

A dimensão humana

As escalas da Terra: o chão que pisamos

O mundo das moléculas de água

Escalas de tempo

Descrevem-se aqui alguns dos módulos da exposição "Potências de Dez - o mundo às várias escalas".

"A dimensão humana" aborda a escala  $10^0$  m, "As escalas da Terra" as escalas  $10^4$  -  $10^6$  m, e o mundo das moléculas de água" as escalas  $10^9$  -  $10^9$  m. Finalmente, as "Escalas do tempo" passa em revista as escalas do tempo, começando por dias de hoje.

# NOTÍCIAS DO MUNDO A

## A DIMENSÃO HUMANA

*"O Homem é a medida de todas as coisas"*  
Protágoras

Um metro, ou  $10^0$  m (dez elevado a zero metros), é a nossa escala! É certamente a escala menos surpreendente, porque tem a dimensão de nós próprios, dos animais com que mais convivemos (cão, gato, etc.), dos objectos e situações do dia a dia, etc. É, por exemplo, a distância a que conversamos com alguém.

A nossa capacidade para lidar com a realidade que nos rodeia evoluiu na parte do mundo onde vivemos e não noutra. Nesse sentido ela está muito ligada às propriedades físicas da nossa região do Universo. Propriedades físicas, como o facto de um copo cair de uma mesa e partir-se, só existem em situações muito particulares no Universo, isto é, num planeta com uma certa gravidade à superfície. Sabemos que ocorrerão de forma diferente em planetas diferentes. Para conseguirmos viver, o nosso organismo evoluiu no sentido de possuir capacidades que nos permitem interagir no mundo à nossa escala.

A nossa percepção pode enganar-nos, porque fazemos uma apreciação dos fenómenos a partir da forma como os vemos e percebemos à nossa escala. A crença de que o Sol roda em torno da Terra deriva da mais pura intuição, pois é isso que os nossos olhos testemunham. Mas a Natureza, que é natural aos nossos olhos, não é tão natural assim [1]. A frase de Protágoras justifica-se porque nós vemos, percebemos e interpretamos os fe-

# VÁRIAS ESCALAS

nómenos do mundo que nos rodeia à nossa dimensão. Contudo, o que percebemos perto de nós é apenas um fragmento, muitas vezes ilusório, de uma realidade vasta e complexa.

À nossa dimensão, em muitos aspectos que influenciam directamente as nossas vidas, a escala tem uma enorme importância. É isso que procurarei mostrar, através de três exemplos.

## A escala na construção de um ser humano

A escala é essencial no funcionamento de um organismo. A taxa metabólica e o consumo energético variam muito com o tamanho. Nos mamíferos terrestres, a relação entre a energia consumida na locomoção ( $E$ ) e o peso corporal ( $W$ ) é  $E = 0,533 \times W^{-0,316}$ . O expoente negativo significa que os animais maiores são mais eficientes na locomoção terrestre do que os animais menores.

O desenvolvimento de um ser vivo ocorre através de mudanças de proporções das várias partes do corpo, resultantes de variações das suas taxas de crescimento. Se umas partes crescerem mais rapidamente do que outras, as suas proporções alteram-se. Os cientistas chamam "alometria" a essas variações. Contrariamente ao que se poderia pensar, esse tipo de modificações é muito frequente e tanto se pode observar no desenvolvimento de um organismo, à escala da vida de um organismo, como ao longo da evolução de várias espécies, à escala do tempo evolutivo.

As relações alométricas são também importantes na configuração física dos

organismos. Certas histórias de ficção, que nos mostram uma invasão de insectos gigantes, que teriam resistido a uma guerra nuclear e sofrido mutações que os tornaram enormes, são pura e simplesmente impossíveis. Um mosquito gigante que pesasse 200 kg nunca se aguentaria nas suas patas gigantes, mas demasiado finas. Por isso nunca veremos elefantes com patas de gazela. Mesmo que essa mutação ocorresse, o organismo resultante não seria viável.

Na nossa espécie, o crescimento do cérebro, e do crânio que o contém, ocorre a uma taxa mais elevada do que o crescimento do resto do corpo, durante o período de desenvolvimento embrionário, isto é, nos primeiros três meses de gestação. Essa relação entre as taxas de crescimento da cabeça e do corpo inverte-se a partir daí, passando o corpo a crescer mais depressa do que a cabeça. À nascença, um feto possui uma cabeça relativamente grande, ligada a um corpo de tamanho médio, com pernas e pés diminutos. Os bebés são muito "cabecudos", já que têm cabeças proporcionalmente maiores do que os adultos relativamente ao resto do corpo. Como o crescimento diferencial se mantém, o corpo e os membros vão crescer mais rapidamente do que a cabeça, o que faz com que o tamanho relativo da cabeça diminua. Esta tendência mantém-se até à idade adulta. As mudanças alométricas ocorrem na própria cabeça, em que os olhos grandes, a testa grande e arredondada, num crânio bulboso e a boca pequena dão lugar a uma configuração mais longilínea, com olhos proporcionalmente mais pequenos, uma testa menor e uma mandíbula muito mais proeminente. Os olhos não crescem, praticamente, pelo que o seu tamanho relativo decresce de forma acentuada.

A nossa psicologia evoluiu no sentido de os traços infantis invocarem sentimentos de afecto e simpatia [2]. Assim, formas que se aproximem das proporções de um bebé são-nos mais agradáveis. Essas preferências são susceptíveis de serem exploradas, na publicidade ou na indústria de

diversões. Um exemplo clássico é o da "evolução" da fisionomia do rato Mickey, um dos símbolos essenciais da Disney, que o biólogo norte-americano Stephen Jay Gould descreveu de forma exemplar [3]. Walt Disney foi mudando, ao longo dos anos, a forma do seu herói mais famoso até lhe dar um aspecto mais infantil (Fig. 1), em que os olhos e a cabeça assumiram proporções maiores relativamente ao corpo: trata-se de um processo evolutivo designado por neotenia. Essa "evolução" foi tornando o rato Mickey mais simpático aos nossos olhos, facilitando a adesão à sua imagem. De resto, a infantilização das figuras relativamente às quais se pretende obter uma vinculação positiva é generalizada. Se experimentarmos medir a relação tamanho da cabeça/tamanho do corpo em vários heróis de banda desenhada, particularmente dirigidos a crianças, como a Mônica, ou as personagens da Rua Sésamo, verificaremos que essa relação se aproxima da que encontramos nos bebés. Inversamente, se à figura se pretende associar uma imagem antipática ou agressiva, o valor da relação cabeça/corpo diminui, ficando a figura mais adulta.



Fig.1. A evolução do Rato Mickey para proporções mais infantis foi acompanhada pela representação de figuras da banda desenhada infantil, como a Mônica ou o Egas, apresentando cabeça e olhos desproporcionalmente grandes para o corpo que os suporta.

As variações das proporções da forma humana nas várias idades da vida foram um assunto de reflexão para os mestres da pintura que pintaram formas humanas reconhecíveis. Mestres como o italiano Leonardo da Vinci ou o alemão

Albrecht Dürer produziram autênticos tratados sobre as proporções do corpo humano e a sua variação entre crianças e adultos, tanto para homens como para mulheres. Dürer afirmou que a mulher tem 17/18 da altura de um homem, ou seja 0,943, que é um valor muito próximo do que o antropólogo inglês do século XIX, Francis Galton, encontrou e corresponde aos valores actuais (0,926). Mas, foi o pintor alemão Johann Bergmüller quem formulou, pela primeira vez (em 1723), uma lei geométrica do crescimento de uma criança, que ilustrou com belíssimos desenhos.

### A escala como "instrumento" da evolução

As variações alométricas no decurso da evolução das espécies constituem um processo recorrente, designado por heterocronia. Por vezes, dá-se a retenção de alguns traços infantis no estado adulto, noutros casos uma aceleração no sentido do adulto, exagerando certos traços anteriores. Noutros casos ainda, alteram-se as proporções para surgir uma cauda maior ou fazê-la desaparecer. A natureza é económica. A evolução procede não como um engenheiro criando coisas completamente novas, mas adaptando o material pré-existente, como um "bricoleur", para usar a expressão do biólogo francês François Jacob [4]. Muitas mudanças evolutivas na forma dos organismos resultam de ligeiras modificações nas taxas de crescimento das várias partes do corpo. Por exemplo, o biólogo D'Arcy Thompson sugeriu e David Raup demonstrou [5, 6] que é possível descrever todas as formas de conchas produzidas pelos moluscos através da variação de apenas três parâmetros.

Esses efeitos de heterocronia resultam, por exemplo, de uma acção mais ou menos prolongada de determinados genes, durante o processo de desenvolvimento. Uma pequena diferença na taxa de crescimento, continuada ao longo de um intervalo de tempo suficiente, pode produzir um resultado final bastante diferente. A nossa espécie partilha noventa e oito por cento da informação genética com os chimpanzés, os nossos parentes

mais próximos, o que significa que o que nos diferencia deles reside apenas em dois por cento do nosso DNA. Contudo, somos fisicamente bastante diferentes. E isso resulta, em parte, das pequenas alterações nas trajectórias de desenvolvimento que se vão ampliando à medida que o organismo se desenvolve. Assim, não surpreende que os fetos das duas espécies sejam bastante mais parecidos do que os respectivos adultos. As trajectórias divergentes das duas espécies são particularmente visíveis no desenvolvimento do crânio.

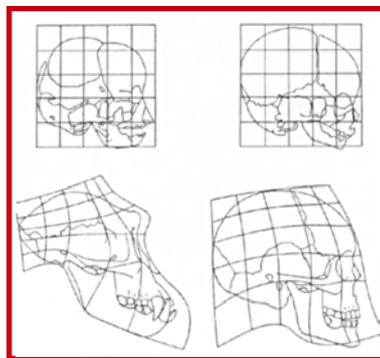


Fig.2. Os diagramas representam, de cima para baixo, os estádios de feto e adulto nos chimpanzés e nos humanos. A grelha apresenta-se deformada, em baixo, para melhor representar as variações de proporção entre as diversas partes do crânio.

A Fig. 2 representa o efeito da neotenia na evolução do crânio humano, por comparação com o do chimpanzé. As transformações sofridas do feto a adulto no chimpanzé são muito maiores do que nos humanos. Em ambas as espécies, a forma adulta apresenta uma redução da calote craniana e um aumento acentuado da parte inferior da face. Mas verifica-se uma desaceleração da transformação na forma adulta na espécie humana, atingindo-se o estado adulto com traços juvenis, por comparação com os outros antropóides. Essa modificação possibilitou, entre outras, a evolução de uma capacidade craniana de 1400 cm<sup>3</sup>, o que contrasta com os menos de 500 cm<sup>3</sup> dos chimpanzés. Se mantivéssemos a mesma taxa de crescimento do crânio dos restantes primatas, para um peso corporal médio de 60 kg, o nosso cérebro pesaria 460 g em vez de 1300 g, que é o que efectivamente pesa em média.

### Os efeitos sociais das escalas

A mudança de escala tem efeitos muito importantes na nossa percepção da realidade. De facto, o exagero de certas formas e tamanhos tem efeitos significativos sobre os nossos sentidos. Por exemplo, as máscaras estão presentes em quase todas as culturas desde tempos muito remotos. A sua simbologia tem desafiado a capacidade de interpretação de gerações de antropólogos. Parece, contudo, inegável que, para lá de visarem ocultar a identidade, ou criar uma outra identidade, elas têm também como função causar emoções fortes. Uma escala maior suscita um efeito sobre-humano, por vezes mesmo assustador, nomeadamente ao exhibir olhos e boca muito aumentados. Por vezes é o tamanho de todo o indivíduo que se modifica, quer deslocando-se sobre andas, quer usando cabeças enormes, como os gigantones das festas carnavalescas que existem em várias culturas. Noutros casos, ocorre uma redução de tamanho, como nas famosas caveiras de açúcar das festas mexicanas. Podem também provocar-se emoções fortes através do exagero das expressões faciais, um efeito bem conhecido no teatro tradicional japonês Kabuki. A representação dos espíritos em muitas culturas tradicionais, feita por meio de máscaras, envolve a mudança do tamanho e das proporções, o que perturba e intimida.

Nós próprios, membros da cultura ocidental, dita racionalista, não deixamos de nos sentir impressionados pelas expressões de alguns desses objectos, mesmo quando apresentados fora do seu contexto normal.



Fig.3. Desenho do riscador Joaquim José Codina, que acompanhou o naturalista Alexandre Rodrigues Ferreira, na "Viagem philosophica" à Amazónia (1783-1792), representando dois índios da tribo Jurupixuna, em trajes cerimoniais, envergando máscaras sobre as cabeças.

PAULO GAMA MOTA

Departamento de Antropologia da Faculdade de Ciência e Tecnologia da Universidade de Coimbra  
fgmota@pop.ci.uc.pt

#### BIBLIOGRAFIA

- [1] Wolpert, L. 1993. The (Un)natural Nature of Science. Harvard University Press.
- [2] Chalmers, N. 1983. The development of social relationships. In Animal Behaviour. 3. Genes and development (Eds., T. R. Halliday and P. J. B. Slater). Blackwell Scientific Publications.
- [3] Gould, S. J. 2000. O Polegar do Panda. Gradiva.
- [4] Jacob, F. 1985. O Logo dos Possíveis. Gradiva.
- [5] Thompson, D. 1917. On Growth and Form. Cambridge University Press, Cambridge.
- [6] Dawkins, R. 1999. A Escalada do Monte Improvável. Gradiva/Universidade de Aveiro.

#### AS ESCALAS DA TERRA: O CHÃO QUE PISAMOS

Convivemos dia-a-dia com objectos de variadas dimensões que cabem dentro da nossa percepção directa do mundo. São os objectos comuns que estão à nossa escala, é o chão que pisamos. Apreendemos as proporções das ruas, da cidade, do país ou da própria Terra vista do espaço, a partir de plantas e mapas, de fotografias aéreas e imagens de satélite (Fig. 1).



Fig.1. O estuário do rio Tejo numa imagem do satélite Landsat 5.

A consciência que temos do espaço está muitas vezes para além da percepção directa. Dentro do nosso bairro, para explicar por exemplo onde fica a farmácia, temos de usar papel e caneta para exprimir a relação espacial entre o sítio onde estamos e o local que queremos indicar. E o que acontece neste pedaço de papel? Crescemos várias ordens de grandeza até abrangermos vários quarteirões num só olhar.

Na primeira escala -  $10^0$  m -, cabe tudo aquilo com que nos relacionamos no dia a dia. Para os geólogos as rochas são objectos do quotidiano; em amostra de mão (pouco maiores que uma pedra de calçada) ou em pequenas lâminas, tão delgadas que se tornam transparentes para serem observadas ao microscópio. Não são objectos muito representativos da vivência da maior parte das pessoas, mas o conhecimento que temos da Natureza, da dinâmica e da evolução do nosso planeta é extraído essencialmente das rochas. Foi pelo seu estudo que, ao longo dos dois últimos séculos, se escreveu a História da Terra e da Vida, se identificaram recursos e se garantiu a segurança da instalação das grandes obras

de construção civil. Além do seu interesse económico ou das suas características geotécnicas, as rochas revelam-nos sempre grandes e antigos segredos. A Fundação Calouste Gulbenkian, por exemplo, está edificada sobre escoadas de lava que se formaram há cerca de  $7 \times 10^7$  anos, quando na região entre Lisboa e Mafra existiam vários vulcões em actividade (por exemplo em Manique e na Brandoa). Cerca de  $3 \times 10^7$  anos mais tarde, sob um clima subtropical, fortes enxurradas de sedimentos grosseiros cobriram grandes extensões destes basaltos dando origem ao Complexo de Benfica. Foi este o testemunho recolhido por sondagens na Avenida de Berna.

Ao longo das escalas  $10^1$ ,  $10^2$  e  $10^3$  m, vamos crescendo das dezenas aos milhares de metros e dominando sucessivamente uma rua ou um quarteirão; na última escala galgaríamos todo o nosso bairro num só passo. É este passeio de gigantes, ao longo da baixa de Lisboa, que procuramos proporcionar na exposição, exibindo duas maquetas do Museu da Cidade (escalas 1/500 e 1/1000). Saltamos do Castelo para o miradouro da Senhora do Monte, cruzamos para o de São Pedro de Alcântara, ou seguimos avenida acima, da beira rio ao Parque Eduardo VII. Recuámos porém mais de 60 anos, antes da rua da Ribeira das Naus ligar o Cais do Sodré ao Terreiro do Paço. Ainda podemos ver as Tercenas de D. Manuel, onde se construíram embarcações entre 1500 e 1939.

$10^4$  m é a escala de toda a cidade, e ao mesmo tempo o limite da percepção de um espaço humanizado. A resolução do nosso olhar deixa de alcançar o bulício dos bairros ou a harmonia dos jardins. Em menos de  $3 \text{ m}^2$  representa-se uma cidade pelos seus edifícios, ruas, colinas e pelas rochas que sustentam os nossos passos. A partir desta escala tudo são simples formas geométricas e manchas de cor planificadas.

Na escala  $10^5$  m já cabe todo um país. Podemos representar as características da população: como ocupa o território, o que produz, a localização dos seus recur-

tos naturais, o relevo e a variabilidade do clima. Representam-se os caminhos que nos conduzem ao longo da serenidade de um vale ou à conquista de uma montanha. Seleccionámos dois exemplos para esta exposição: o Anáglifo de Portugal Continental (isto é, o mapa tridimensional do relevo), publicado pelo Instituto Geográfico do Exército na escala 1/600000, e a Carta Geológica de Portugal na escala 1/500000, na 5ª edição, publicada pelo Instituto Geológico e Mineiro. Portugal foi, em 1876, um dos primeiros países a publicar uma Carta Geológica de todo o território continental. Essa 1ª edição obteve uma medalha na Exposição Internacional de Filadélfia. A 3ª edição da Carta Geológica de Portugal, publicada em 1899, foi uma vez mais distinguida com medalhas de ouro para os autores e um "Grande Prémio" para a instituição, na Exposição de Paris de 1900.

À distância da última escala,  $10^6$  m, alcançamos todo o planeta num só olhar. Planeta Terra ou Planeta Oceano?

É uma interrogação legítima quando vemos que 71% da sua superfície está coberta pelo oceano. De uma forma ou de outra, um Planeta Vivo. As imagens da Lua mostram-nos uma superfície coberta pelas crateras resultantes dos impactos de meteoritos, a maior parte dos quais ocorridos há milhares de milhões de anos. Na Terra, o calor proveniente do interior alimenta o vulcanismo e os processos da tectónica de placas, que vão continuamente criando novas ilhas e cadeias de montanhas (Fig. 2). Mas a energia do Sol também alimenta, permanentemente, os fenómenos atmosféricos, que conduzem à erosão das rochas, ao transporte e à deposição dos sedimentos, arrasando os relevos e preenchendo as depressões. É este balanço entre os processos da geodinâmica interna e externa que rejuvenesce diariamente a face da Terra e a torna um Planeta Vivo (Fig. 3).

Daqui em diante entraríamos noutras escalas, onde a Terra é apenas um entre incontáveis planetas, a Via Láctea é apenas mais uma entre tantas galáxias, onde as distâncias são difíceis de imaginar...



Fig. 2. Rochas dobradas durante a formação da cadeia de montanhas hercínica, há cerca de  $3 \times 10^8$  anos; SW alentejano (foto F. Ornelas - LATTEX/FCUL, Proj.GEOMODELS).

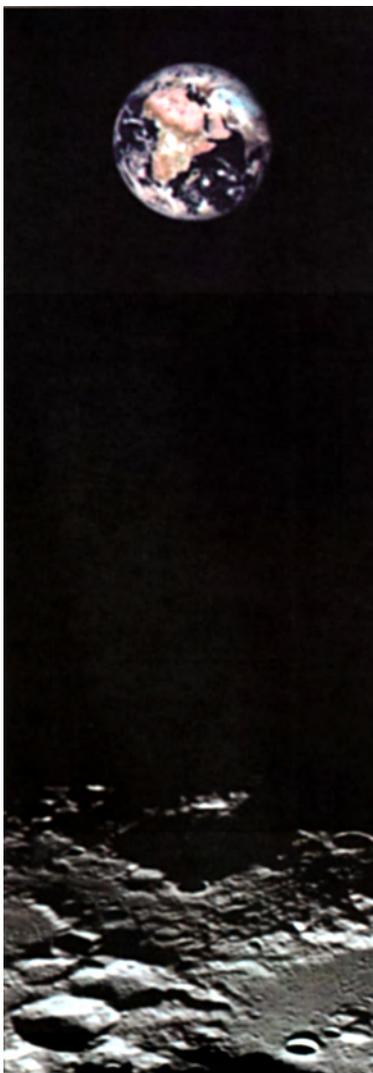


Fig.3. A Terra vista da Lua (foto NASA).

FRANCISCO FATELA  
Departamento de Geologia da Faculdade  
de Ciências da Universidade de Lisboa  
ffatela@fc.ul.pt

#### BIBLIOGRAFIA

Caron, J.M.; Gauthier, A.; Schaff, A.; Ulysse, J. & Wozniak, J. (1995) - *Comprendre et enseigner la planète Terre*. Ed. Ophrys, 3<sup>ème</sup> edition.

Levin, H.L. (1994) - *The Earth through Time*. Saunders College Publishing, 4<sup>th</sup> edition.

Rebello, J.A. (2001) - *As Cartas Geológicas ao Serviço do Desenvolvimento*. Instituto Geológico e Mineiro.

Teixeira, C.; Pais, J. & Rocha, R. (1979) - *Quadros de Unidades Estratigráficas e da Estratigrafia Portuguesa*. Instituto Nacional de Investigação Científica.

## O MUNDO DAS MOLÉCULAS DE ÁGUA

A água é uma substância tão comum na Terra que muitas vezes não nos apercebemos da sua natureza única. Trata-se de um composto molecular cujas propriedades continuam a desafiar físicos e químicos. O seu estudo é importante em áreas como a nucleação em fase gasosa, fenómenos de catálise, a física e a química da atmosfera e o comportamento de soluções aquosas em Biologia e Química. É necessário, em qualquer um dos casos, que o comportamento da água seja bem compreendido ao nível molecular. Compreender os mecanismos que presidem às mudanças de estado, estudar o comportamento de agregados de água e descobrir e prever novas estruturas (como o gelo XII, que existe a altas pressões e a temperaturas Celsius negativas) são desafios que têm motivado intensa investigação. Simulações moleculares, mais simples ou mais sofisticadas, são essenciais nessa compreensão.

Por exemplo, o programa *Água Virtual*, foi desenvolvido no Centro de Física Computacional do Departamento de Física da Universidade de Coimbra, com o objectivo de ajudar estudantes a compreender as fases e transições de fase da água (Fig. 1). Neste programa é possível visualizar, por exemplo, na fase líquida, as estruturas tridimensionais de alguns agregados de moléculas (dímero, trímero e hexâmero, com, respectivamente, duas, três e seis moléculas) e, na fase sólida, estudar, para além da estrutura normal do gelo (Fig. 2), a estrutura do gelo XII (Fig. 3).

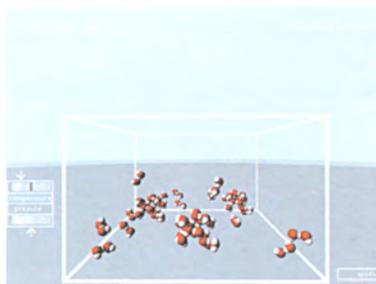


Fig. 1. A transição líquido – sólido no programa *Água Virtual*. Os comportamentos mais relevantes são a contínua perda de velocidade dos agregados moleculares e a formação de novas ligações de modo a emergir a estrutura do gelo.

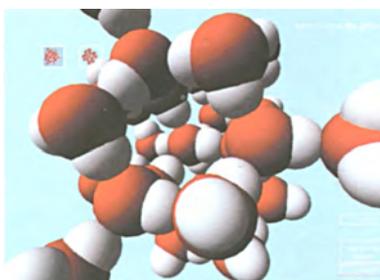


Fig. 2. A estrutura do gelo normal no programa *Água Virtual*.

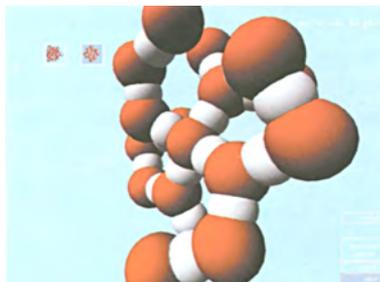


Fig. 3. A estrutura do gelo XII, uma estrutura tetragonal que existe na faixa de pressões de 0,2 GPa a 0,6 GPa ( $16\text{Pa} = 10^9\text{pascal}$ ) e na gama de temperaturas de  $-100^\circ\text{C}$  a  $0^\circ\text{C}$ .

A molécula de água é composta por um átomo de oxigénio e dois átomos de hidrogénio (Fig. 4). Mede cerca de 0,1 nanómetros, sendo  $1\text{ nanómetro} = 10^{-9}\text{ m}$ . Esta constituição molecular, apesar de simples, conduz a comportamentos complexos da água. Por exemplo, a sua fase líquida possui algumas propriedades invulgares que a distinguem de um qualquer outro líquido.

Algumas dessas propriedades (por exemplo, maior densidade na fase líquida do que na sólida – por isso é que o gelo flutua, altas temperaturas de fusão e evaporação, elevado valor da sua capacidade térmica, valor máximo da sua densidade a  $4^\circ\text{C}$ , etc.) advêm das ligações por pontes de hidrogénio.

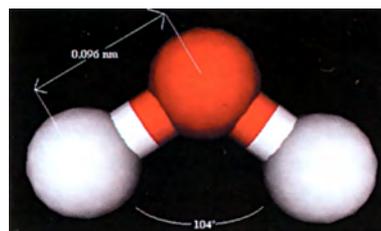


Fig. 4. Modelo da molécula de água. A vermelho está representado o átomo de oxigénio e a cinzento os dois átomos de hidrogénio. A distância entre os átomos de oxigénio e de hidrogénio é de 0,096 nm e o ângulo de ligação é de  $104^\circ$ .

As ligações por pontes de hidrogénio ocorrem quando um átomo de hidrogénio de uma molécula de água se liga ao átomo de oxigénio de uma outra molécula de água (Fig. 5). Trata-se de uma atracção dipolo-dipolo entre o hidrogénio e o oxigénio.

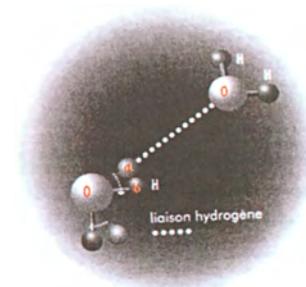


Fig. 5. Esquema de uma ligação por ponte de hidrogénio. A carga positiva do núcleo de um átomo de hidrogénio de uma molécula de água é atraído pela carga negativa da nuvem electrónica de um átomo de oxigénio vizinho. Estabelece-se então uma ligação de hidrogénio entre as duas moléculas: o átomo de hidrogénio alinha-se com os átomos de oxigénio das duas moléculas (a). Se, por rotação molecular, o átomo de hidrogénio de uma ligação for desalinhado do eixo formado pelos átomos de oxigénio, a ligação rompe-se (b) [1]

Esta ligação é dominante no comportamento da água líquida (na qual as moléculas estão, em média, separadas por 0,19 nm). As ligações por pontes de hidrogénio formam-se e quebram-se milhares de vezes por segundo.

Na fase sólida (gelo), as ligações por pontes de hidrogénio são responsáveis pelo arranjo das moléculas de água numa malha tetraédrica, que se repete em toda a estrutura cristalina (Fig. 6). A distância entre os átomos de oxigénio nesta estrutura é de aproximadamente 0,28 nm. Mesmo depois do gelo fundir continuam a existir 90% das ligações por pontes de hidrogénio que existiam na fase sólida

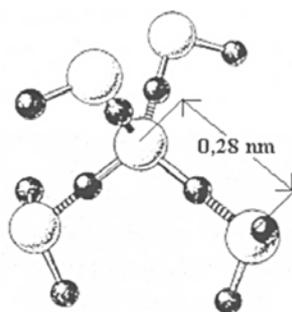


Fig.6. Estrutura tetraédrica do gelo cristalino. Cada molécula de água está rodeada de quatro outras. A ligação entre as moléculas é feita por pontes de hidrogénio. A distância entre os átomos de oxigénio (representados a branco) é de 0,28 nm [2].

Na fase gasosa (vapor de água) estas ligações são quase inexistentes devido à elevada energia cinética das moléculas. A pressão constante, o aquecimento da água líquida leva a um aumento da energia de vibração das moléculas de água, que conduz a uma quebra das ligações por pontes de hidrogénio. As moléculas ficam quase todas livres e afastadas por distâncias superiores a 0,2 nm.

JORGE TRINDADE

Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico da Guarda  
jtrindade@ipg.pt

CARLOS FIOLEAIS

Departamento de Física e Centro de Física Computacional da Universidade de Coimbra  
3004-516 Coimbra

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos a colaboração do Dr. José Carlos Teixeira e do Dr. Victor Gil no Projecto Água Virtual.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] José Teixeira, L'eau, liquide ou cristal déliquescents?, *La Recherche*, 324, Outubro, 1999.
- [2] S. Sugano e H. Koizumi, "Microcluster Physics", Springer, 1998.

## ESCALAS DO TEMPO

As escalas de espaço permitem-nos compreender e integrar distâncias. Traçamos caminhos e planeamos viagens. Podemos mesmo fazê-lo em distâncias muito para cá do que vemos, por exemplo dentro de nós próprios, ou muito para além do que jamais conseguiríamos percorrer. Mesmo à velocidade da luz, seria impossível viajarmos até ao outro lado da nossa Galáxia, porque a distância é grande de mais em relação ao tempo da nossa vida. Aqui podemos mesmo dizer: não temos tempo.

Cada um de nós conhece bastante mais do que poderia descobrir só por si, porque é privilégio da nossa espécie transmitir as memórias e os conhecimentos que se acumularam com o desenrolar do tempo. Tudo começou há tanto tempo que, tal como para o espaço, precisamos de escalas para compreender o passado.

Que unidade usar? Se perguntássemos a idade a um jovem e ele nos respondesse 536 457 600 segundos, a resposta estaria porventura correcta. Mas faz muito mais sentido que a resposta seja: 17 anos. Por isso, ninguém se importará se for utilizada uma unidade que não pertence ao Sistema Internacional - o ano.

No final de 2002 vamos assistir aos habituais balanços do ano que agora come-

çou, do ponto de vista político, económico e social. Na perspectiva pessoal, entre as várias recordações poderá estar a visita à exposição *Potências de 10, o mundo às várias escalas*, incluindo provavelmente um passeio no jardim da Fundação Gulbenkian. Esta e todas as recordações de 2002 referem-se ao tempo presente -  $10^0$  anos.

Se começarmos agora a recuar no tempo, ao longo das várias potências de dez, as recordações são mais difusas logo no primeiro passo, dezenas de anos -  $10^1$  anos. Já poucos se lembram da construção da sede da Fundação (Fig. 1), ou do modo como o respectivo espaço antes estava ocupado. Acontecimentos tão recentes, como a introdução do cartão multibanco (1985), o 25 de Abril de 1974 ou as primeiras emissões de televisão em Portugal (1956) assumem um carácter histórico, sobretudo para as pessoas que nasceram depois.

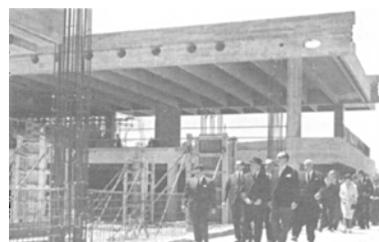


Fig.1. Construção da sede da Fundação Gulbenkian junto à Praça de Espanha, Lisboa, em 1965; anteriormente funcionava aqui a Feira Popular (cortesia da Fundação Calouste Gulbenkian).

As centenas de anos -  $10^2$  anos - incluem toda a História de Portugal. Muitos acontecimentos importantes foram construindo a nossa História, mas um dos mais marcantes foi sem dúvida o sismo de 1755. Um fenómeno natural, inerente à dinâmica interna do planeta, que se fez sentir com grande intensidade e magnitude em quase todo o País. A destruição e a perda de vidas impressionaram profundamente o resto da Europa. Philippe Le Bas, gravador régio em Paris, fez gravuras fiéis a partir de esboços feitos no local. Vários autores escreveram sobre esta tragédia, entre os quais os próprios Voltaire e Kant.

Os milhares de anos -  $10^3$  anos - correspondem ao andar mais recente da História da Terra, o Holocénico (que significa "tudo novo") (Fig 2). Este tempo inclui o Neolítico, que representa o final da pré-história, com a sedentarização das sociedades que adoptam a agricultura e a criação de animais, e ainda o desenvolvimento e declínio de todas as civilizações antigas.

Nas dezenas de milhares de anos -  $10^4$  anos - cabe toda a existência da nossa espécie. Há cerca de  $3,5 \times 10^4$  anos existiam duas variedades na Europa: o *Homo sapiens sapiens* e o *Homo sapiens neanderthalensis*. A partir desta altura verifica-se o desaparecimento da população do *Homo neanderthalensis*, excepto na Península Ibérica onde se manteve até há  $2,8 \times 10^4$  anos, sem que se conheçam bem as cau-

sas. Na véspera do Natal de 1998 foi descoberta uma sepultura de criança no Lapedo, próximo de Leiria. Os estudos revelaram que a criança fora sepultada há  $2,5 \times 10^4$  anos, quando tinha quatro anos de idade, seguindo um ritual cuidado. A Criança do Lapedo é a única criança do Paleolítico superior até hoje encontrada, representando um achado da arqueologia portuguesa com inestimável valor internacional. O seu esqueleto apresenta uma mistura de características sapiens e neandertais, reforçando a hipótese de que o desaparecimento das populações de *Homo sapiens neanderthalensis* não se deveu a uma extinção súbita, mas a uma absorção gradual pelas populações de *Homo sapiens sapiens*. Provavelmente muitos de nós ainda conservamos algumas características neandertais nos nossos genes.



Fig.3. Reconstituição da fisionomia da Criança do Lapedo (cortesia de Anglia TV).

As centenas de milhares de anos -  $10^5$  anos - caracterizam-se pelo desenvolvimento das últimas linhagens do género *Homo*, que precedem o aparecimento do *Homo sapiens*. Há  $5 \times 10^5$  anos os homínidos conseguiam dominar o fogo e acendiam as primeiras fogueiras.

O milhão de anos -  $10^6$  anos - é a unidade de tempo na História Geológica da Terra. Há  $2,2 \times 10^6$  anos surgiu a primeira população do género *Homo*, o *Homo habilis*, coincidindo praticamente com o início do último período da História da Terra: o Quaternário (há  $1,8 \times 10^6$  anos). Do ponto de vista climático, este período caracteriza-se pelo início da rápida alternância entre períodos frios (glaciares) e períodos temperados (interglaciares). Durante os períodos frios, o clima periglaciário e os glaciares de montanha estendiam-se até à nossa latitude, ao passo que o mar recuava algumas

**GRANDES DIVISÕES DOS TEMPOS GEOLÓGICOS**  
Com indicação dos respectivos limites de idades absolutas, em milhões de anos -  $10^6$  (Ma)

	ERAS Grupos	PERÍODOS Sistemas	SÉRIES Épocas	CRONOLOGIA (Ma)	
C E N O Z Ó I C A	Quaternário	Holocénico		0.01	
		Plistocénico		1.8	
	Neogénico	Pliocénico		5	
		Miocénico		23	
	Paleogénico	Oligocénico		38	
		Eocénico		53	
		Paleocénico		60 a 65	
	M E S O Z Ó I C A	SECUNDÁRIO	Cretácico	superior	136-140
				médio	
			inferior		
Jurássico		Malm	195-200		
		Dogger			
Triásico		Keuper	225-240		
Muschelkalk					
P A L E O Z Ó I C A	PRIMÁRIO	Pérmico		280	
		Carbónico		345	
		Devónico		395-410	
		Silúrico		430-440	
		Ordovícico		500	
		Câmbrico		540	
		PROTEROZÓICO (ou Algónquico)	PRECAMBRIÇO		
ARCAICO		4600			

Fig.2. Tabela crono-estratigráfica simplificada (adaptado de Galopim de Carvalho, 1998).

dezenas de quilómetros. Por exemplo, há  $1,8 \times 10^4$  anos a linha de costa estava localizada onde hoje encontramos a linha dos 140 m de profundidade. O último período glaciário ocorreu há  $1 \times 10^4$  anos.

As dezenas de milhões de anos -  $10^7$  anos - incluem uma série de acontecimentos marcantes. Na altura da extinção dos Dinossauros, há  $6,5 \times 10^7$  anos, também muitos outros grupos se extinguíram, ou sofreram mudanças. No entanto, esta crise da biosfera libertou inúmeros nichos ecológicos, que permitiram o desenvolvimento das linhas filogenéticas que evoluíram até aos grupos actuais. É o caso dos Mamíferos, que só se desenvolveram significativamente após a extinção dos dinossauros. Há  $6,5 \times 10^7$  anos iniciou-se assim a Era Cenozóica (era dos "novos animais"). A par destes acontecimentos globais, há cerca de  $7 \times 10^7$  anos formaram-se os maciços eruptivos de Sintra, Sines e Monchique e a região de Lisboa-Mafra apresentava vários vulcões em actividade. As primeiras erupções emersas do Arquipélago da Madeira ocorreram na Ilha do Porto Santo muito mais tarde, há  $1,9 \times 10^7$  anos, e no Arquipélago dos Açores há  $1,0 \times 10^7$  anos.

Nas centenas de milhões de anos -  $10^8$  anos - cabem grande parte dos avanços mais significativos da evolução da vida na Terra. Apesar do seu desenvolvimento relativamente tardio, os mamíferos surgiram há mais de  $2 \times 10^8$  anos e as aves há cerca de  $1,5 \times 10^8$  anos. Os primeiros animais multicelulares, com vários tipos de células organizadas em órgãos, surgem pela primeira vez no registo geológico há  $9 \times 10^8$  anos (Proterozóico Superior), fossilizados nas rochas quartzíticas de Ediacara (Austrália). Há cerca de  $2,0 \times 10^8$  anos, a dinâmica interna do planeta levou à fracturação do único supercontinente que se tinha formado no final do Paleozóico - Pangea - iniciando o actual ciclo de abertura de bacias oceânicas por acção dos processos da tectónica de placas. O Atlântico Norte começou a abrir por volta dos  $1,5 \times 10^8$  anos, altura em que o bloco de continente norte americano se separou do bloco euro-asiático. As Ilhas Berlengas,

ao largo de Peniche, correspondem a um fragmento de América do Norte que permaneceu junto à Europa.

Com os milhares de milhões de anos -  $10^9$  anos - chegamos finalmente ao início da História da Terra. As rochas mais antigas da crosta terrestre são os gnaisses de Acasta, no Canadá, com  $3,96 \times 10^9$  anos e os minerais mais antigos são grãos de zircão detritico, com cerca de  $4,3 \times 10^9$  anos, provenientes de rochas sedimentares da Austrália. Os fósseis mais antigos que se conhecem foram encontrados em Pilbara, também na Austrália, em rochas com uma idade em torno de  $3,5 \times 10^9$  anos. Porém, no sul da Gronelândia, há matéria carbonosa (eventualmente microfósseis) nas formações bandadas de ferro mais antigas que apresenta uma razão  $^{13}C/^{12}C$  semelhante à dos organismos actuais, sugerindo que a vida pode ter surgido na Terra há cerca de  $3,8 \times 10^9$  anos. Datações efectuadas em amostras de meteoritos e de rochas da Lua mostram que a Terra se formou aproximadamente há  $4,6 \times 10^9$  anos, na companhia das restantes nuvens de poeira que deram origem ao sistema solar.

E para a frente?... Seria fantasioso tentar prosseguir com a mesma regularidade ao longo das escalas de tempo no futuro. Atendendo ao fluxo de calor que hoje emana do interior da Terra sabemos que, por exemplo, a deriva dos continentes vai continuar por muitos milhões de anos. Todavia a abertura do Atlântico Norte, a que assistimos hoje à velocidade de  $7,9 \times 10^{-10} \text{ m s}^{-1}$  (2,5 cm/ano), irá cessar um dia e inverter-se. O Atlântico

começará então a fechar-se e é provável que daqui a  $2 \times 10^8$  anos as placas norte-americana e euroasiática voltem a estar unidas. Mas este é um futuro longínquo, distante da nossa vontade e alheio à nossa presença sobre o planeta.

Devemos, no entanto, pensar no futuro mais próximo, que está condicionado pelo modo como utilizamos os recursos da Terra. Aqui a incerteza é grande, porque os impactes das nossas decisões, nomeadamente as que dizem respeito à introdução de poluentes no ambiente, ocorrem numa escala de tempo muito superior à duração de um governo ou mesmo da nossa vida (Fig. 4). Para além dos factores de ordem económica e política que pesam nestas decisões, uma noção abrangente do tempo torna-se imprescindível para gerir os recursos naturais de uma forma sustentada, sem comprometer a qualidade de vida das gerações futuras.

FRANCISCO FATELA

Departamento de Geologia da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa  
ffatela@fc.ul.pt

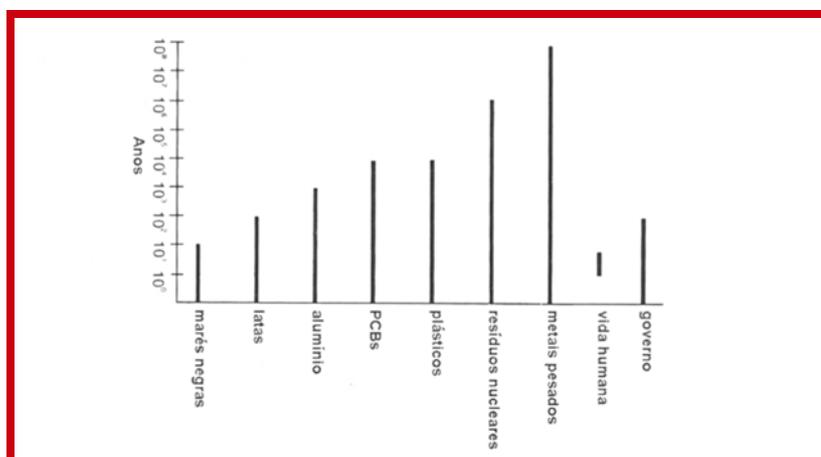


Fig.4. Comparação entre o tempo de permanência de alguns poluentes no ambiente natural e a duração dos governos e da vida humana (adaptado de Cook,1998).

## BIBLIOGRAFIA

Caron, J.M.; Gauthier, A.; Schaff, A.; Ulysse, J. & Wozniak, J. (1995) - *Comprendre et enseigner la planète Terre*. Ed. Ophrys, 3ème édition.

Cook, P. (1998) - The role of Earth sciences in sustaining our life-support system. *Comun. Inst. Geol. e Mineiro*, t. 03-18.

Dias, J.M.A.; Boski, T.; Rodrigues, A. & Magalhães, F. (2000) - Coast line evolution in Portugal since the Last Glacial Maximum. *Marine Geology*, vol. 170, 177 - 186.

França, J.-A. (1989) - *A Reconstrução de Lisboa e a Arquitectura Pombalina*. Col. Biblioteca Breve, Instituto de Cultura e Língua Portuguesa.

Galopim de Carvalho, A.M. (1998) - Evolução da Terra e da Vida. *Pavilhão do Futuro (Catálogo Oficial)*, pp. 73-85, EXPO'98.

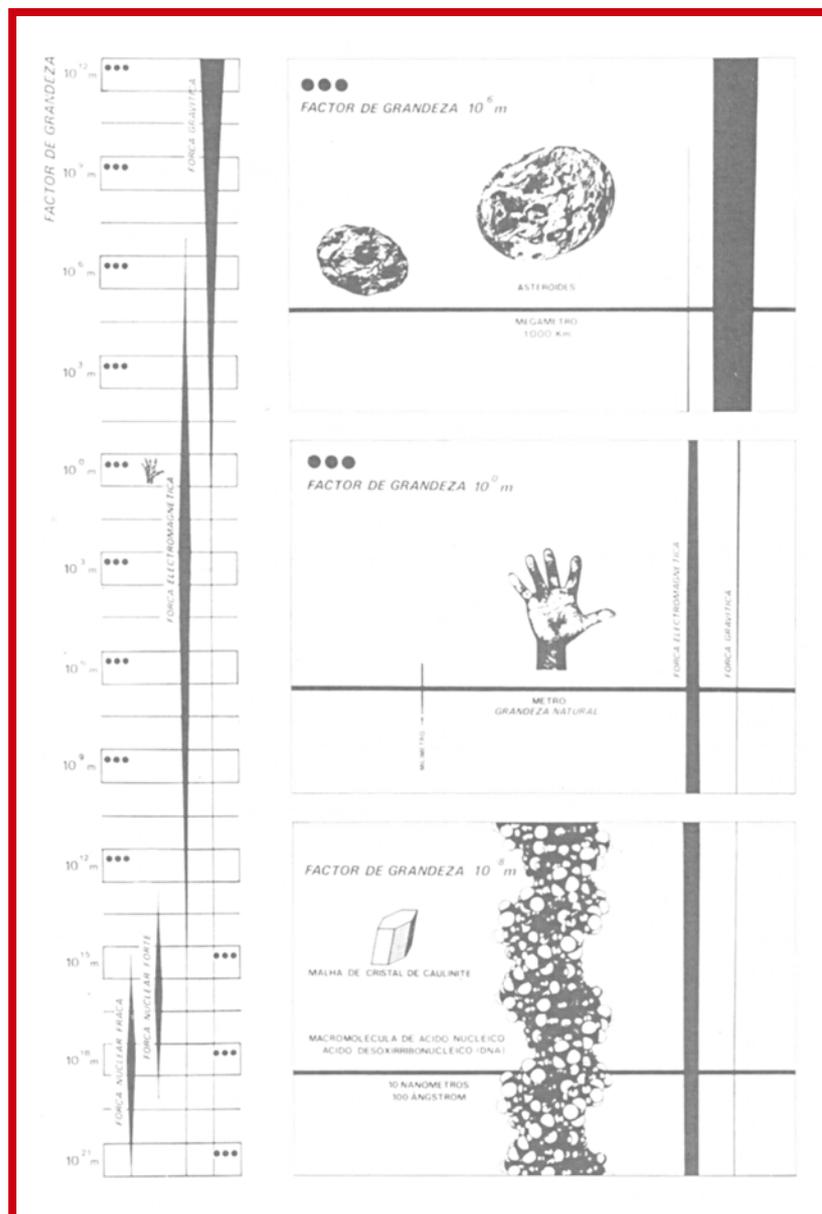
Levin, H.L. (1994) - *The Earth through Time*. Saunders College Publishing, 4th edition.

Pinto, A.C.; Ferreira, C.; Silva, J.A.; Ramalho, M.M. & Reis, P. (1999) - *Liberdade e cidadania, 100 anos portugueses*.

Ribeiro, A. (1998) - *Uma Breve História Tectónica da Terra*. Monografias, EXPO'98.

RTP (2001) - *A Criança do Lapedo* (documentário).

Teixeira, C.; Pais, J. & Rocha, R. (1979) - *Quadros de Unidades Estratigráficas e da Estratigrafia Portuguesa*. Instituto Nacional de Investigação Científica.



Quadro das grandezas físicas (pormenores)  
Fernando Lanhas, Lugar do Desenho e Museu de Serralves, Edições Asa, 2001.