



## A questão do tempo no ensino de ciências

**João Bernardes da Rocha Filho**  
FAFIS/PPGEDUCEM/PUCRS

**Brasil**

jbrfilho@pucrs.br

**Regis Alexandre Lahm**  
FFCH/PPGEDUCEM/PUCRS

**Brasil**

lahm@pucrs.br

**José Luís Schifino Ferraro**  
FABIO/PPGEDUCEM/PUCRS

**Brasil**

jose.luis@pucrs.br

### ABSTRACT

Changes in the natural scene occur in a march that follows the common sense, which lead to the development of knowledge starting in a block of initial conditions and produce the emergence of which are basically temporal scientific models. In science education that notion is not questioned, and our students conclude your high education with the most common perspective of time, hindering subsequent new questions. However, there are many possibilities for understanding the temporal sense, and science teacher should know that exists and can use it to science teaching improvement, because the time have high potential to interest the students. How many and what are the possible times? Some of them are more believable than others? These and other questions guided the writing of this essay, which aims to equip the teacher to bring this fundamental question of science and life.

**Keywords:** Notion of time. Temporality. Causality. Science education.

### RESUMO

As mudanças no mundo natural seguem a marcha do senso comum, o que permite prever o desenrolar das situações, oportunizando o surgimento dos modelos científicos, que são basicamente preditivos e temporais. Na educação em ciências essa noção não é questionada, e os estudantes permanecem com o senso comum de tempo enraizado em seus espíritos, obstaculizando indagações posteriores. Mas, há muitas possibilidades para o entendimento da noção temporal, e o professor de ciências pode conhecê-las e utilizá-las no aprofundamento deste tema, que tem elevado potencial de interessar os estudantes. Quantos e quais são *os tempos* possíveis? Algum deles é mais verossímil que os outros? Estas e outras perguntas nortearam a escrita deste ensaio, que objetiva instrumentalizar o professor para que traga essa questão fundamental da ciência e da vida para a discussão.

**Palavras-chave:** Noção de tempo. Temporalidade. Causalidade. Ensino de ciências.

### A UTILIDADE DE ABORDAR O TEMPO NO ENSINO DAS CIÊNCIAS

O tempo é uma grandeza fundamental do Sistema Internacional de Unidades de Medida (SI), e todas as ciências utilizam esta grandeza nas descrições dos fenômenos, incluindo-a em seus modelos. No entanto, exceto para a Teoria da Relatividade e para a Física Quântica o tempo é reconhecido como uma variável independente, um fluxo de algo etéreo que delimita o instante presente do passado e do futuro. Sua natureza jamais é discutida no âmbito do ensino das ciências.



Incluir a pauta da natureza do tempo no ensino das ciências, porém, pode ser uma atitude educativa favorável, pois a noção de tempo é um tema aglutinador de interesses, já que se relaciona a todas as áreas da vida. Ao explorar a natureza do tempo, os professores das áreas das ciências podem atrair estudantes cujos interesses estejam voltados à filosofia, à música, à literatura, à poesia, ao cinema e ao teatro, e até às ciências sociais e tecnológicas, incluindo a computação, a internet, os sistemas operacionais e os jogos. Tudo está intrinsecamente relacionado ao tempo.

Na física, a mecânica estatística é a área que mais se relaciona ao tempo, embora trate de tendências macroscópicas derivadas de partículas em movimento aleatório, o que em si nada tem a ver com o tempo ontológico. O tempo é uma noção cotidiana que integra a descrição física da realidade por uma única razão: tudo muda em etapas que se sucedem como alterações infinitesimais, em uma taxa que a ciência assumiu uniforme. Esse tempo cotidiano é definido e medido por comparação com o número de repetições de eventos periódicos estáveis, e nisso reside a fragilidade do método, intrinsecamente redundante. Neste ensaio são discutidas as razões desta fragilidade e como isso conduz à conclusão de que o tempo pode ser uma entidade fictícia, não imanente, mental, em parte inconsciente mas epistemologicamente necessário.

Para chegar a esta conclusão o ensaio discute diferentes aspectos do tempo, com os quais este se apresenta a observadores distintos, em situações particulares que variam conforme a preocupação de quem o investiga. De posse desses conhecimentos o professor poderá apresentar uma ciência mais contextualizada, relativizando aspectos que até então foram tratados como absolutos, desviando brevemente a atenção dos conteúdos formais em favor das questões de base do conhecimento sobre a natureza das coisas, despertando curiosidade e interesse em seus alunos.

## O TEMPO ENTRÓPICO, DA TERMODINÂMICA

Um fenômeno entrópico ocorre com perfumes, cujas moléculas se encontram confinadas no recipiente que os contém concentradas, no estado líquido, e a partir dali podem se espalhar por uma sala, bastando que o recipiente seja aberto. Esse fenômeno se denomina *difusão*, e se manifesta como uma tendência termodinâmica para a uniformização da concentração das substâncias. Assim, se um recipiente de perfume está aberto em um quarto hermético, eventualmente o perfume irá evaporar do frasco e se disseminar pelo quarto, mas não é provável que esse processo se reverta naturalmente. Esse fenômeno estabelece, portanto, uma *ordem* para os eventos: *antes*, o perfume estava concentrado em seu recipiente, e *depois*, estava difundido no ar do quarto.

Da ordenação derivada da evaporação de um perfume surgem modelos científicos preditivos, e a ordem *antes-depois* parece *natural e irreversível*, levando-nos a considerar que o tempo possui existência ontológica, como pensam Pereira (1997) e Wainberg (1977). Porém, um fenômeno probabilístico não constitui fundamento sólido para o estabelecimento de ontologias, pois seu caráter universal pode ser questionado. A imanência de uma entidade física como o tempo precisa ser demonstrada de maneira mais substancial do que é possível a partir do recurso a fenômenos aleatórios, sendo incapaz de constituir-se como base de uma ontologia consistente. Parece que a conclusão de *Kant*, de que o espaço e o tempo são propriedades subjetivas dos sentidos, e não objetivas, das coisas, se mantém apesar da termodinâmica.

Ocorre que a noção de tempo derivada da difusão está associada à movimentação aleatória de um número grande de moléculas, e segue uma lei estatística enunciada por *Boltzmann*, em seus estudos teóricos sobre o comportamento dos gases, entre 1872 e 1896. Boltzmann percebeu que os processos gasosos sugeriam uma assimetria na passagem do *tempo natural*, e a teoria cinética dos gases levou o



cientista a concluir que o *fluxo do tempo* se associava à redução da ordem em sistemas isolados, ou aumento da *entropia*: uma conclusão que influenciou profundamente a física do século XX. Este é o entendimento paradigmático da física moderna, como supõe Hawking (1988, 1997).

A entropia é uma grandeza física relacionada ao calor, e seu valor máximo para determinado sistema fechado corresponde ao estado de equilíbrio termodinâmico, ou seja, uma situação na qual é impossível a realização de trabalho por intermédio de uma *máquina térmica*<sup>iv</sup>. Além disso, a *segunda lei da termodinâmica* estabelece que os sistemas fechados, ou isolados, inevitavelmente marcham para a máxima entropia. Essa tendência condena os sistemas isolados a uma espécie de *morte térmica*<sup>v</sup>, pois sem diferença de temperatura deixam de existir os motores térmicos. Em acréscimo, a irreversibilidade natural da entropia delimita uma assimetria na natureza, pois associa-se ao sentido da passagem do tempo, do passado para o futuro, e nunca o contrário.

Porém, não está claro se a lei boltzmaniana do aumento da entropia para sistemas fechados pode ser extrapolada ao universo como um todo, primeiramente porque não existem observações que justifiquem a proposição de um universo fechado, e também porque os *buracos negros*<sup>vi</sup>, a *matéria e energia escuras*<sup>vii</sup> e outros fenômenos ou entidades cosmológicas ainda desconhecidas podem ser mecanismos naturais de redução de entropia, em oposição à suposição termodinâmica clássica. Ademais, a física não está completa, como demonstram as falhas nas tentativas de *unificação das forças fundamentais*<sup>viii</sup> e a constatação da expansão acelerada do universo, que vem sendo atribuída à ação de uma energia desconhecida cuja influência parece dominar o cosmos. Por isso, não está afastada a hipótese de que mecanismos desconhecidos possam ser capazes de realizar a reciclagem térmica, tornando a energia disponível para a realização de trabalho em ciclo indefinido.

Assim, supondo que a irreversibilidade da ampliação da entropia não seja universal, fica comprometida a tese de que a tendência entrópica é uma evidência a favor de um tempo objetivo. Pode ser possível afirmar que um tempo local tem o sentido antes-depois *porque ali a entropia sempre aumenta*. Mas a extrapolação dessa constatação para o universo inteiro é temerária, pois demanda uma formulação lógica até hoje não realizada, como mostra Mills (1994).

## O TEMPO CRONOLÓGICO, OU DOS RELÓGIOS

A ciência nunca mediu o tempo, mas associou a *passagem* do tempo à contagem de ciclos oscilatórios estáveis ou à velocidade da luz. Desde o transcorrer dos dias e noites, passando pelos pêndulos e chegando a emissões de césio, sem esquecer os balancins dos relógios mecânicos clássicos, os masers, o rubídio, o hidrogênio, os pulsares, e aquele que é atualmente o mais comum de todos: o cristal de quartzo. Então, ao medir a duração de um fenômeno demarcado por dois instantes em uma sequência de eventos, simplesmente são contados quantos ciclos de um oscilador se completaram durante o processo. É este número de oscilações que a ciência chama *intervalo de tempo*. Mas, se o tempo é este número, por que atribuir-lhe uma existência até *mais real* do que a das demais grandezas físicas, elas mesmas entidades abstratas dos modelos atuais?

De fato, o tempo parece *mais real*, pois essa noção dá lastro a uma grandeza fundamental do SI e permeia as demais. Tudo é relacionado ao tempo de forma tão intensa que Ilya Prigogine<sup>ix</sup>, acreditando na sua irreversibilidade, chegou a referir-se ao tempo como sendo precedente a todas as demais entidades do universo. Apesar disso, o aspecto fluido da noção de tempo conduz à impressão de que se tem em mãos uma abstração metafísica exclusivamente mental, até mais etérea que a noção de quantidade matemática, pois desta é possível derivar verdades cujo valor é inegável em seu contexto. Para o tempo, porém, não há experimento ou demonstração formal que lhe atribua realidade, e nem



sequer é possível provar-lhe o suposto fluxo. Em que pese o senso comum, que afirma veementemente sua existência, o tempo físico pode não ser mais que uma crença científica. Como indaga *Paul Davies*<sup>xv</sup> (1999, p. 340) sobre o mesmo tema, “... que realidade pode ser atribuída a um fenômeno que nunca pode ser demonstrado experimentalmente?”.

Não se nega a ocorrência de transformações, a ordenação dos eventos não caóticos ou a aplicação da lógica formal à causalidade comum, mas sim que a mudança inerente ao mundo fenomênico implique necessariamente um tempo ontológico. Ao que parece, o tempo pode ser uma produção puramente mental, cuja função pragmática de ordenar as observações é realizada a contento sem a concorrência de qualquer imanência. O caráter insuspeito do tempo do senso comum, no entanto, às vezes usado em comprovações tautológicas de sua existência real, declara apenas uma veicidade. O tempo sequer pode ter sua consistência fundada, por analogia, no problema filosófico medieval dos *universais*<sup>xi</sup>, pois os universais têm a seu favor a materialização das unidades que constituem seus indivíduos, enquanto do tempo sequer é possível materializar uma unidade, pois que o instante também é imaterial. Em termos radicais, um conjunto de imaterialidades não pode constituir uma materialidade, assim como o tempo não pode ser o universal de qualquer conjunto de instantes. Como entende Novello (1997), o tempo é circular.

## O TEMPO TECNOLÓGICO, MATEMÁTICO E ABSOLUTO

Historicamente, a necessidade da medição precisa do tempo se acentuou com as grandes navegações e o trabalho assalariado, resultando no desenvolvimento de relógios melhores que os baseados nos fenômenos astronômicos, ampulhetas, clepsidras e velas. Assim, antes do surgimento dos relógios atuais, a percepção do tempo foi vinculada às mudanças que aconteciam em dado objeto ou sistema, e nada havia nele de universal. O tempo, como grandeza física independente e de fluxo perfeito, surgiu na ciência com *Galileu*<sup>xii</sup>, idealizador da utilização do movimento pendular como fonte de compasso para a construção de relógios. Os relógios, antes de Galileu, eram baseados no freio dinâmico de polias, sendo susceptíveis a grandes erros, indicando só aproximadamente o transcurso das horas. Assim, a partir da elevação do conceito do tempo a um patamar tecnológico, *Isaac Newton*<sup>xiii</sup> idealizou um esquema conceitual de sucesso, culminando com o modelamento dos fenômenos naturais relevantes, usando para isso um tempo *matemático*.

A ciência assumiu o tempo matemático e independente newtoniano, no contexto determinista radical, pelo menos até 1905, quando a *Teoria da Relatividade Restrita*<sup>xiv</sup>, de *Einstein*<sup>xv</sup>, foi apresentada aos cientistas. A Relatividade pôs fim à ideia de um tempo absoluto, pois permitiu prever que a *passagem* do tempo poderia ter compasso diferente para observadores situados em diferentes sistemas de referência, conforme seus estados de movimento ou da aceleração da gravidade a que estivessem submetidos. A teoria einsteiniana é paradigmática e contribui para a fragilização da hipótese de um tempo ontológico, tendo basicamente três tipos de comprovações experimentais envolvendo: a) o aumento do tempo de vida de partículas microscópicas em alta velocidade; b) a redução na frequência de oscilação de bases de tempo atômicas ou piezoelétricas colocadas em aviões e satélites, e; c) a curvatura de raios de luz por ação gravitacional.

No entanto, ainda que a Teoria da Relatividade venha a se mostrar incompleta ou equivocada isso não recolocará o tempo em uma condição de independência ou constância, pois há cientistas que consideram que o fenômeno da flexibilidade do fluxo do tempo pode ser compreendido até mesmo sem o apelo à Relatividade, como Santos (1998) e Harvey<sup>xvi</sup>, por exemplo, que sugerem que a alteração relativística do tempo pode ser explicada pela consideração do aumento da densidade de energia das partículas e corpos envolvidos. A alteração da frequência de oscilação dos circuitos eletrônicos de



relógios em órbita terrestre seria, assim, modificada pela alteração da massa (inércia) dos elétrons oscilantes, o que produziria a mesma correção prevista pela Relatividade. Por isso, Davies também afirma que:

*[...] só existe uma conclusão racional a extrair da natureza relativa da simultaneidade: os eventos no passado e futuro têm que ser exatamente tão reais como os eventos no presente. De fato, a própria divisão do tempo em passado, presente e futuro parece fisicamente sem sentido. Para acomodar os agoras de todo mundo [...] os eventos e momentos têm de existir todos juntos através de uma extensão no tempo. (Davies, 1999, p. 92)*

Sendo o tempo inconstante, susceptível a fenômenos gravitacionais, dinâmicos e cinéticos, sua permanência no rol das entidades físicas de primeira grandeza do SI sugere certa cautela quanto à precisão da descrição física dos eventos. Essa fragilidade, embora não chegue a afetar visivelmente eventos macroscópicos do cotidiano, mostra-se em certos experimentos realizados com partículas de luz (fótons), elétrons e partículas alfa (núcleos de átomos de hélio).

## O TEMPO DUVIDOSO, DO EMARANHAMENTO QUÂNTICO

Há certos fenômenos para os quais, dependendo do modelo teórico utilizado, a noção do transcorrer do tempo deixa de fazer sentido, como ocorre com a reflexão parcial da luz em lâminas de vidro transparente. Sabe-se, pela experimentação, que uma parte da luz que incide em uma lâmina de vidro atravessa-a, enquanto outra parte é refletida com o mesmo ângulo de incidência. Justamente isso faz com que uma pessoa consiga enxergar sua imagem sobreposta à paisagem, ao olhar através de uma janela de vidro, especialmente se a luminosidade interna for intensa. O modelo desse fenômeno, aparentemente simples, quantifica a parcela da luz incidente que é refletida e a parcela que é refratada, em uma relação que depende da espessura da lâmina de vidro.

Como a luz apresenta um comportamento duplo, surgindo nas descrições às vezes como partícula e às vezes como onda, um cientista pode realizar um experimento instalando dois sensores capazes de contar tanto os fótons que atravessam a lâmina de vidro como os que são refletidos. Apesar de não ser previsível se um fóton individual irá atravessar ou ser refletido, porque eles têm comportamento aleatório, a proporção entre o número de fótons refletidos e refratados depende da espessura do vidro, e é constante para dado arranjo experimental. O resultado deste experimento sugere que a luz é constituída de fótons isolados, porque os dois sensores jamais são acionados simultaneamente, como se a luz fosse composta por entidades individuais. No entanto, há experimentos que sugerem o contrário, levando a crer que a luz é uma onda. A este comportamento duplo a ciência denominou dualidade onda-partícula.

Assim, assumindo-se a característica particular da luz, é razoável presumir que algum fenômeno ou circunstância ocorre quando o fóton se aproxima da superfície de vidro, determinando se aquele fóton específico vai ser refratado ou refletido. No entanto, como essa determinação segue uma proporção que considera a espessura do vidro, pode-se supor que existe um mecanismo mais rápido que o fóton, capaz de obter informação sobre a espessura, retornando-a à partícula no instante em que ela toca a lâmina, ou antes. Mas não existe, como sabemos da Relatividade, qualquer meio de transmissão de matéria, energia ou informação que exceda a velocidade dos fótons, que é a velocidade da luz. Por conseguinte, seria falacioso pressupor um *mensageiro* (uma partícula de troca) que transmita a informação desde a outra superfície do vidro.

Desse experimento emerge a conclusão de que fótons incidindo sobre lâminas de vidro não têm correspondência com experiências macroscópicas, e não pode ser explicado com argumentos do senso



comum. Entre outras interpretações, pode-se presumir que o *fluxo do tempo* não é tão *real* para o fóton quanto é para entidades macroscópicas, ou pode ser que não exista separação entre o fóton e a lâmina de vidro, e ambos formem um sistema. De qualquer modo, a noção de tempo como algo aplicável a fótons sai prejudicado deste experimento.

Outro experimento do século XX, inspirado em uma montagem realizada originalmente por *Young*<sup>xvii</sup>, em 1801, é sugestivo da inexistência ontológica do tempo. Nele, um feixe de fótons, elétrons ou partículas alfa é focalizado em uma placa metálica contendo duas pequenas fendas, formando depois da placa uma figura de interferência em uma chapa fotográfica. As partículas que emergem das fendas interagem de alguma forma, resultando numa figura de interferência na chapa fotográfica. Assim, pode-se imaginar que se a fonte emitir um único fóton, elétron ou partícula alfa de cada vez não poderá surgir uma figura de interferência na chapa fotográfica, pois inexistente a *outra partícula* com quem a primeira interagiria para gerar a figura de interferência. Presume-se, portanto, que uma *única partícula* emitida a cada instante passe por *uma única fenda*, emergindo sozinha desta fenda e sensibilizando a chapa fotográfica em um *único ponto*, sem interferência. Esta única partícula também não pode ser influenciada pela existência ou inexistência de outra fenda além da que ela atravessou, pois seria necessário trânsito de informações em velocidade ultraluminares.

Estranhamente, porém, quando a intensidade do feixe de partículas é reduzido até que apenas uma partícula seja emitida pela fonte, de cada vez, a figura de interferência continua a se formar na chapa fotográfica, e só não se forma quando uma das fendas é fechada ou quando detectores são posicionados sobre as fendas, de modo a informar o observador por qual delas circulou a partícula. Disso surgem muitas perguntas, como por exemplo: Com o quê a partícula interage e produz interferência quando viaja isoladamente? Como a interferência é anulada pelo fechamento de uma fenda se a partícula que atravessa a outra fenda não pode sofrer influência do fechamento porque não viajou na direção do furo fechado? Como a instalação de detectores anula a interferência, se os furos permanecem abertos?

Como ocorre com o experimento da lâmina de vidro, não é coerente imaginar que à partícula esteja associada uma espécie de *senal de radar* mais rápido que a luz, que vasculhe a montagem do experimento detectando a presença de sensores ou dos furos, afinal os fótons já se movem à velocidade da luz, e parece que nada pode ultrapassar essa velocidade. Do ponto de vista da mecânica quântica, o fóton pode ter interferido com *ondas de probabilidade* de suas possíveis trajetórias futuras ou, aceitando a existência de muitos universos, o fóton poderia ter interferido com seu equivalente pertencente a uma realidade alternativa. A hipótese da interferência das múltiplas trajetórias tende a ser paradigmática, nesse momento, mas nem por isso a questão fica compreendida. Em qualquer caso, a noção de um tempo imanente e ontológico se desvanece ante modelos que incluem interferência entre *realidades múltiplas* ou *trajetórias futuras*.

Sem um tempo ontológico seriam anuladas as barreiras que impedem às partículas dos experimentos anteriores reagirem aos obstáculos à frente e, nesse caso, seria plausível compreendê-las como estando *instantaneamente* ligadas. Conclusão semelhante também se pode extrair dos resultados dos experimentos com fótons pareados, de Aspect<sup>xviii</sup>. Tradicionalmente, o experimento de Young é compreendido a partir da dualidade onda-partícula, que submete todo tipo de matéria a uma existência na qual às vezes se manifesta um caráter corpuscular, e às vezes um caráter ondulatório. Assim, permanecem dúvidas sobre como a ciência deve encarar o tempo, que parece não afetar fótons e elétrons em certas situações, apesar do senso comum.



## O TEMPO VIRTUAL, DA MODERNIDADE

O tempo também pode ser compreendido como uma criação da realidade virtual na qual alguns físicos creem que tudo ganha existência. Nessa linha de pensamento, defendida por Deutsch<sup>xix</sup> e Siegfried (2000), inspirada em simuladores e jogos de ação em primeira pessoa, o tempo é uma entidade definida pela capacidade de processamento do universo, e por isso somente tem sentido dentro deste.

A realidade seria, então, o produto do processamento de um computador, e não teria existência objetiva além desse suposto programa de computador que a constrói em tempo real. Assim, a taxa de passagem do tempo virtual varia conforme a velocidade do processador.

Considerando os jogos e computadores atuais, a dificuldade de rodar o mesmo jogo em plataformas com diferentes desempenhos foi superada com estratégias dinâmicas, como a fixação de configurações mínimas de máquina, sem as quais o jogo sequer pode ser instalado, e a modificação da resolução ou da velocidade de atualização dos quadros ou vetores nas imagens geradas nas placas de processamento de vídeo. Mas, muitos dos jogos de uma ou duas décadas exigiam mais processamento do que os computadores medianos de então eram capazes de realizar em tempo real, e isso era percebido pelo jogador como se o tempo do jogo transcorresse mais lentamente, conforme permitia o desempenho do processamento de seu computador. Os jogadores tinham esta percepção apenas porque não estavam verdadeiramente *no jogo*, mas sim operando uma representação sua (um *avatar*) naquele universo virtual. Se o jogador estivesse *dentro do jogo*, como está seu *avatar*, não poderia notar a passagem mais lenta do tempo porque todos os fenômenos que operam naquele universo virtual estariam submetidos ao mesmo ritmo de processamento, inclusive os mecanismos de percepção dos seus habitantes virtuais. Nesse caso, se um desses avatares pudesse olhar a realidade do jogador que controla o computador teria a impressão inversa, mas não menos real, de que o tempo passa mais rapidamente naquele novo mundo que descobriu.

Tudo o que a ciência tem são hipóteses acerca do tempo, pois as experiências sensoriais são virtuais, mediadas pelos sentidos e mecanismos perceptuais do sistema nervoso, tanto quanto são virtuais para os avatares. Não há certezas porque o mundo externo ao *eu* é uma construção mental, uma representação de uma realidade a qual não temos acesso. Os sentidos são a interface do *eu* com o mundo, e as sensações são intermediadas, indiretas. Sobre isso, Deutsch afirma que a

*Imaginação é uma forma direta de realidade virtual. O que pode não ser tão óbvio é que nossa experiência direta do mundo por meio dos sentidos também é realidade virtual. Pois nossa experiência externa nunca é direta [...]. O que experimentamos diretamente é uma representação em realidade virtual, convenientemente gerada para nós por nossa mente inconsciente a partir de dados sensoriais mais teorias inatas e adquiridas, (isto é, programas) sobre como interpretá-los. [...] Mas nunca sentimos diretamente essa realidade. [...] Todos os raciocínios, todos os pensamentos e todas as experiências externas são formas de realidade virtual. (Deutsch, 2000, p. 91)*

Além do acesso direto à realidade ser impossível, dada a mediação dos sentidos, existem evidências de que os próprios sentidos não seriam suficientes para a construção de uma representação fiel de um universo externo, supondo sua existência independente. Pode-se demonstrar experimentalmente que ocorrem percepções de coisas que não têm existência detectável por instrumentos, como acontece, por exemplo, com a sensação das cores das radiações eletromagnéticas com comprimento de onda no *espectro visível*<sup>xx</sup>. Cada cor tem um comprimento de onda característico, que pode ser medido com um espectrorradiômetro. Se, porém, forem projetados simultaneamente sobre um anteparo branco um feixe de luz vermelho sobre um feixe de luz verde, com a ajuda de dois projetores, se produzirá um fenômeno denominado adição de cores, e um observador perceberá uma luz amarela, que não existe senão em sua percepção. Um espectrorradiômetro continuará identificando as duas cores originais, mas



não o amarelo. Vemos, portanto, algo que empiricamente não existe, ou seja, a percepção falha e, por isso, os sentidos não podem ser considerados fontes confiáveis para o modelamento de um universo externo. Pelo menos não se este modelamento for entendido como uma representação fiel do universo.

Outra situação semelhante, porém por subtração de cores, ocorre na impressão colorida em offset, em revistas, outdoors e jornais, onde pontos amarelos e azuis são colocados próximos para produzir a

percepção global de verde, sem que se usem pigmentos verdes. Tanto no caso da adição das cores verde e vermelha, como no caso da subtração das cores amarela e azul, o olho recebe duas ondas eletromagnéticas distintas, mas o observador enxerga apenas amarelo ou apenas verde, respectivamente. Em síntese, o que o observador vê não é mais do que uma representação da realidade. Uma interpretação. Assim, é discutível se os seres humanos podem afirmar ou refutar, com base em suas percepções, qualquer coisa fiável sobre um possível mundo externo. Este, aliás, é o primeiro argumento cético elaborado por Descartes, no século XVII, que continua inabalável.

Além do mais, é teoricamente possível criar ambientes virtuais computacionais regidos por leis exatamente iguais às leis físicas, com duas únicas condições: a) que todas as leis físicas sejam plenamente compreendidas - o que evidentemente ainda não é verdade, e; b) que o mundo criado não seja infinitamente complexo, ou, em outras palavras, que exista um quantum de informação, um pacote mínimo de informação que não possa ser dividido, o que, curiosamente, parece ser verdade no nosso universo. Essa programação poderia exigir muitas mentes e computadores com memórias grandes, mas não seria necessário sequer um supercomputador. Mesmo um pequeno processador poderia criar um ambiente virtualmente idêntico ao mundo natural, desde que tivesse tempo suficiente para construir quadro a quadro essa realidade inventada. E os habitantes desse mundo virtual não perceberiam a construção lenta, pois seu tempo é completamente determinado pela programação e pelo relógio do computador, independente do tempo do programador externo ao processador. Assim, qualquer computador poderia realizar quantidades indefinidamente grandes de processamento entre dois instantes sucessivos do universo virtual, simulando uma realidade arbitrariamente complexa, e os seres deste mundo virtual experimentariam uma existência temporal semelhante em tudo a uma existência real.

O próprio tempo poderia ser uma definição necessária apenas para o mundo virtual, como uma decorrência do processamento da simulação, sendo inexistente no universo do processador/programador, cujo ambiente poderia ser atemporal. O tempo do mundo virtual corresponderia, portanto, apenas à conexão entre elementos sequenciais de movimento, justamente como o fluir da fita perfurada da máquina de Turing<sup>xxi</sup>, ou o relógio em um *processador numérico*<sup>xxii</sup>. Para os avatares, evidentemente, o tempo teria uma natureza controversa, pois pareceria ser diferente de tudo o mais e, no entanto, estaria ligado a todos os fenômenos. Os avatares certamente incluiriam o tempo em uma categoria *a priori* de grandezas físicas fundamentais, composta por entes axiomáticos de sua ciência, dos quais outras grandezas seriam derivadas. O seu tempo estaria representado na descrição científica dos fatos e leis físicas que designam transformações como um índice que define o ritmo com que os fenômenos ocorrem. Claro que essas leis teriam que ser simétricas em relação ao tempo, mantendo-se invariáveis ainda que o fluxo do tempo fosse hipoteticamente invertido, pois sendo este apenas um índice que associa eventos sequenciais não faz sentido entendê-lo como tendo um sentido preferencial. Exatamente como no nosso mundo...



## O TEMPO BIOLÓGICO

A dimensão biológica do tempo é de importância para a compreensão dos fenômenos relacionados à vida, e crucial para que se possa observar a série de modificações orgânicas relacionadas à manutenção da vida. Desde a célula – sua unidade básica – até o organismo – expressão de sua complexidade –, passando por estruturas acelulares, como os vírus, o tempo acompanha as mudanças, sejam elas estruturais ou comportamentais.

Os vírus, por exemplo, têm um tempo necessário à realização de seu ciclo, assim como as células. Divisões celulares, como a mitose e a meiose, e antes delas, os períodos de interfase (preparação

estrutural da célula para essas divisões) demandam um tempo para a auto-organização interna efetuar mudanças essenciais à sobrevivência dos seres. Crescer, regenerar e multiplicar-se são possibilidades que só se tornam realidade a partir do tempo. Tempo para duplicação do material genético do conteúdo celular como um todo, para que possa surgir uma nova célula.

O organismo, por sua vez, constitui-se como local onde melhor pode ser observada a ação do tempo sobre a vida. A evolução biológica é um fato que tem estrita relação com a questão temporal. As modificações que ocorrem na estrutura do material genético (mutações) podem ser a causa da expressão de novas características físicas, fisiológicas ou comportamentais, interferindo assim também na dimensão psicológica do ser. Estas novas/outras características/comportamentos passam a ser expressos em um determinado período de tempo. Quanto mais o tempo passa, maior é a probabilidade de modificação do material genético dos seres vivos, existindo assim uma estreita relação entre o passar do tempo e as modificações que podem vir a ocorrer em seu DNA.

O tempo psicológico, por sua vez, poderia ser compreendido como uma extensão do tempo biológico, mas há controvérsias, pois David Bohm e Jiddu Krishnamurti (1995) entendem que o tempo pertence à mente, e não o contrário.

## O TEMPO E A TOTALIDADE

Concluindo esta reflexão, um fato notável merece atenção: na descrição científica da natureza todas as grandezas fundamentais do SI são temporais. Além do próprio tempo (unidade: segundo), a intensidade luminosa (unidade: candela), a temperatura termodinâmica (unidade: kelvin), a intensidade de corrente elétrica (unidade: ampere), a massa (unidade: quilograma), o comprimento (unidade: metro) e a quantidade de matéria (unidade: mol), são relacionadas à temporalidade. Essa relação é altamente explícita no caso da intensidade luminosa, da temperatura e da corrente elétrica, pois estas grandezas envolvem fluxo, agitação e condução, respectivamente, que remetem ao tempo. Também é explícita a relação da massa e do comprimento com o tempo, pela dependência relativística que ambas mantêm. Menos explícita é a relação entre quantidade de matéria e tempo, porém uma exploração mais íntima da natureza do estado sólido consubstancia essa relação: em sua menor manifestação a matéria emerge na forma de quarks, que não são encontrados isoladamente, mas apenas em estados confinados, em associação com outros quarks. Ora, a associação implica relação, compartilhamento, ou seja, movimento e, portanto, tempo.

Assim, estranhamente, todas as grandezas fundamentais do SI são temporais, e justamente isso pode ser argumento contra a suposta realidade ontológica do tempo. Como pensa Christopher (1993), aquilo que *está em tudo*, na mesma medida pode não *estar em nada*. O tempo, aliás, é o componente do contexto natural que mais possui características mentais, o que pode ser um argumento para atribuir à realidade



uma natureza psíquica. Por isso, Schrödinger (1997, p.164) afirmou que “... a teoria física em seu estágio atual sugere fortemente a indestrutibilidade da mente pelo tempo”. Como não há como descrever o comportamento do tempo sem recorrer a expressões que remetem novamente a ele, numa armadilha circular, o tempo pode ser melhor sentido que compreendido recorrendo-se aos mitos e às artes. Além disso, o tempo nunca foi definido, mas sim reconhecido como um pressuposto *natural e irrecorrível*, ou seja, um axioma, e seu fluxo foi tido como imutável e independente dos demais fenômenos desde os *Principia* newtonianos até Einstein, com sua eletrodinâmica dos corpos em movimento. A partir da Teoria da Relatividade a noção científica de tempo se flexibilizou, mas a ciência não conhece melhor o tempo por isso, e ele continua constituindo um mistério.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Pereira, Alfredo. (1997). Irreversibilidade física e ordem temporal. São Paulo: Unesp.
- Bohm, David; Krishnamurti, J. (1995). A eliminação do tempo psicológico. São Paulo: Cultrix.
- Davies, Paul. (1985). Deus e a nova física. Lisboa: Setenta.
- Davies, Paul. (1994). A mente de Deus. São Paulo: Rio de Janeiro: Ediouro.
- Davies, Paul. (1994). Os três últimos minutos. Rio de Janeiro: Rocco.
- Davies, Paul. (1999). O enigma do tempo. Rio de Janeiro: Ediouro.
- Davies, Paul. (2000). O quinto milagre. São Paulo: Companhia das Letras.
- Deutsch, David. (2000). A essência da realidade. São Paulo: Makron Books.
- Hawking, Stephen. (1988). Uma breve história do tempo. Rio de Janeiro: Rocco.
- Hawking, Stephen. (1997). A natureza do espaço e do tempo. Campinas: Papirus.
- Mills, Robert. (1994). Space, time and quanta. New York: Freeman.
- Novello, Mário. (1997). O círculo do tempo. Rio de Janeiro: Campus.
- Ray, Christopher. (1993). Tempo, espaço e Filosofia. Campinas: Papirus.
- Santos, Horta. (1998). O tempo e a mente. Rio de Janeiro: Nova Era.
- Schrödinger, Erwin. (1997). O que é a vida? São Paulo: Unesp.
- Siegfried, Tom. (2000). O bit e o pêndulo. Rio de Janeiro: Campus.
- Wainberg, Steven. (1977). Os primeiros três minutos do Universo. Lisboa: Gradiva.

---

i Difusão consiste no fluxo autônomo de uma substância de um lugar onde sua concentração é maior para um lugar onde sua concentração é menor. Fenômeno aplicado na dopagem de semicondutores.



ii Filósofo alemão da modernidade, Immanuel Kant (1724-1804) era ligado às ciências naturais e foi fundador do idealismo transcendental, que reconhece que é impossível conhecer a coisa em si.

iii Ludwig Boltzmann (1844-1906), físico austríaco, desenvolveu a mecânica estatística.

iv Máquinas térmicas são sistemas que necessitam de uma fonte quente e uma fonte fria para funcionarem.

v Morte térmica é o nome que os físicos dão a um possível estado final futuro do universo, caracterizado pela máxima entropia e impossibilidade de movimento.

vi Buraco negro é uma singularidade gravitacional, isto é, uma estrela com uma determinada massa e num determinado estágio de desenvolvimento, cuja gravidade não pôde ser equilibrada pelas forças nucleares, colapsando sobre si mesma. Buracos negros têm sido detectados no núcleo das galáxias.

vii Matéria escura e energia escura são entidades postuladas pelos astrofísicos contemporâneos na construção de um modelo capaz de solucionar teoricamente duas questões: a) o problema da diferença entre a massa total e a massa visível do universo, e; b) o problema do afastamento acelerado das galáxias distantes.

viii A unificação das forças fundamentais é o objetivo máximo da física, também chamada de teoria de tudo. A força gravitacional resiste à unificação porque na Relatividade a gravitação não é considerada uma força, mas sim a manifestação da deformação do espaço-tempo.

ix Químico russo, naturalizado belga, ganhador do Prêmio Nobel de química de 1977 e autor de livros sobre o caos e a irreversibilidade dos fenômenos físicos e químicos.

x Paul Davies é físico e escritor de divulgação científica. É professor de Física Teórica, Física Matemática e Filosofia Natural, em Adelaide.

xi O Problema medieval dos Universais envolve a designação genérica dos entes de dada categoria. Neste aspecto da metafísica os filósofos são realistas, conceitualistas ou nominalistas.

xii Galileu Galilei foi cientista italiano do Renascimento. Teve papel na revolução científica pelo uso que fez do método científico, da matemática e da experimentação, em contraposição ao aristotelismo.

xiii Isaac Newton foi um cientista inglês do início da era moderna, considerado por muitos como o maior físico de todos os tempos, idealizador da teoria da gravitação e do cálculo infinitesimal.

xiv A Teoria da Relatividade Restrita considera a inexistência de sistemas de referência absolutos, a invariância da velocidade da luz e a correspondência massa-energia.

xv Albert Einstein foi um físico alemão que revolucionou a ciência ao propor, em 1905, que massa, tempo e espaço são interdependentes, e que a velocidade da luz é incedível.

xvi Bruce Harvey é professor em Londres. <http://users.powernet.co.uk/bearsoft/>

xvii Thomas Young foi um médico britânico que viveu na passagem dos séculos XVIII para o XIX, e deu importante contribuição à física em estudos da natureza da luz e da resistência mecânica dos materiais.

xviii Alain Aspect é físico francês, membro da Académie des Sciences, e realizou uma prova experimental da desigualdade de Bell mostrando que fótons se comportam não-localmente a qualquer distância arbitrária.



---

xix David Deutsch é físico israelense, escritor, especialista em computação quântica e professor da Universidade de Oxford, adepto da teoria do multiverso.

xx Espectro Visível é o conjunto das radiações eletromagnéticas percebidas como luz pela visão humana.

xxi Alan Turing foi um matemático, lógico, criptoanalista e cientista da computação britânico.

xxii Processador numérico designa qualquer chip empregado no processamento computacional de dados.