realidade em que os cientistas trabalham, o tempo não é uma coisa tão rígida mas sim algo mais moldável e variável. Foi o que descobriu o genial físico Albert Einstein (a personagem mais importante do século xx, de acordo com a revista *Time*, e, com a sua imagem de cabelos despenteados e língua de fora, ícone da ciência

no imaginário popular), na sua Teoria Especial da Relatividade, enunciada em 1905 — o chamado «ano milagroso» de Einstein devido à quantidade de contributos revolucionários que deu ao conhecimento científico.

O que Einstein soube ver é que o decurso do tempo varia entre duas pessoas que viajam a velocidades diferentes. Por exemplo, se eu estiver parado e tu te afastares de bicicleta (um meio de transporte que Einstein apreciava muito), o ritmo do tempo será mais lento para ti. O tempo passará mais devagar para a pessoa que viaja de bicicleta; a isto chama-se «dilatação temporal». E porque é que não notamos isso? Porque este é um dos chamados «efeitos relativistas» (da relatividade) e apenas pode ser constatado às «velocidades relativistas», ou seja, a velocidades próximas da velocidade da luz.

A velocidade da luz no vazio (300 000 quilómetros por segundo) — que é igual para todas as pessoas, movam-se como se moverem (porque é absoluta), e um limite do Universo que não se pode ultrapassar — é a pedra basilar sobre a qual se fundamentam os trabalhos de Einstein. A velocidades normais (por exemplo, quando viajamos de bicicleta), a diferença entre o meu relógio e o teu é impercetível (mas existe).

Não obstante, o que é que aconteceria se um dos dois viajasse numa veloz nave espacial? Bem, ultrapassaria aquilo que é descrito no chamado Paradoxo dos Gémeos, uma história curiosa que os físicos utilizam para ilustrar este fenómeno. Imagina dois irmãos gémeos que vivem no planeta Terra. Um deles é astronauta e vai viajar pelo Universo numa potente nave espacial que alcança essas velocidades relativistas, próximas da velocidade da luz. O outro, menos aventureiro, fica em casa à espera do irmão. Suponhamos que o gémeo viajante vai até à estrela mais próxima da Terra, Alfa Centauro (a uma distância de cerca de quatro anos-luz), viajando a 80% da velocidade da luz.

Quando regressa, ambos descobrem, para sua surpresa, que, apesar de no início da viagem terem a mesma idade (porque são gémeos), agora o que ficou na Terra é quatro anos mais velho. Na Terra, passaram dez anos, enquanto na nave espacial só passaram seis (outro dos estranhos efeitos relativistas é que a distância se contrai, portanto, para o astronauta, o trajeto também teria sido mais curto). O tempo passou a um ritmo diferente para ambos e, durante a sua viagem, o nosso gémeo aventureiro celebrou menos quatro festas de aniversário. Na verdade, se a viagem do astronauta tivesse sido suficientemente longa e realizada a uma velocidade suficientemente veloz, quando regressasse, a Terra poderia já ter sido engolida pelo Sol, transformado por sua vez em estrela gigante vermelha (coisa que acontecerá dentro de cerca de 5000 milhões de anos). Definitivamente: enquanto a velocidade da luz é constante, as coordenadas de espaço e tempo variam de maneira a que as leis da física façam sentido.

Como é que podemos saber que tudo isto é verdade? Embora ainda não seja possível fazer viagens interestelares a velocidades tão espetaculares, em 1971 os cientistas Hafele e Keating realizaram uma experiência para o demonstrar, utilizando relógios atômicos de césio (extremamente precisos) e aviões de linha regular; estes voaram primeiro com um dos relógios em direção a este e depois em direção a oeste, enquanto outro relógio de referência ficou no Observatório Naval dos Estados Unidos, na cidade de Washington D. C. O que constataram foi que, efetivamente, os relógios tinham avançado de forma diferente, tal como prevê a Teoria Especial da Relatividade. Embora a diferença fosse muito pequena, estes relógios atômicos, que têm capacidade para medir tempos extremamente curtos, foram capazes de a detetar.



CURIOSIDADE CIENTÍFICA: Outra forma de observar este fenómeno é utilizando muões, como fizeram Frisch e Smith em 1963. Os muões são umas partículas 207 vezes mais pesadas do que os eletrões (também com carga negativa) que são detetadas na atmosfera depois do impacto dos raios cósmicos. O tempo de vida médio de um muão — o tempo que demora a desintegrar-se noutras partículas de maneira natural — é de 22 microssegundos. Frisch e Smith comprovaram que, na superfície terrestre, se detetavam muitos mais muões do que o que seria de esperar: onde só teriam que chegar 27 partículas a cada hora (já teriam de se ter desintegrado), chegavam 412. A explicação do enigma era que, quando os muões viajavam a velocidades próximas da velocidade da luz, para eles, o tempo, observado da superfície, transcorria mais lentamente. Tal como o gémeo astronauta, os muões viajantes demoram mais a «envelhecer» e a desintegrar-se. E, deste modo, chegavam ao solo em maior quantidade.

Mas isto não é tudo. Einstein continuou a trabalhar até desenvolver uma teoria mais avançada, a que deu o nome de Teoria Geral da Relatividade, que apresentou em 1915. Esta teoria explica o Universo em grande escala, ligando as forças da gravidade à geometria do espaço-tempo. Esta teoria fala-nos do big-bang, do futuro do Universo e dos buracos negros.

Uma das suas consequências é que os relógios avançam mais lentamente, não só quando viajam a grande velocidade mas também quando estão num campo gravitacional mais forte. Por exemplo, avançariam mais lentamente numa cave do que num sótão, uma vez que o campo gravitacional da Terra diminui à medida que nos afastamos do seu centro. Consequentemente, se vives num rés do chão, estás com sorte...

Uma vez mais, a variação do campo gravitacional é tão pequena, que não notamos efeitos na nossa vida diária. Em contrapartida, os astronautas do filme *Interstellar* notam-nos. Numa das sequências do filme, um grupo de astronautas abandona a nave principal para descer ao chamado planeta de Miller, que se encontra dentro do intenso campo gravitacional do buraco negro supermassivo Gargântua; entretanto, um deles fica de guarda. Para os que desceram ao planeta, apenas passou algum tempo (claro, com umas quantas aventuras pelo meio, mas não quero fazer *spoilers*), mas quando regressam verificam que o colega que permaneceu na nave é já um idoso. Por cada hora passada no planeta de Miller, na nave passaram sete horas.

Este mesmo efeito também se verificou na Terra colocando relógios atómicos precisos a diferentes alturas, que, como prevê a teoria, detetaram diferenças de nanossegundos nas suas medições (com efeito, para funcionarem corretamente, os satélites do sistema de posicionamento GPS devem ter constantemente em conta este fenómeno). Por isso, da próxima vez que visitares um apartamento onde tenciones viver, lembra-te do velho Einstein e tem em conta este efeito. Porque o tempo é ouro, mas é ouro líquido. Tiquetaque, tiquetaque...

2

A que temperatura ferve a água no cume do Everest?

Na escola, todos aprendemos de memória que a água ferve a 100 graus centígrados (°C). Aquecemos a água a essa temperatura para cozer massa ou para fazer sopas de pacote. Mas esta resposta não é totalmente correta ou não totalmente completa. Como acontece muitas vezes em ciência, quase tudo é relativo e, conseqüentemente, o ponto de ebulição da água (a temperatura a que ferve) depende de alguns outros fatores.

A primeira pergunta que devemos fazer é a seguinte: porque é que um líquido ferve? Um líquido, como a água, é composto de moléculas unidas de forma mais frouxa, menos intensa, do que um sólido (neste caso, o gelo, que é água solidificada). Chamamos «temperatura» à vibração das moléculas que formam as coisas: quanto mais quente estiver uma coisa, maior é a vibração das suas moléculas — quando as moléculas não vibram, estão à temperatura mais fria que existe, o zero absoluto, a -273 °C (ou o graus Kelvin, K), embora, de acordo com os princípios da termodinâmica e da física quântica,

esse seja impossível de alcançar. Consequentemente, quando qualquer coisa ferve, quando passa do estado líquido para o estado gasoso, é porque as suas moléculas atingiram uma vibração suficiente para se libertarem das ligações internas do líquido e se perderam no ar, formando um gás. De água, com as moléculas de H_2O ligadas, passa a vapor de água, onde cada molécula voa livremente ocupando o máximo de espaço possível. Mas este fenómeno encerra segredos e tem um truque. Primeiro: quando dizemos que a água ferve a $100\text{ }^\circ\text{C}$, estamos a referir-nos à água pura, à água destilada, na qual não há mais nenhuma outra substância dissolvida. Normalmente, a água que bebemos contém diferentes substâncias diluídas, como podemos verificar se lermos a etiqueta de qualquer garrafa de água mineral: cálcio, magnésio, sódio, ferro, bicarbonato, sulfatos...

Por exemplo, o sal comum que usamos na cozinha ($NaCl$), na medida suficiente aumenta o ponto de ebulição da água; ou seja, demora mais a ferver e é necessário aumentar a temperatura para um ponto superior aos $100\text{ }^\circ\text{C}$. São necessários aproximadamente 58 gramas de sal para aumentar em 1 grau centígrado o ponto de ebulição de um litro de água. O sal também diminui o ponto de congelação; ou seja, a água congela a menos de zero graus centígrados. Os intrójetidos iões do sal tornam mais difícil que as moléculas de água formem cristais de gelo. É por isso que se deita sal nas estradas em dias de muito frio, para evitar a formação de gelo e os acidentes de viação que isso pode provocar.

Além disso, quando dizemos que a água ferve a $100\text{ }^\circ\text{C}$, costumamos referir-nos à água sujeita à pressão de uma atmosfera, aquela que é habitual medir-se ao nível do mar. Lembra-te de que vivemos submetidos a uma pressão constante... e não me refiro a estarmos pendentes dos grupos do *WhatsApp*. Todos

suportamos a pressão que o peso do ar da atmosfera exerce sobre nós. No entanto, quanto menor é a pressão, menor é o ponto de ebulição dos líquidos; por outras palavras, ferve mais facilmente. Porquê? Porque os líquidos são compostos de moléculas, e uma pressão atmosférica mais baixa permite que essas moléculas escapem mais facilmente. A atmosfera não «aprisiona» as moléculas dentro do líquido.



TRUQUE PARA PROFESSORES: (1 atmosfera = 760 mmHg = 1013 mbar = 101 300 Pa)

Os pascais (Pa), assim chamados em honra de Blaise Pascal (matemático e físico francês do século XVII), são a unidade de medida de pressão do Sistema Internacional. E, no que respeita aos 760 milímetros de mercúrio (mmHg), fica a saber que isso tem uma explicação — só é pena que não possas repetir a experiência nas aulas, uma vez que o mercúrio é extremamente difícil de obter (é altamente tóxico). Em 1643, o italiano Evangelista Torricelli, também físico e matemático, pegou num tubo com 1 m de comprimento e 1 cm² de diâmetro (fechado numa das extremidades e cheio de mercúrio) e inverteu-o sobre uma tina cheia do mesmo metal. A coluna baixou imediatamente vários centímetros por efeito da pressão atmosférica, atingindo uma altura de 76 centímetros. Tinha inventado o barómetro. Podes repetir a experiência com água. Esta não atingirá a mesma altura e, se calhar, acabam todos

ensopados, mas pelo menos os teus alunos poderão visualizar o efeito. **E não se esqueça dessa aula.** 😊

Como conseguimos que a pressão baixe e que a água ferva a menor temperatura (aplicando-lhe menos energia)? Basta subir a uma montanha. Se a pressão atmosférica é provocada pelo ar que existe por cima de nós, quanto mais alto subirmos menos ar teremos em cima, menos camadas da atmosfera e, conseqüentemente, menor pressão. Na verdade, calcula-se que a pressão diminua à razão de 1 mmHg (1 atmosfera equivale a 760 milímetros de mercúrio) por cada dez metros de elevação nos níveis próximos ao do mar. Conseqüentemente, a água ferve a menor temperatura no cume do Everest do que nas praias de Alicante.

É possível fazer o cálculo. No cume do Everest, a 8848 metros de altitude, a água ferve a 86 °C. A 11 000 metros, a cerca de 71 °C. E a 19 000 metros (metade da altitude de que Felix Baumgartner saltou), onde se localiza a chamada Linha de Armstrong? Aí, a pressão é uma décima sexta parte da do nível do mar e a água ferve à temperatura do corpo humano: 36 °C.



HERÓIS SEM CAPA: No dia 14 de outubro de 2012, numa façanha transmitida em direto para todo o mundo através do *YouTube*, Felix Baumgartner (Áustria, 20 de abril de 1969) deixou-nos assombrados ao tornar-se no primeiro homem a quebrar a barreira do som (343 m/s), sem ajuda mecânica e em queda livre. Depois de várias tentativas falhadas e, inclusivamente, de abandonar durante meses o projeto patrocinado pela Red Bull,

teve sucesso ao lançar-se de uma altitude de 39 608 metros a partir de uma cápsula suspensa de um balão estratosférico cheio de hélio e com paredes de apenas 0,02 milímetros de espessura. Durante os primeiros 40 segundos atingiu cerca de 373 m/s (1343 km/h) e aterrou com sucesso, vivo, depois até de ter perdido os sentidos durante uns breves (e angustiantes) segundos. Até hoje, o recorde de salto livre de maior altitude é detido por Alan Eustace, vice-presidente da Google, que saltou de uns espantosos... **41 150 metros!**

O que teria então acontecido a Felix se o seu fato de astronauta pressurizado tivesse sofrido algum dano a essa altitude? Teria ardidido? Não. Teria explodido? Também não (apesar de termos visto isso acontecer nos filmes uma infinidade de vezes). Simplesmente, os fluidos como a saliva, as lágrimas ou as mucosas da garganta teriam fervido com o mero contacto do seu próprio corpo e teria ficado seco, que não é o mesmo que queimado, porque 36 °C é a temperatura a que estamos habituados. O que teria acontecido é que teria morrido asfixiado devido à falta de oxigénio.



CURIOSIDADE CIENTÍFICA: E o sangue? Ferveria? Não, porque a pressão sanguínea (que é aquilo que o médico mede quando nos mede a tensão) situa-se entre 70 e 120 mmHg acima da pressão exterior. Ao nível do mar, somando-lhe 760 mmHg, situa-se entre 830 e 880 mmHg. No vazio do espaço, onde a pressão é quase nula, a pressão

total oscila apenas entre 70 e 120 mmHg. E, a essa pressão, o sangue (outro líquido com um ponto de ebulição diferente do da água) só ferve quando atinge 47 °C. E se, por qualquer razão, atingíssemos essa temperatura, já pouco nos importaria o que acontecesse com o nosso sangue porque teríamos morrido inflamados.

E, já que estamos no espaço... À temperatura ambiente, deslocamo-nos numa zona compreendida entre o «ponto triplo» e o «ponto crítico». No ponto triplo (a 0,01 °C e 6,1173 mbar), coexistem simultaneamente os estados sólido, líquido e gasoso. No ponto crítico (a 374 °C e 218 atmosferas), o estado líquido deixa de existir. Dado que a sublimação (a passagem direta do estado sólido para o estado gasoso) ocorre a pressões inferiores às do ponto triplo, no espaço a água passa diretamente do estado sólido para o estado gasoso. Imagina um cubo de gelo transformado diretamente em vapor de água, sem nunca ter passado pelo estado líquido. É por isso que não há gotas de água a flutuar no espaço.

Lancei a seguinte pergunta nas redes sociais:
«A que temperatura ferve a água no cume do Everest?»

E a vossa sabedoria falou:

Twitter

@pedagonval: @JesusCalleja de certeza que sabe!!!



@redex: No micro-ondas ou numa panela?

Facebook

Carmen Peñalver Leon: A nenhuma. Quando chegas ao cume já não tens água, porque estás tão cansado que já a bebeste toda.

Jose Luis Duran: No Everest, a água não ferve simplesmente porque ninguém quer subir ao cume da montanha mais alta do planeta para ferver água.

3

Quantos megapixéis tem o olho humano?

*Hit me with your flashbulb eyes
Hit me with your flashbulb eyes
You know I've got nothing to hide
You know I got nothing
No, I got nothing*

ARCADE FIRE, *Flashbulb Eyes*

Ouvimos falar de resolução com muita frequência: televisores de alta resolução, DVD, Blu-ray, câmaras de telemóvel com muitos megapixéis... Mas qual é a resolução do olho humano? Antes de respondermos a isso, porém, talvez devêssemos responder a duas perguntas preliminares: o que é a resolução? E como funciona o olho?

O termo «resolução», no campo da ótica, refere-se à capacidade de um instrumento para separar dois objetos numa

imagem. Por exemplo, imaginemos duas estrelas que, no céu, parecem estar muito juntas (não têm obrigatoriamente de estar muito juntas em termos físicos, uma pode estar muito mais próxima do que a outra ou podem estar uma «atrás da outra», mas podem coincidir na nossa linha visual a partir da Terra). Se as observarmos com um telescópio de baixa resolução, é possível que, em vez de vermos as duas estrelas, vejamos as duas juntas como um único ponto ou formando uma pequena mancha. Em contrapartida, se o telescópio tiver maior resolução, oferece uma imagem em que as duas estrelas se veem nitidamente bem separadas.

O mesmo acontece com outros instrumentos, como as máquinas fotográficas. Quanto maior resolução tiverem, melhor separam os objetos que se veem, melhor resolvem e, consequentemente, produzem imagens mais nítidas. Uma máquina fotográfica com muito baixa resolução pode tirar fotografias que, ao serem ampliadas, ficam desfocadas ou pixelizadas. Quando temos uma fotografia em alta resolução podemos ampliá-la muito mais sem que sofra pixelização. Dado que as imagens digitais são formadas por píxeis de cores (uma espécie de «átomos» da imagem, as suas partes mais pequenas, a menor unidade homogénea e a cores que faz parte de uma imagem digital), então, quanto mais píxeis uma imagem tiver, mais nitidamente será vista e melhor resolução terá. A maior vantagem é que uma imagem de grande resolução pode ser impressa mais ampliada.

Por exemplo, uma máquina fotográfica pode criar imagens retangulares compostas de píxeis distribuídos em filas e em colunas. Se supusermos que a nossa imagem é composta de 1600 colunas e por 1200 filas de píxeis, todos ordenados, a resolução é o número de píxeis que existem na superfície da fotografia; portanto, se multiplicarmos ambas os números (1600 × 1200), obteremos 1 920 000 píxeis, ou 1,92 megapíxeis

(este termo deve soar-te bastante familiar, uma vez que é a informação que descreve a câmara integrada num smartphone). Mas, atenção, embora os fabricantes se gabem sempre do número de megapixéis dos seus telemóveis — que é cada vez maior à medida que a tecnologia avança —, também é necessário ter em conta outros fatores que influenciam a qualidade da câmara, como o tamanho do sensor e do píxel, as características das lentes e inclusivamente o software de tratamento de imagens.

E o olho? Tem pixéis? Vejamos, em traços largos, como funciona o olho. A luz passa pela córnea e atravessa a pupila (que se contrai ou se dilata para regular a quantidade de luz que entra) e o cristalino (que é uma espécie de lente que foca a imagem a diferentes distâncias). A imagem daí resultante é projetada na retina, que se encontra no fundo do olho, como um ecrã. A luz que chega à retina produz uns fenómenos elétricos e químicos que se convertem em impulsos nervosos, e o nervo ótico transmite-os ao cérebro, que se encarrega de os interpretar.



CURIOSIDADE CIENTÍFICA: Como vimos, o olho é um instrumento bastante complexo: capta e foca a luz, e depois transforma-a em sinais elétricos que, por sua vez, são transformados em imagens pelo cérebro. Alta tecnologia. É por isso que os criacionistas, que rejeitam a Teoria da Evolução de Darwin e que, pelo contrário, acreditam que Deus criou o mundo e os seres vivos em sete dias, tal como afirma a Bíblia, o utilizam como prova de um desígnio divino. O olho é tão complicado, que não pode ter surgido por meio da sorte cega da evolução, afirmam eles — o olho foi criado por Deus. Os partidários da Conceção

Inteligente defendem teorias parecidas, mas trocam o elemento religioso por uma inteligência superior, uma espécie de criador que, ao fim e ao cabo, é bastante parecido com o conceito de Deus que querem evitar.

No entanto, não estão certos. Os cientistas (por exemplo, o célebre biólogo Richard Dawkins) demonstraram de que maneira a seleção natural deu origem ao olho e que, na verdade, este órgão não é um instrumento perfeito, mas que, pelo contrário, apresenta as falhas típicas decorrentes da evolução errática. Até o todo-poderoso cérebro humano está cheio deste tipo de falhas evolutivas. Se tivessem sido criados, teriam sido bem criados, perdoem-me a redundância (não cabe na cabeça de ninguém que Deus possa ser um mau criador).

Voltemos à vaca fria. Na retina, ou seja, no ecrã que temos no fundo do olho, a luz incide e gera os impulsos elétricos de que falámos. O que é que há na retina? Dois tipos de células fotossensíveis, os cones e os bastonetes, que têm estes nomes precisamente devido à sua forma. Existem cerca de cem milhões destes detetores de luz no olho humano, dos quais aproximadamente seis milhões são cones e os restantes são bastonetes. Há várias funções que se dividem entre estas células. Por um lado, os cones posicionam-se no centro da visão e são responsáveis por vermos as cores. Há cones que captam luz azul; outros, vermelha; e outros ainda, verde. Por outro lado, os bastonetes posicionam-se mais na zona periférica e captam o brilho, a intensidade da luz. É por isso que, quando estamos às escuras, por vezes só detetamos uma luz muito ténue (por exemplo, a luz de *standby* de um eletrodoméstico distante) quando olhamos pelo canto do olho. São os bastonetes — mais periféricos — que captam esse brilho.

Chegados a este ponto, já podemos encarar o nosso problema — qual é a resolução do olho? — tendo em conta, sem dúvida, que apenas podemos tentar estabelecer uma analogia, porque, evidentemente, o nosso olho não é um dispositivo digital.

Para começar, é problemático comparar um olho com uma máquina fotográfica, uma vez que o olho está constantemente a captar imagens, que se adapta a diferentes ambientes, que não costuma estar em repouso, etc. E tudo o que capta, sobretudo as imagens que o nosso cérebro compõe *a posteriori*, implica que ainda não exista nenhuma máquina fotográfica ou sistema de inteligência artificial que o consiga substituir. Com efeito, o nosso olho seria mais parecido com uma câmara de vídeo do que com uma máquina fotográfica. Não obstante, o que podemos fazer é um cálculo aproximado da sua resolução. Afirmámos que o olho tem cerca de seis milhões de cones; conseqüentemente, se fizéssemos uma analogia com os píxeis referidos anteriormente, teríamos uma resolução de 6 megapíxeis. Mas também é necessário ter em conta os bastonetes, evidentemente, que são cerca de cem milhões, o que daria uma resolução total de 106 megapíxeis.

Mas, além disso, devemos ter em conta a possibilidade de movimento dos olhos, que abarca uma superfície grande: digamos, 120 graus na horizontal e outros 120 graus na vertical. Se cada píxel equivale a 0,3 minutos de arco, isso daria, no total, cerca de 576 megapíxeis de resolução, de acordo com os cálculos feitos pelo Dr. Roger Clark, do Serviço Geológico dos Estados Unidos da América. As câmaras dos telemóveis têm 2, 5, 12, 16 megapíxeis..., e uma das câmaras com maior resolução do mundo, a *Dark Energy Camera* (fabricada pelo laboratório Fermilab com o objetivo de mapear 300 milhões de galáxias a partir dos observatórios do Chile), tem 570 megapíxeis... e um custo de 35 milhões de dólares. Visto assim, o olho humano teria um preço incalculável.

Lancei a seguinte pergunta nas redes sociais:
«Quantos megapixéis tem o olho humano?»

E a vossa sabedoria falou:

Instagram:

heichou_bicho: O olho humano tem 576 megapixéis, com exceção desse vizinho ou vizinha coscuvilhira, cujo organismo evoluiu ao ponto de os seus olhos terem 20 000 megapixéis. 😊

srtorea: Tenho miopia, portanto, digamos que os meus são comparáveis à câmara de um telemóvel de gama baixa.

ivancores77: Os suficientes para ver que este ano os exames de admissão vão ser a doer.

4

Que lei da física é que as naves de *A Guerra das Estrelas* não cumprem?

«Até 600 km por cima do planeta Terra
não há nada que transmita o som.
Não há pressão atmosférica. Não há oxigénio.
A vida no espaço é impossível.»

Do filme *Gravidade* (2013), de ALFONSO CUARÓN

Não sei a quantidade de vezes que vi a trilogia inicial de *A Guerra das Estrelas* quando era pequeno. Embora o que realmente me encantasse não fosse tanto vê-la, mas sim ouvi-la. Ficava alucinado com o som dos sabres de luz, pegava em qualquer pau que tivesse ao meu alcance (de preferência, numa vassoura) e não parava de o brandir no corredor de casa, tentando reproduzir com a boca a forma como soavam. Ou qualquer nave que construísse (ou o que quer que fosse que mais se lhe assemelhasse) para fazer com que voasse e combatesse com outra no meio da sala de estar, enquanto eu não parava de

emitir pequenos sons para imitar os disparos. Ou as explosões quando eram atingidas.

Imaginava como os insidiosos caças *Tie Fighters*, da Armada Imperial, essas naves que são uma bola com qualquer coisa parecida com dois painéis solares dos lados, perseguiam os velozes *X-Wing*, da Aliança Rebelde, reconhecíveis pelas asas em forma de X, como o que o Luke Skywalker pilotava. Não há dúvida de que algumas das cenas mais características da saga *A Guerra das Estrelas* são aquelas em que, nas profundidades do espaço interestelar, contra um fundo de estrelas cintilantes, ocorrem batalhas trepidantes entre naves espaciais. São disparados raios vermelhos e verdes que fazem esse barulho particular dos lasers, e também retumbam grandes explosões. Um momento... Disparos? Explosões? Ruído no espaço exterior? Com o tempo, explicaram-me nas aulas de física que isso era impossível; que, se saíssemos da atmosfera da Terra, verificaríamos que nada soa, ficaríamos rodeados de um silêncio absoluto, sem barulhos nem explosões, sem a canção do verão. A sério? E porquê?

O som é uma onda que captamos com os nossos ouvidos quando faz vibrar os tímpanos e o cérebro interpreta o sinal. Quando estas circunstâncias acontecem, ouvimos qualquer coisa: uma voz, um assobio, um estrondo, Mozart. Mas também é necessário que as ondas tenham um meio no qual se possam propagar: as vagas do mar são ondas que se propagam na água; se abanarmos uma corda, as ondas propagam-se pela própria corda; se atirmos uma pedra para um charco, as ondas propagam-se pela superfície; e as ondas sísmicas propagam-se pela matéria que forma o planeta. Do mesmo modo, as ondas sonoras são ondas de pressão que se propagam pelo ar ou pela água, consoante o meio em que estivermos «submersos». Seja como for, é necessário que exista um meio para que a onda

se propague, sendo que esta não é mais do que energia em movimento que faz vibrar as moléculas que constituem o meio em questão.

Dependendo do meio em que nos encontremos, o som propagar-se-á a diferentes velocidades: quanto mais denso for o meio, maior será a sua velocidade, porque as moléculas estarão mais próximas umas das outras. Por isso, o som propaga-se mais rapidamente em líquidos do que em gases, ou seja, chega mais depressa na água do que no ar, o que é fantástico para que as baleias comuniquem mais velozmente do que os humanos, incluindo quando estão a vários quilómetros de distância umas das outras, na infinidade do oceano. E o som também se propaga mais rapidamente em sólidos do que em líquidos; é por isso que, se encostássemos a orelha aos carris do comboio (como os bandidos fazem nos filmes do velho Oeste — coisa pouco aconselhável), ouviríamos o comboio à distância, apesar de não o ouvirmos no ar, porque os carris transmitem melhor a pressão. Pela mesma razão, é mais fácil apercebermo-nos do que dizem os nossos vizinhos se encostarmos a orelha ao tabique que nos separa deles. Embora isso também não seja aconselhável.

No entanto, a verdade é que não vivemos no mar e, por sorte, não estamos constantemente encostados a carris ou a paredes. O que realmente nos afeta é a velocidade do som no ar: 343 m/s, 1235 km/h, a mesma velocidade que Baumgartner ultrapassou e que também é ultrapassada por alguns aviões que viajam mais depressa, quando se diz que rompem a «barreira do som». É por este motivo que os aviões supersónicos (por isso, têm este nome), quando se deslocam suficientemente depressa, produzem um barulho fortíssimo quando quebram essa barreira. Com certeza que já terás visto a fotografia de um caça que parece emergir de uma nuvem como que por

artes mágicas. O disco branco que se forma é vapor de água a condensar-se em consequência da onda de choque. Este fenómeno é conhecido pelo nome de «singularidade de Prandtl-Glauert». Até o Super-Homem o faz no seu último filme. E não apenas uma vez, mas sim duas, três, quatro, cinco vezes consecutivas, a uma velocidade já hipersónica...



CURIOSIDADE POPULAR: O número Mach (M) foi proposto por Ernst Mach (1838–1916), um dos maiores teóricos físicos do seu século, como uma medida adimensional de velocidade relativa. Mach definiu-o como o quociente entre a velocidade de um objeto (V) e a velocidade do som no meio em que se desloca (V_s). Esta medida foi importantíssima para que fosse mais fácil ter-se uma ideia das velocidades supersónicas dos aviões. Deste modo, Mach 1 equivale à velocidade do som, Mach 2 é duas vezes essa velocidade, e assim sucessivamente. Quem viu o *Top Gun — Ases Indomáveis* (de 1986) sabe do que estou a falar: «Viajamos a Mach 1, Iceman», «Prestes a ultrapassar Mach 2, Maverick»...

Consequentemente, na atmosfera terrestre ou no mar ou numa piscina, podemos ouvir sons, mas não no espaço exterior (a partir de cerca de 100 quilómetros de altitude, de acordo com a Federação Aeronáutica Internacional), que está vazio; como tal, não existe um meio através do qual se possa propagar. Bem, na realidade o espaço não está completamente vazio: calcula-se que exista um milhão de átomos de matéria por metro cúbico de volume (pode parecer muito, mas é muito pouco)

e também existem zonas onde há nuvens de gás e de poeira, ou a misteriosa matéria escura. A temperatura lá fora é de aproximadamente $-270\text{ }^{\circ}\text{C}$ (ou $2,7\text{ K}$). O que acontece é que há tão pouca matéria, que uma onda sonora dificilmente se pode propagar, tal como também não podemos respirar porque não há ar.



CURIOSIDADE CIENTÍFICA: O Universo é um lugar bastante inóspito para a vida: se nos lançassem lá fora, à nossa sorte, o mais provável é que acabássemos carbonizados numa estrela, congelados no meio do nada, sugados por um buraco negro ou presos em qualquer planeta impróprio para a vida. Só nesta pequena ilha cósmica a que chamamos Terra é que existem as condições necessárias para a nossa existência — mas também há lugares extremamente hostis, como os polos, os desertos, as profundas fossas oceânicas ou os cumes mais altos. Consequentemente, devemos cuidar desta pequena praia que temos à beira do oceano cósmico, que é como o físico Carl Sagan descrevia o nosso planeta.

Tendo em conta tudo o que foi dito, se assistíssemos a uma explosão no espaço exterior, ouvi-la-íamos como se nos tivessem metido algodão nos ouvidos, como se tivéssemos baixado o volume da televisão. É estranho, mas é assim mesmo. Na verdade, o som é um fenómeno reservado a pouquíssimos lugares do Universo, onde é necessário que haja um meio através do qual a onda seja transmitida, um recetor que a receba (como o ouvido) e um sistema que a interprete (como o cérebro).

O certo é que George Lucas não se preocupou muito com que *A Guerra das Estrelas* fosse coerente com as leis físicas que conhecemos (no que respeita ao restante, também não existem robots inteligentes como o R2-D2 e o C-3PO, ou seres alienígenas como Jabba the Hutt ou Jar Jar Binks — ou, pelo menos, ainda não os descobrimos), mas não posso deixar de lhe agradecer por me ter feito sonhar e imaginar outros mundos, ou fazer com que eu passasse metade da infância a reproduzir pequenos sons por toda a casa (não sei se a minha mãe partilhará da mesma opinião). No entanto, nem todos os géneros de ficção científica são iguais. Existe a chamada ficção científica «dura» (*hard science fiction*), que tenta (embora nem sempre o consiga) que as leis científicas sejam cumpridas dentro das suas fantasias futuristas ou espaciais. Neste género, enquadram-se autores de teor mais científico, como Isaac Asimov (autor da série de livros *Fundação* ou *Eu, Robot*), Arthur C. Clarke (autor de *2001: Uma odisseia no espaço*) ou Stanisław Lem (autor de *Solaris* ou *Fiasco*). Neste sentido, há alguns filmes em que, efetivamente, se representa corretamente o inquietante silêncio do espaço; é o caso de *2001: Uma odisseia no espaço*, de Stanley Kubrick, ou do mais recente *Gravidade*, de Alfonso Cuarón. Neste último, George Clooney e Sandra Bullock estão a observar a Terra a partir da estação espacial, quando ela lhe pergunta: «Kowalsky, de que é que gostas mais no espaço?» Ele olha-a fixamente e responde: «Do silêncio, doutora Stone, do silêncio.»

Lancei a seguinte pergunta nas redes sociais:
«Que lei da física é que as naves
de *A Guerra das Estrelas* não cumprem?»

E a vossa sabedoria falou:

Instagram:

andejuji17: Não se pode viajar à velocidade da luz! Mas quem sabe se nos mundos de *A Guerra das Estrelas* as leis da física funcionam da mesma maneira... se calhar, um dia conseguiremos ser mais velozes do que a própria luz... De momento, que a «massa através da aceleração» vos acompanhe. 😊

Twitter:

@jorgegrau19: A lei da física que não cumprem é que o Yoda (que é como uma rã grande) possa falar. A glote dos batráquios não está preparada para isso.

Facebook:

Rakel Gonzalez Ruiz: Que não se podem travar batalhas tão longas sem se parar para ir à casa de banho... é a coisa mais física que me ocorre.

DE QUE COR É UM ESPELHO?
QUAL O PESO DO MARTELO DO THOR?
PORQUE É QUE NÃO PODEMOS VIAJAR ATÉ AO PASSADO?
QUANTOS MEGAPIXÉIS TEM O OLHO HUMANO?

- ✓ A leitura deste livro ocupará 0,0005% da tua vida, entre 7200 e 14 400 segundos. Talvez a mesma duração do filme *Blade Runner 2049* (de 2017) ou da trilogia original de *A Guerra das Estrelas*. Mas, como tantas outras coisas, o tempo é relativo.
- ✓ Se a tua vida for longa e próspera, que assim seja, viverás mais de dois mil milhões de segundos, embora passes um terço deles a dormir. Como isso já é demasiado tempo com a cabeça colada à almofada, caber-te-á passares os restantes segundos acordado, a vivê-los, a apreciá-los. Porque podem ser apaixonantes.
- ✓ Se leres este livro daqui a alguns anos é possível que, nessa altura, algumas das coisas que agora são tidas como certas e até imutáveis já não façam sentido. Nada permanece, nada é constante — «A única constante é a mudança», vaticinou Heráclito há 2500 anos. É essa a maravilha da ciência, que avança imparável de dia para dia.

**Espero que este livro te inspire para construíres
os teus próprios sonhos e que seja o início
de uma busca desenfreada de explicações
para o que te rodeia.**

