

# O que vem à rede...

António Machiavelo

Departamento de Matemática Pura da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto

## A Lógica da Física e a Física da Lógica

Em 1638 foi publicado em Leyden, na Holanda, o último trabalho de Galileu Galilei, os seus *Discorsi e Dimostrazioni Matematiche intorno à due nuove scienze*, uma obra cuja importância na história da Física e do pensamento científico é difícil sobrevalorizar. A sua leitura é ainda hoje um autêntico prazer, estando uma versão electrónica do original disponível em <http://www.liberliber.it/biblioteca/g/galilei/index.htm/> e uma tradução para o inglês disponível em <http://oll.libertyfund.org/ToC/0416.php>.

Logo na *giornata prima*, Galileu apresenta um argumento simples mas engenhoso, uma “experiência mental” que muita tinta tem feito correr, e que mostra haver sérias dificuldades, de um ponto de vista estritamente lógico, em assumir que corpos com massas diferentes caem em direcção à superfície terrestre de modo diferente, quando não há nenhuma influência de algo exterior. O argumento pode ser resumido assim (ver figura 1):

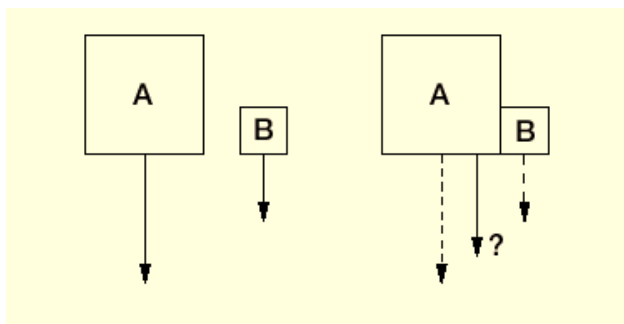


Figura 1: A experiência “mental” de Galileu

suponhamos que quanto mais massa um corpo tem, mais “depressa” ele cai, e sejam A e B dois corpos, tendo A mais massa que B; se unirmos A a B, obtemos então um

corpo com uma massa superior à de A, que portanto devia cair “mais depressa” que A; mas, por outro lado, não deveria B, agora ligado a A, retardá-lo?

A conclusão parece inevitável: os corpos têm de cair todos do mesmo modo! Ou seja, dois corpos quaisquer largados da mesma altura, e quando não há influência de factores exteriores (como o ar, por exemplo), chegam ao solo em simultâneo.

São também bem conhecidas as “experiências mentais” de Albert Einstein e o seu papel na descoberta da teoria da relatividade. Um ensaio interessante sobre este assunto pode ser consultado em <http://www.aip.org/history/einstein/essay-einstein-relativity.htm>

Estas e outras “experiências mentais” levantam uma importante questão filosófica: como é possível que se consigam deduzir princípios físicos pelo uso exclusivo da razão, aparentemente *a priori*? Basta pesquisar no *Google*: <<“thought experiments” philosophy>> para se ver quanto o assunto tem sido motivo de reflexão e discussão!

Não é obviamente nada fácil perceber todos os detalhes dos mecanismos que tornam tais “experiências mentais” efectivas no estudo de fenómenos naturais. E não querendo aqui parecer trivializar, é no entanto espantoso que haja tanta surpresa, espanto e perplexidade sobre o assunto, em especial após 1859, data da publicação de um outro marco fundamental do pensamento científico: *The Origins of Species* de Charles Darwin. Decorridos quase século e meio, e apesar de toda a evidência acumulada que não deixa hoje qualquer margem de dúvida, numa altura em que lemos o nosso próprio genoma, é chocante o número de pessoas que ainda se recusam a perceber que somos

produto de uma muito longa história de adaptação ao mundo que nos rodeia, neste aspecto em nada diferentes dos outros seres vivos com que temos o privilégio de compartilhar este belíssimo e muito precioso planeta, e que não entendem o poder explicativo de dois conceitos muito simples, mas (aparentemente!) subtis: *descendência com modificação e seleção natural*.

Deste ponto de vista biológico, é bastante menos misterioso que conclusões de raciocínios lógicos, formulados nas nossas mentes, correspondam a fenômenos reais no universo do qual somos produto, tendo as nossas mentes sido moldadas justamente pela necessidade de entender esse universo! Assim, o aparente *a priori* atrás mencionado é afinal um gigantesco *a posteriori* de milhões de anos de adaptações evolutivas!

Neste contexto, é interessante especular sobre as possíveis implicações físicas de certas “experiências mentais” para as quais parece difícil dizer qual é o “resultado”, ou que conduzem a aparentes paradoxos aos quais parece não ser fácil dar solução. Talvez os exemplos mais conhecidos sejam os quatro *paradoxos de Zenão* conhecidos por: *Dicotomia*, *Aquiles e a Tartaruga*, *A Seta*, e *O Estádio*, que pretendiam ser argumentos, na forma de “experiências mentais”, estabelecendo a impossibilidade do movimento, que não passaria de uma ilusão dos sentidos. Para mais detalhes, e para perceber até que ponto os paradoxos de Zenão continuam a dar muito que pensar, ver a página <http://plato.stanford.edu/entries/paradox-zeno/> da *Stanford Encyclopedia of Philosophy*.

Dois dos paradoxos de Zenão relativos ao movimento são exemplos daquilo que se designa por *Supertarefas*. Um outro exemplo bem conhecido de uma supertarefa é o da *lâmpada de Thomson*, que usa o facto de se ter  $1/2 + 1/2^2 + 1/2^3 + \dots + 1/2^n < 1$ , para todo o  $n \in \mathbb{N}$  (o que é geometricamente óbvio – ver figura 2).

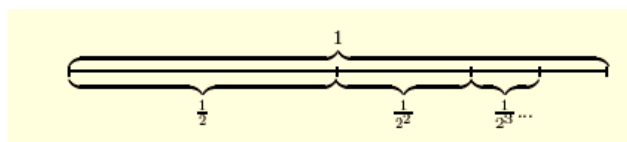


Figura 2:  $1/2 + 1/2^2 + 1/2^3 + \dots + 1/2^n < 1$

Considere-se uma lâmpada que é acesa num certo instante,  $t_0$ , apagada  $1/2$  minuto depois, novamente acesa  $1/2 + 1/2^2$  após  $t_0$ , novamente apagada  $1/2 + 1/2^2 + 1/2^3$  após  $t_0$ , etc... Ao fim de 1 minuto após  $t_0$ , qual o estado da lâmpada, está acesa ou apagada? Responder que a lâmpada está fundida, pode ser ligeiramente jocoso, mas é obviamente ignorar as subtilezas filosóficas desta “experiência mental”. Será que a lâmpada de Thomson mostra haver dificuldades lógicas em supôr que o tempo é uma entidade contínua? Ou será que não?

Sobre esta e outras supertarefas, e algumas das suas possíveis implicações filosóficas, tanto para a Filosofia da Física como para a Filosofia da Matemática, ver <http://plato.stanford.edu/entries/spacetime-supertasks/>

Finalmente, não deixa também de ser curioso que alguns paradoxos da teoria dos conjuntos pareçam ter de algum modo a ver com a noção de tempo. O mais famoso de todos, o *paradoxo de Russel*, que motivou a axiomatização da teoria dos conjuntos por Ernest Zermelo (ver o excelente artigo <http://plato.stanford.edu/entries/set-theory/>), consiste em considerar o conjunto,  $S$ , de todos os conjuntos que não são elementos de si próprios, e perguntar se  $S$  é ou não um elemento de si próprio. Ambas as possibilidades conduzem a uma contradição pois, por construção,  $S \in S \Leftrightarrow S \notin S$ ! As axiomatizações da teoria dos conjuntos evitam este paradoxo proibindo, de algum modo, que um conjunto pertença a ele próprio, e fazem-no introduzindo uma hierarquia, uma estratificação, em que, essencialmente, uma entidade só pode pertencer a entidades construídas posteriormente. De um ponto de vista temporal, não faz de facto muito sentido ser um conjunto elemento de si próprio, pois os elementos têm de ter uma “existência” anterior à do próprio conjunto. É irresistível especular: será o tempo uma componente essencial da “estrutura lógica” do Universo?

<sup>1</sup> O argumento funciona igualmente bem no caso contrário!