

QUE É O TEMPO?

O tempo não volta. O que pode parecer óbvio, para os físicos encerra uma das mais fascinantes facetas da natureza: a irreversibilidade dos fenômenos naturais. Mas será que estaremos sempre presos a essa assimetria entre o passado e o futuro?

Sílvio Renato Dahmen

é professor e pesquisador do Instituto de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Doutor em Física Teórica e Matemática Aplicada pela Universidade de Bonn (Alemanha), tem pós-doutorado pelas Universidades de Yale (EUA) e Würzburg (Alemanha).

No clássico *Alice através do espelho*, do escritor inglês Lewis Carroll, há uma interessante passagem em que Alice conversa com a Rainha Branca a respeito do futuro e do passado. A Rainha oferece a Alice um salário para que esta se torne sua dama de honra, salário este que inclui uma dose de saborosa marmelada todo dia de ontem e de amanhã. Alice se mostra confusa: o ontem já passou, o amanhã está por vir. Como vivemos sempre o presente, ela nunca veria a geléia. A Rainha diz, então: “Mas isto é o que ocorre quando se vive para trás. No começo a gente sempre fica um pouco confusa”.

“Viver para trás!”, disse Alice estupefada, “Nunca tinha ouvido falar de uma coisa desta!”. “Há uma grande vantagem nisto, que é o fato de que a memória funciona em ambas as direções”, contrapõe a Rainha. “Tenho certeza de que a minha só funciona em uma direção”, disse Alice, “Não consigo me lembrar de coisas antes que elas tenham acontecido!”. “Só uma memória ruim se lembra apenas das coisas do passado”, disse a Rainha. “De que tipo de coisa você se lembra melhor?”, Alice ousou perguntar. “Oh, coisas que aconteceram na semana depois da próxima”, respondeu a Rainha num tom desinteressado. “Por exemplo, agora”, continuou ela enquanto colocava um grande pedaço de curativo no dedo à medida que ia falando, “tem o mensageiro

real. No momento ele se encontra na prisão sendo punido. E o julgamento só começa na quarta-feira que vem! O crime obviamente virá por último”¹.

Se a memória de Alice se lembrasse das coisas futuras, ela talvez se sentisse tentada a trabalhar para a Rainha pela memória da excelente geléia que comeria amanhã. Num primeiro momento, essa conversa nos parece desprovida de qualquer senso lógico e representa nada mais do que uma das muitas e fascinantes armadilhas lógicas da obra de Carroll. Um dos pioneiros do chamado *nonsense* da literatura inglesa, o escritor também foi um talentoso matemático que permeou suas obras - mais particularmente a estória da pequena Alice - com jogos de lógica, charadas e referências a fatos e pessoas da época.

Talvez seja isso que nos falta:

uma memória realmente boa, que nos permitisse lembrar as coisas do futuro. Mas será que gostaríamos de nos “lembrar do futuro”? A vida seria suportável se não houvesse a incerteza do amanhã? É claro que nossa primeira resposta seria dizer “sim”, afinal, oráculos e previsões sempre tiveram um forte apelo. Mas tal-

¹ - Trecho retirado da obra *Alice através do espelho*, de Lewis Carroll.

Leibniz acreditava que o tempo era uma sucessão de eventos ligados por uma cadeia de causalidade.

vez não tenhamos que ir muito longe para buscarmos uma resposta a esta pergunta, pois em algum momento de nossas vidas, já tivemos a sensação muito próxima daquilo que seria lembrar-se do futuro. Trata-se do famoso (já visto), um fenômeno inesperado em que, à medida que vivenciamos uma situação, temos a nítida impressão de que já vimos aquilo antes e sabemos de antemão, com uma fração de segundos de antecedência, o que vai acontecer. É como se o futuro fosse se abrindo, sem incertezas, para nós.

O déjà-vu é conhecido da ciência. Recentemente, porém, os neurologistas conseguiram identificar uma nova patologia, na qual pacientes vivem em contínuo estado de *déjà-vu* (neste caso fala-se de um *déjà vécu*, ou já vivenciado). A pessoa acometida crê que cada dia é exatamente igual ao outro, uma vez que já sabe de antemão o que vai acontecer. Essa síndrome é o que mais próximo temos na vida real do interessante filme *O feitiço do tempo* (no original *Groundhog day*, 1993), no qual o ator Bill Murray vive um repórter que sempre lembra no mesmo dia. A explicação científica mais aceita, embora ainda não comprovada, é que nosso cérebro processa o fato já acontecido (de maneira inconsciente) antes do que os nossos outros sentidos. Assim, quando o cérebro processa a imagem e som do fato vivenciado, ele já ocorreu e assim temos a sensação de estar lembrando algo que já passou.

Sem dúvida, somos aquilo que somos porque temos memória. Sem ela não seríamos nada: não nos lembraríamos das nossas ligações afetivas, de nossa história, de nossos costumes e de nossa língua. A comunicação com nossos semelhantes não seria possível se não tivéssemos registrado em nossos cérebros não apenas nosso idioma como uma série de condutas éticas de convívio em sociedade. Mas a memória só trabalha em uma direção: a do passado. Intimamente ligada a essa propriedade está a questão do tempo e da irreversibilidade dos fenômenos na natureza. O passado não volta, quer queiramos ou não. A aparente dicotomia passado-futuro, colocada de forma tão clara na obra de Carroll, é uma questão que tem intrigado físicos e filósofos há séculos. Para o filósofo J.M.E. McTaggart, o tempo é irreal e só existe na nossa mente. Mas o que diz a ciência?

Aprendemos com Albert Einstein que há uma íntima conexão entre tempo e espaço. Porém, em se tratando de espaço, podemos ir para frente e para trás, para cima e para baixo, para a esquerda e para a direita, em cada uma das três possíveis direções (nós, físicos, falamos em dimensões). O tempo também é mais uma dimensão e, por isso, fala-se hoje não de “espaço”, mas de “espaço-tempo”. Não se trata de um jogo de palavras ou apenas uma questão técnica; usamos o tempo nas nossas equações, podemos medi-lo com grande precisão, mas ainda, entre as muitas grandezas que conhecemos na Física, o tempo

ainda nos parece ser a mais elusiva.

Se me perguntassem o que é o tempo, eu responderia, como físico, de uma maneira por nós chamada de “operacional”. Um exemplo: se nos perguntarmos o que é massa, provavelmente nos lembraremos (alguns com certo desconforto) das aulas de Física da famosa Segunda Lei de Newton. Esta lei diz que a aceleração de um corpo é proporcional à força que sobre ele atua e inversamente proporcional a sua massa³. Quando maior a massa, maior a força que precisamos fazer; motivo pelo qual motores de navios são muito mais potentes do que os dos automóveis.

Essa definição de massa é chamada “operacional” porque pode ser quantificada em termos de outras grandezas mensuráveis - a força e a aceleração - por meio de uma operação de medida. Embora não seja possível dizer o que realmente é massa e qual sua essência, todos concordaríamos que a massa é uma medida da quantidade de matéria de um corpo, e essa é a explicação mais usual e a que normalmente ouvimos, mesmo que do ponto de vista científico não seja muito útil.

Com o tempo ocorre a mesma coisa. Podemos definir o tempo como o parâmetro que descreve a mudança de um sistema a partir de um estado. Costumamos falar de *evolução* do sistema, embora a palavra *evolução* encerre em si uma idéia preconcebida de algo que ocorre no tempo. Isso, porém, é mais uma vez uma definição “operacional”



do tempo. Nossos próprios relógios trabalham utilizando essa definição, pois no fundo qualquer cronômetro toma o movimento repetido de algum sistema (algo que vai e volta ao mesmo lugar) para calcular uma fração de tempo. Primeiro, os seres humanos utilizaram o movimento dos astros, que passado um período retornavam à mesma posição inicial (o calendário solar ou lunar). Depois, para tempos mais curtos,

Na Física, o tempo é quantificado e mensurável. Assim, é possível percorrer qualquer uma das três dimensões, como se usássemos um controle remoto

2 - Pacientes que sofrem da síndrome de déjà-vécu apresentam um funcionamento anormal dos lóbulos temporais do cérebro.

3 - Em outras palavras, $F/m = a$ onde "F" representa a força, "m" a massa e "a" a aceleração.

A maioria dos fenômenos naturais é irreversível no tempo: o leite derramado não volta sozinho ao copo

vieram as ampuhelas até chegarmos ao movimento de um pêndulo. Hoje, a maioria dos relógios usados no dia-a-dia utiliza as vibrações muito precisas de um quartzo. Se quisermos algo muito mais preciso, temos que recorrer aos relógios atômicos (utilizados, por exemplo, nos satélites GPS, que necessitam de uma precisão muito além daquela de nossos simples relógios).

Mas, novamente defini o tempo em termos da evolução de algo. Parece que para defini-lo tenho sempre que recorrer à outra palavra que na verdade já carrega em si uma idéia preestabelecida

do que seria um tempo. Será possível entender o tempo e o fato dele andar numa só direção sem utilizar outras definições que implicitamente já encerram a idéia de um tempo? Ele existe independentemente de o observarmos, ou seria o tempo algo que depende, de alguma maneira, de nós? Ele flui porque nossa consciência, com a qual o percebemos, se modifica? Seria, assim, o fluxo do tempo algo *subjetivo*?

Para o filósofo Leibniz, um dos grandes gênios universais⁴, o tempo era a sucessão de eventos ligados por uma cadeia de causalidade, ou seja, perce-

A QUESTÃO DA IRREVERSIBILIDADE NA FÍSICA

Como nós, físicos, entendemos, hoje, o fato de que o passado não pode voltar? O grande físico austríaco Erwin Schrödinger (1887-1961) disse, ao se referir a um dos maiores físicos do século XIX, o também austríaco Ludwig Boltzmann (1844-1906), que a maior contribuição deste à ciência tinha sido mostrar que aquilo que nos parece impossível, na verdade, é apenas infinitamente improvável. Schrödinger se referia à explicação que Boltzmann dera à famosa segunda lei da Termodinâmica, que nos diz que a maioria dos processos naturais são irreversíveis no tempo.

A Termodinâmica, um dos pilares da Física, é a área que se ocupa dos fenômenos naturais que ocorrem

devido à temperatura e ao calor. A primeira lei da Termodinâmica diz que calor é uma forma de energia. A segunda, diz simplesmente que o calor sempre flui naturalmente do corpo mais quente para o mais frio (na geladeira ocorre o contrário, mas lá o fluxo não ocorre naturalmente, pois o motor “força” o calor a fluir no sentido contrário ao natural). Uma outra maneira de expressar a segunda lei da Termodinâmica é dizer que a maioria dos fenômenos da natureza é irreversível no tempo: um ovo cozido não pode ser descozido, o leite derramado não volta sozinho à panela. Embora essa maneira de expressar a segunda lei pareça não ter qualquer relação com o calor, na

verdade elas são a mesma coisa.

O grande dilema que essa lei representou para a Física do século XIX foi: se as grandezas termodinâmicas, como a temperatura, nada mais são que grandezas mecânicas das moléculas – neste exemplo uma medida da energia de movimento das moléculas – como explicar a irreversibilidade se as leis mecânicas são reversíveis?

A brilhante solução de Boltzmann para esse problema envolve duas questões. Primeiro, que os objetos do nosso dia-a-dia são formados por um número gigantesco de moléculas e, embora o movimento de cada um seja mecanicamente reversível, quando em conjunto a probabilidade de que todos eles espontaneamente

bemos um fluxo do tempo porque uma causa gera um efeito. Sem causalidade não há fluxo de tempo. O princípio da causalidade, que pode nos parecer, à primeira vista, nada mais que simplesmente “chover no molhado”, é um dos mais importantes princípios da Física. Quando Einstein mostrou, em 1905, com a sua Teoria da Relatividade, que o conceito de simultaneidade (duas coisas acontecem ao mesmo tempo) depende do estado do observador, o mundo veio abaixo. Afinal, o que para mim acontece simultaneamente, para o leitor pode ocorrer em tempos diferentes, caso ele

se mova em relação a mim. Para fins práticos, esse efeito da “relatividade” da simultaneidade é desprezível no nosso dia-a-dia, motivo pelo qual não tomamos conhecimento dele.

Mas isto traz uma outra questão: é possível voltar ao tempo? Se a relação temporal entre dois eventos depende do observador, seria possível nos movermos de um jeito tal que, para alguém parado, o evento A ocorre antes de B e para nós o B

4 - Acerca de Leibniz e sua obra, veja meu artigo *O cientista filósofo*, na edição 4 desta publicação.

revertam seu movimento é ínfima. A isso, se soma uma questão de ordem e desordem, em outras palavras, daquilo que os físicos chamam de Entropia. Um exemplo prático: se me perguntarem qual a probabilidade de num sorteio da megasena sair os números 3, 11, 14, 23, 32 e 48 eu diria que é muito pequena, pois há várias possíveis combinações de números. Agora, se me perguntarem qual a probabilidade de ganhar jogando 1, 2, 3, 4, 5 e 6, direi que é a mesma que jogando a primeira seqüência: as chances são exatamente iguais nos dois casos. O problema é que vemos, na segunda, uma ordem, um significado, ao passo que na primeira não. Por isso nos parece que a segunda é menos provável,

quando na verdade não é.

Para a natureza não há diferença entre seqüências do tipo 1, 2, 3, 4, 5, e 6 e 3, 11, 14, 23, 32 e 48. Transportando essa idéia para Física, o que Boltzmann mostrou é que embora o leite derramado possa voltar à panela sozinho, a probabilidade que isso ocorra é tão ínfima que nunca ninguém viu acontecer. A analogia com o exemplo acima é clara: o leite derramado corresponde a uma seqüência que para nós parece desordenada (e há um grande número delas) e o leite na panela a uma seqüência ordenada (há poucas delas). Assim as coisas não se desfazem não porque são impossíveis, mas porque são altamente improváveis.



Para Kant, o tempo é uma das pré-condições de todo o conhecimento humano, tido como uma categoria *a priori*

ocorre antes do A? Haveria alguém, em algum lugar do nosso vastíssimo universo, que pudesse ter presenciado nosso nascimento antes de nossos pais? Para se livrar deste paradoxo lógico, Einstein colocou o Princípio da Causalidade como um dos postulados fundamentais das leis da Física. Nada que tenha uma relação causa-efeito pode ter a ordem invertida. Poderíamos imaginar assim – ao menos imaginar

– um universo em que nada dependesse de nada: nenhuma causa e, portanto, nenhum efeito. Segundo Leibniz, então, não haveria mais tempo.

Mas o que pensava o outro grande filósofo do século XVIII, o alemão Immanuel Kant? Ao escrever a primeira de suas *Críticas* com o *objetivo*, entre outros, de dar à Mecânica de Newton e à Geometria de Euclides um arcabouço filosófico, Kant se envolveu intensa-

O UNIVERSO DE GÖDEL

A maneira como o tempo e o espaço estão estruturados no nosso universo é o tema de uma das mais belas teorias físicas já criadas: a Teoria da Relatividade Geral de Einstein. Sua comprovação, por meio de experimentos e observações, garante sua aplicabilidade e veracidade. A Teoria da Relatividade Geral é a teoria subjacente a toda Cosmologia, o estudo de nosso universo. Assim, se quisermos entender as galáxias e buracos-negros, é pela teoria de Einstein que devemos começar.

A teoria de Einstein pode ser resumida basicamente numa equação – a chamada Equação de Einstein – que nos diz como as distâncias se comportam e, uma vez que o tempo e o espaço estão intimamente relacionados, devemos entender por distância a chamada distância no espaço-tempo. Colocando, de maneira simples, quando um evento A (por exemplo, uma explosão de fogos de artifício) e um evento B (nós, obser-

varmos essa explosão) ocorrem, a distância no espaço-tempo pode ser interpretada como aquilo que entendemos por distância entre A e B (em metros ou quilômetros) acrescida de um termo que leva em conta o tempo que a luz leva para chegar de A até B.

Como muitas equações matemáticas, a Equação de Einstein admite várias soluções, que são chamadas pelos físicos de *universos*. Mas o que faz uma solução, ou seja, um particular *universo*, melhor ou mais apropriado que o outro? A resposta é simples: as propriedades da solução devem ser condizentes com aquilo que os astrônomos e astrofísicos sabem acerca do universo onde vivemos. *O universo de Gödel* é uma solução da Equação de Einstein que Kurt Gödel descobriu em 1949.

Gödel é um dos últimos grandes cientistas-filósofos que viveram, e sua obra tem forte componente filosófico. Seu interesse na Teoria de Einstein não se deve apenas a sua profunda amizade

com Einstein, mas a seu profundo interesse em entender a essência do tempo. A propriedade mais interessante *do universo de Gödel* é que nele o tempo não tem um sentido objetivo, ou seja, é aquilo que os filósofos chamam de *ideal*: trata-se simplesmente de uma ilusão de nossas mentes e não corresponde a uma realidade externa. Assim, embora os fãs da ficção científica possam sentir-se atraídos pelo universo de Gödel, pois nele seria possível viajar no tempo, na verdade o próprio tempo deixa de ter uma existência concreta e passa a ser apenas algo que existe em nossas mentes. Gödel não estava interessado em viagens no tempo, e sim em sua filosofia idealista do tempo – que ele tomou emprestado do filósofo J.M.E. McTaggart, autor de um importante estudo chamado *A irrealidade do tempo*. Tudo nos leva a crer que *o universo de Gödel* efetivamente não é o universo no qual vivemos, mas, como Gödel afirmou, talvez ele exista em algum lugar.



mente com essas questões, em particular com o tempo e fez uma grande descoberta: a propriedade mais fascinante do tempo é o fato de que ele flui, ou seja, é algo dinâmico. Isso todos nós sabemos, mas explicar essa “fluidez” utilizando nossos sentidos é bastante difícil. Sentimos o espaço pelo tato e pela visão, quer dizer, o experimentamos por meio das nossas sensações.

Santo Agostinho também

tentou associar à passagem do tempo um sentido além dos nossos usuais (audição, tato etc.) em suas célebres *Confissões*, porém, não teve sucesso. Já Kant disse: “O tempo nada mais é do que a forma do sentido interno, ou seja, da contemplação do nosso próprio ser e de nosso estado interno... e justamente por não se apresentar sob qualquer forma, procuramos suprir esta falta buscando analogias... pois o tempo, que não é

objeto de nossas contemplações exteriores [quer dizer, de nossas impressões obtidas por meio dos sentidos] e não o conseguimos imaginar de outra maneira que não o imaginando como uma linha no espaço, estende-mo-lo infinitamente. Sem essa representação simplesmente não conseguimos reconhecê-lo”. Em outras palavras, Kant mostrou que existe aquilo que os filósofos, hoje, chamam de tempo *subjetivo*. O tempo da ciência, dos nossos relógios, de nossos aparelhos, é o chamado tempo objetivo. O tempo seria para Kant (como também o espaço) uma das pré-condições de todo o conhecimento humano, o que ele chamava de uma categoria a priori. Talvez o mais instigante resultado físico acerca do tempo é aquele estudado pelo matemático Kurt Gödel, grande amigo de Einstein. Gödel mostrou rigorosamente – quer dizer, matematicamente – que é possível haver, segundo as leis da Física,

O problema está em querer entender o tempo por analogias, da mesma maneira que se aprende uma língua estrangeira comparando com a própria

um universo onde o tempo é uma ilusão e, assim, as viagens por ele seriam possíveis (veja quadro *O universo de Gödel*).

Para nós, como para Kant, é muito difícil imaginar qualquer coisa que não exista no espaço e no tempo. Os objetos são por nós percebidos por aquilo que ele chamou de impressões sensíveis – talvez um termo mais coloquial seria dizer simplesmente “sensações”. Para o filósofo, o problema é que queremos entender o tempo em termos de analogias, da mesma maneira que tentamos aprender uma língua estrangeira comparando-a com nossa própria para sabermos onde há semelhanças e diferenças.

Nós temos um “sentido” interno para o tempo, que é a pré-condição para que possamos vivenciar o universo, da mesma maneira que temos os outros sentidos para experimentar o ambiente ao nosso redor. Parece, então, haver duas coisas diferentes. O tempo da ciência e o tempo da Filosofia. Assim, podemos concluir que nossa incapacidade de lembrarmos do futuro é um problema intrínseco do nosso ser enquanto para a natureza não haveria esta limitação? A possível resposta a essa pergunta é: se nós, como humanos, nada mais somos do que um organismo sujeito às leis da natureza, então, as leis que se aplicam a ela também devem se aplicar a nós. Hoje, a Física entende o porquê de não ser possível voltar no tempo: além do princípio da causalidade, há a questão da irreversibilidade, essa última intimamente relacionada à origem de nosso universo (veja quadro *A questão da irreversibilidade na Física*).

Assim, as coisas não voltam – no sentido de se desfazerem – pois estão ligadas por uma relação de causa e efeito (é impossível nascermos antes de nossos pais, por exemplo) e da tendência do universo como um todo de ir para um estado que nós chamamos de mais desordenado. Para que possamos entender tudo isso, não devemos nos esquecer que a abstração de um universo onde os eventos não estariam ligados por uma relação de causa e efeito não passa de uma abstração. Nós interagimos com o ambiente ao nosso redor e sofremos influências dele. Estamos, assim, presos ao eterno ciclo de evolução do universo, pois somos parte dele. A ciência nos leva para essa direção.

Agora, a maneira pela qual percebemos o tempo é outra questão. A ciência da memória e, principalmente, da consciência, não obstante os grandes progressos dos últimos anos, ainda estão dando seus primeiros passos para entender esse que talvez seja o maior desafio científico que já se colocou à nossa frente: a mente humana. Mas não devemos nos deixar frustrar se o número de perguntas ainda é grande quando comparado com o número de respostas, pois é justamente esse nosso desconhecimento de muitas coisas na natureza que nos impele no sentido de tentar entendê-la e nos permite ter esperança de que um dia, com nossas descobertas, poderemos melhorar não apenas como pessoas, mas também como sociedade. ●