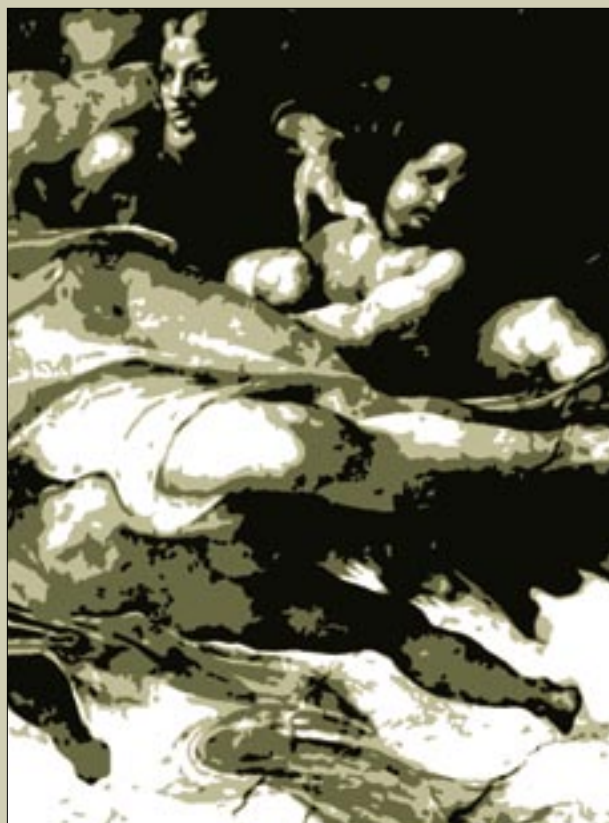


ELCIO ABDALLA



O conceito de  
tempo, do  
misticismo aos  
dias modernos



**ELCIO ABDALLA**  
é professor do  
Instituto de Física da  
Universidade de São  
Paulo.

d

desde que o homem se percebeu como inteligência, ele olhou para os céus e perguntou-se sobre a origem de todas as coisas, inclusive de si mesmo. Viu-se também compelido a olhar para os céus como modo de previsão de fenômenos.

Os céus nos dão razões de sobra para que o examinemos. Há uma vertente prática no cotidiano do homem, qual seja, a da marcação do tempo, previsão das colheitas, antecipação meteorológica. O ciclo de verões e de invernos era de vital importância para o homem antigo e uma eventual perda de tal antecipação poderia levar à morte de uma sociedade pela fome.

Há, no entanto, uma segunda vertente, independente e aparentemente longínqua da primeira, mas, ainda assim, indissociável dela, posto que será o outro lado da inquirição científica. Refere-se esta à mitologia e à pergunta sobre a origem do universo e do homem. Essa vertente mística seria a origem da pergunta científica sobre a origem do cosmos, sobre a compreensão do início do mundo e fazia parte, na época, da religiosidade e da mitologia.

Os mitos de criação falam do tempo de uma forma bastante direta e têm uma imagem direta nas diversas interpretações de tempo da física.



Assim, Caos e Noite geraram Érebo (escuridão). Depois vieram Éter (luz) e Hemera (dia). Hemera e Eros criaram Ponto (Mar) e Gaia (Terra), que gerou o Céu (Urano). Essa é a fase análoga ao tempo caótico, sem início ou fim, sem interpretação direta.

Gaia e Urano geraram os doze Titãs, entre eles Cronos e Rhea, três ciclopes e três gigantes. Farta do apetite sexual de Urano, Gaia pediu ajuda aos filhos. Cronos decidiu-se a ajudá-la. Esperou Urano com uma foice, com a qual o castrou, jogando os testículos ao mar, de onde nasceu Afrodite. Do sangue, nasceram as Erínias. Urano amaldiçoou o filho, vaticinando que os filhos de Cronos o trairiam. Cronos casou-se com Rhea. Comia seus filhos por temor de que eles cumprissem a maldição de Cronos. Cronos personifica o tempo, aquele que cria

**Saturno**  
**Devora o Filho,**  
**de Goya**



Reprodução

para posteriormente destruir. Representará o tempo da relatividade geral, assim como o tempo das religiões monoteístas, com um início, com uma criação a partir de algo desconhecido, caótico.

De seus filhos, Rhea salvou Zeus dando a Cronos uma pedra embrulhada como se fora o novo filho. Cronos comeu a pedra pensando ser a criança. Zeus foi criado às escondidas, no Monte Ida.

Zeus retorna, exila Cronos e os Titãs no Tártaro, casa-se com Hera. Zeus gerou filhos e filhas, deuses e mortais, abrindo a época dos deuses olímpicos. É a era do tempo clássico, o tempo sem início ou fim, como o tempo de Newton, absoluto.

As religiões monoteístas tiveram, também, suas sugestões quanto à criação do universo e do homem, espelhadas, por exemplo, na arte renascentista. Essa visão de tempo, advinda dos gregos, é bastante ilustrativa e muito característica do pensamento filosófico grego, em que o psíquico e o científico se juntam de modo profundo. O tempo é, de fato, simultaneamente, substância psicológica intrínseca ao homem, que pensa dentro do tempo, e algo científico, aparentemente independente do observador humano, presente em qualquer experiência física realista.

Será interessante observarmos, ao final, que, depois de uma separação entre o tempo psicológico, desprezado pela ciência por séculos, e o tempo físico, realista, presente objetivamente, chegaremos a uma situação em que a própria existência objetiva do tempo fica colocada em questão. Vejamos como isso ocorre.

A metafísica do tempo já foi estudada em profundidade por grandes mentes. Entre os pitagóricos, e para Platão, há uma imagem divina para a origem do tempo. Nessa medida, teria havido a *criação* do tempo em moldes parecidos com a ideia bíblica. Conforme o dito pitagórico, “[...] Ele resolveu ter uma imagem móvel da realidade, então colocou ordem nos céus, fez desta uma imagem eterna mas não móvel, de acordo com os números, enquanto a eternidade restava em sua unidade, é a esta imagem que damos o nome de tempo”.



Para Aristóteles, tempo é movimento que admite enumeração.

Em uma interessantíssima série de diálogos públicos na década de 80 entre o físico David Bohm e o pensador indiano Jiddu Krishnamurti, a questão do tempo foi discutida de modo bastante particular, qual seja, no que tange ao tempo psicológico. Na opinião do pensador, o homem deve, de alguma forma, *deixar o tempo* para sair de seus conflitos e ter um novo começo. Algumas correntes psicológicas falam de um inconsciente irracional *fora do tempo, atemporal*. As duas opiniões, de origens diferentes, parecem convergir no que diz respeito ao tempo psicológico que poderia correr de modo diferente para cada ser diferente. Perguntaríamos, então, se o tempo poderia ser algo tão sutil, abstrato, a ponto de fugir de nossa interpretação e de ser diverso daquele tempo clássico, medido por um relógio independente do observador.

Dividamos nossa discussão em partes, analisando em primeiro lugar como a ciência viu a evolução do conceito de tempo até seus últimos desenvolvimentos.

Os primeiros conhecimentos científicos, no que tange ao cosmos, vieram dos filósofos gregos. Na Antiguidade, a Terra era tida como plana, como entre os babilônios, ou mesmo entre os primeiros gregos, que pensavam que Apolo levava o Sol diariamente em sua carruagem, de leste para oeste. Há indícios, entre os gregos, já na época de Homero, do conhecimento de dias extremamente longos, o que dá uma indicação da esfericidade da Terra. Posteriormente, segundo Heródoto, os fenícios, ao circum-navegarem a África, viram o Sol à sua direita ao caminharem em direção ao poente, o que indica, conforme a interpretação de Terra esférica, que eles estavam abaixo da linha do equador. As primeiras interpretações mais diretas e incisivas sobre a esfericidade da Terra deram-se com os pitagóricos. Ainda entre os gregos, formou-se a ideia de que a Terra, redonda, seria o centro do universo, as estrelas se moveriam em uma esfera exterior, a esfera celeste, com período fixo<sup>1</sup>. Os movimentos foram conhecidos através da sombra de uma vara

vertical fixa ao solo, vara esta denominada *gnomon*. O movimento da sombra indicava não apenas o horário durante o dia, mas o movimento do sol durante o ano.

O conhecimento mais detalhado e científico do cosmos evoluiu bastante. As medidas de tempo através da observação da sombra do *gnomon* e o conhecimento das estações do ano permitiram as primeiras medidas de tempo. Os babilônios introduziram um ano de 360 dias, corrigido para 365 pelos egípcios. O calendário juliano foi introduzido por Júlio César com a ajuda de astrônomos egípcios e apresentava a novidade do ano bissexto, um ano de 366 dias a cada quatro anos. Tal calendário durou cerca de 1.500 anos.

O calendário foi de grande importância histórica em nossa compreensão da física e da medida do tempo. Não o foi de modo intrínseco, mas sua compreensão levou a descobertas muito importantes. Por volta do século XVI, a data da Páscoa havia se adiantado no calendário juliano. Essa data é definida através de uma combinação dos calendários lunar e solar. O calendário solar é melhor para as colheitas, pois segue o curso natural das estações do ano, mas o calendário lunar é de mais fácil apreciação pelo homem. O domingo de Páscoa é definido como o primeiro domingo depois da primeira lua cheia após o equinócio de primavera do hemisfério norte. Portanto, depende de fenômenos solares e lunares. É claro que o período solar não era necessariamente comensurável com o período de 365 dias e um quarto definido pelo calendário juliano; uma revisão era necessária. Nicolau Copérnico, astrônomo polonês nascido em 1473 e falecido em 1643, fez essa revisão. Apesar de anteriormente a ele sábios gregos, indianos e árabes terem proposto um sistema heliocêntrico, tal hipótese ganhou força com o calendário proposto por Copérnico. Copérnico usou o heliocentrismo como método de trabalho, mas posteriormente essa hipótese foi vista como realidade física.

O calendário de Copérnico foi instituído pelo papa Gregório XIII em 1582, tendo sido então chamado de calendário gregoriano<sup>2</sup>.

1 Esse período é de 23 horas e 56 minutos, 4 minutos a menos que o dia solar médio, em vista do movimento de translação da Terra. É claro que os gregos não conheciam todos esses detalhes.

2 O calendário gregoriano é definido da seguinte maneira: ao dia 4 de outubro de 1582 seguiu-se o dia 15 de outubro de 1582. Os anos bissextos múltiplos de 100, mas não de 400, foram eliminados (assim, 1900 não foi bissexto, mas 2000 o foi, enquanto 2100 não o será.)

A grande vantagem dessa nova era, no que tange à marcação de tempo, não foi o calendário em si, mas o fato de que o sistema heliocêntrico, com observações posteriores do dinamarquês Tycho Brahe, foi utilizado por Johannes Kepler para formular as três leis de Kepler do movimento planetário. Subsequentemente, Descartes e Galileu formularam o método científico, utilizado por Galileu e por Newton para descrever a mecânica. Dentro da mecânica temos o conceito clássico de tempo.

O tempo clássico é o tempo absoluto, um fluir perpétuo de algo que não sabemos definir, mas que bem podemos intuir. O tempo newtoniano clássico é o tempo de Zeus, um perpétuo movimento observado pelos deuses de seu assento olímpico. É a passagem inexorável associada ao movimento eterno das coisas. Foi também a definição do determinismo clássico, com a previsão de todos os fenômenos, desde que saibamos a configuração atual do mundo. Conforme Laplace, se um ser for capaz de saber todos os detalhes do universo hoje, assim como as leis da mecânica, todo o futuro estará, para aquele ser, determinado.

No entanto, a visão determinista da física sofre um impacto brutal vindo de uma outra teoria física bem conhecida, o eletromagnetismo. Conhecidos desde a Antiguidade, os fenômenos elétricos e magnéticos foram, no século XIX, reunidos em uma só teoria por James Clerk Maxwell, corroborada pela experiência e que trazia em seu bojo algo preocupante do ponto de vista clássico: a velocidade da luz é a mesma para todos os observadores, ou seja, se eu correr atrás da luz jamais a alcançarei, e se for em direção a ela, não a encontrarei mais rápido. Albert Einstein teve a grande ideia de interpretar o resultado dizendo que o tempo e o espaço estão reunidos de forma inseparável, ou seja, o mundo físico é um contínuo quadridimensional espaço-tempo. Era a teoria da relatividade especial, formulada no *anus mirabili* de 1905, quando Einstein escreveu nada menos que três trabalhos que revolucionaram a física.

Com o conhecimento das leis do eletromagnetismo vieram os primeiros abalos da

física clássica: o eletromagnetismo parecia incompatível com o conceito de tempo absoluto, especialmente com as conclusões tiradas da experiência de Michelson e Morley e com a confirmação das equações de Maxwell através das ondas hertzianas (as ondas eletromagnéticas). De fato, concluiu-se então que as verdadeiras leis de transformação são as de Lorentz, que se tornaram uma das pedras angulares da nova física por se iniciar. O significado físico era grande. Em primeiro lugar, o tempo já não era absoluto, e observadores em movimento tinham escalas de tempo diferentes, uns com respeito aos outros. Objetos físicos também se comportavam de modo estranho, passando a se comprimir ao se moverem com velocidades muito grandes. Essa é a nova física da teoria da relatividade, e de um modo muito simples, uma das mais conhecidas novidades é que o tempo não se move da mesma maneira para os vários observadores<sup>3</sup>.

De modo concomitante, outros problemas, ainda tidos como pequenos, escapavam a uma solução. O que não se sabia é que, no final do século XIX, começava-se a avistar a pequena ponta de um enorme *iceberg* em rota de colisão com a titânica física clássica. Se nos for permitido um desvio de assunto, podemos dizer que se via uma falsa calma da passagem do século, calmaria essa representada pela era vitoriana, mas que continha uma monumental tempestade que varreria toda a face da Terra, mudando de modo completo e sem volta os contornos planetários, com uma mudança fundamental na visão de mundo e na interpretação filosófica.

Mas, no que diz respeito ao tempo, uma revolução maior ainda estava por acontecer. Durante alguns anos, Einstein estudou como estender os resultados obtidos para o caso de haver forças gravitacionais, o que conseguiu ao formular a teoria da relatividade geral, que foi bem estabelecida do ponto de vista observacional pelas suas previsões sobre a órbita do planeta Mercúrio e principalmente pelo desvio de luz das estrelas pelo Sol, observado em um eclipse solar na cidade de Sobral, no Ceará, em 1919.

O resultado positivo da relatividade geral para o movimento planetário per-

3 Não é verdade, no entanto, que a física não seja a mesma, apenas as aparências são outras.

mitiu que se pudesse aplicar a teoria para se descrever o cosmos. Procurou-se então uma chamada solução cosmológica da teoria. O que se procurava, na relatividade geral, seria uma chamada *métrica*, ou seja, uma régua e um relógio específicos<sup>4</sup> para a descrição do cosmos. Tal problema foi resolvido supondo-se um chamado princípio cosmológico, que diz que não há lugares privilegiados no universo. A solução para a métrica é aquela de Friedmann-Lemaître-Robertson-Walker, e descreve um espaço em evolução, com uma régua que se alonga com o tempo. Ou seja, o universo expande-se continuamente!

Einstein não se satisfaz com a solução, pois esperava um universo estático. Tentou modificar suas equações introduzindo a chamada constante cosmológica, que posteriormente qualificou como o maior erro de sua vida<sup>5</sup>. A solução cosmológica acima foi confirmada pelas observações do astrônomo Edwin Hubble cerca de 80 anos atrás.

Como o universo encontrava-se em expansão, olhando-se para trás podemos antever um instante em que todo o universo estaria concentrado em um só ponto: seria o instante inicial do universo, a criação do próprio espaço-tempo, o instante da criação do universo! É a própria criação do tempo, o tempo de Cronos, o tempo de Agostinho, o instante anterior ao qual não havia tempo! É interessante a argumentação de Santo Agostinho. Argumentava-se, na época, que a criação, sendo perfeita, deveria ter ocorrido antes, e Deus não poderia ter simplesmente esperado. A resposta do santo é que o tempo não existia antes da criação. Sendo eterna, a divindade transcende o próprio tempo, e para Ele tudo é presente, não existindo ordem temporal. Assim, no século IV, Agostinho usou conceitos que amadureceram apenas com o advento da teoria da relatividade no século XX.

Assim, após o tempo de Zeus, o tempo clássico, olímpico, compreendemos o tempo criado, o tempo de Cronos. O tempo da relatividade geral aproxima-se da noção de criação, da ideia de ciclo, tal como espelhada na arte católica da Capela Sistina. Contrapõe-se ao tempo de Zeus, que, sem

início ou fim, concorda melhor com as ideias clássicas de determinismo.

No entanto, outra revolução científica se dá no início do século XX, que fará mudar nossas concepções de espaço-tempo. Trata-se da mecânica quântica. A mecânica quântica nasceu com a tentativa de explicar os fenômenos associados ao muito pequeno, às partículas elementares, âmbito no qual a teoria clássica, abarcando a mecânica clássica e o eletromagnetismo, tem dificuldades intrínsecas insuperáveis. A teoria quântica evoluiu, para explicar todos os tipos de fenômenos associados ao muito pequeno, para uma concepção totalmente nova na explicação dos fenômenos físicos, com a inclusão do observador que passa a ser parte do fenômeno a ser estudado. Tal concepção é totalmente estranha à física clássica, em que o observador é completamente externo e estranho ao fenômeno estudado, devendo assim permanecer de modo a não borrar os resultados experimentais. Na mecânica quântica isso é impossível! Os fenômenos, na ausência de observador, são probabilísticos, e uma das possibilidades só ocorre na presença do observador ou, melhor ainda, no caso de uma observação.

A mecânica quântica tem um formalismo muito rico e pode ser descrita de diversas maneiras diferentes. Em particular, há uma maneira elegante e instrutiva de se definir a mecânica quântica. Como tudo são probabilidades em mecânica quântica<sup>6</sup>, a trajetória de um ponto pode ser qualquer uma, e a trajetória real será uma média ponderada, sendo a ponderação definida através de uma constante fundamental introduzida por Max Planck quando do primeiro trabalho histórico que trouxe a teoria quântica para a física.

A mecânica quântica entra na história do universo em dois pontos importantes. O primeiro diz respeito à evolução cósmica dentro do âmbito da relatividade geral através da teoria das partículas elementares. Isso decorre do fato de que quanto mais próximas as partículas (o que ocorre no universo primordial devido à contração do espaço) mais quente o universo, e a descrição das partículas será eminentemente quântica.

4 Devemos, neste ponto, nos lembrar que agora não descreveremos a física pela velha geometria de Euclides, mas por uma nova geometria que inclui o tempo. Denominamos o procedimento de se achar a geometria apropriada, ou seja, a régua e o relógio apropriados para cada problema físico, de se achar a métrica do problema.

5 É de se notar aqui que hoje a constante cosmológica é frequentemente utilizada para uma possível explicação da chamada energia escura que parece permear todo o universo fazendo-o acelerar sem parar.

6 Na verdade, a situação é um pouco mais complicada, pois as probabilidades quânticas não se somam como as probabilidades clássicas. Por essa razão elas se chamam *amplitudes de probabilidade*. Podem inclusive ser negativas ou mesmo números complexos. No entanto, este é um ponto técnico que não nos interessa neste momento.



### Detalhe da Capela Sistina, Michelangelo

Mostra-se que a história cósmica tem fases e pode, de modo simplificado, ser descrita em termos de três épocas fundamentais. A primeira, chamada de fase de radiação, contém uma *sopa* quentíssima de partículas a uma temperatura tão alta que as diferentes interações elementares se confundem. No final dessa fase, certas *marcas* foram deixadas nos céus e somos capazes de corroborar certas facetas das teorias das partículas elementares. Posteriormente, temos a fase da matéria, mais fria, em que as estruturas cosmológicas (aglomerados de galáxias, galáxias, estrelas) foram formadas. Finalmente, temos a fase moderna, de expansão acelerada através da energia escura.

A mecânica quântica foi essencial para essa descrição e para as previsões que levaram os físicos a aprofundar a teoria padrão do início do universo. A essa descrição chamaremos de descrição de Cronos, sendo a mesma da relatividade geral vista anteriormente, mas muito mais sofisticada.

No entanto, há outra faceta da descrição do universo que será ainda mais elaborada e chega a ser quase mitológica, na medida em que não há, dentro da tecnologia atual,

possibilidade de corroborar os detalhes dessa teoria. O fato é que a teoria da relatividade e a mecânica quântica pareciam, até um quarto de século atrás, misteriosamente imiscíveis. A descoberta da teoria das cordas em um contexto de física nuclear foi singularmente interessante. A teoria foi reinterpretada em termos da relatividade geral e se descobriu que ela descrevia a teoria quântica da gravitação, ou seja, a relatividade geral quântica, pela primeira vez depois de três quartos de século!

A teoria das cordas (de fato, teoria das supercordas<sup>7</sup>) tem características peculiares. Em particular, ela está definida em um espaço-tempo com várias dimensões: a teoria das supercordas está definida em nove dimensões de espaço e um tempo. Assim sendo, como na arte e na ficção, temos um universo multidimensional! Em particular, como na mecânica quântica temos criação de partículas e antipartículas e várias trajetórias *multiprováveis*, podemos ter vários universos com tempos independentes e não-relacionados.

Assim, temos não somente um universo multidimensional, mas uma infinidade de universos com tempos e espaços diferentes e independentes. Nosso conceito de tempo

7 A supersimetria é uma importante simetria relacionada às partículas elementares, essencial para uma descrição consistente da teoria das cordas, daí o nome, teoria das supercordas.





Reprodução

se esvai e relativiza-se, pois diferentes observadores em diferentes universos não podem se comunicar visto que seus tempos são incompatíveis. Temos, então, a volta de um tempo caótico, antes de Cronos! O tempo de Cronos não passa de uma pálida faceta de tempo, entre tantos e tantos tempos que povoam o Multiverso, agora bem mais maiúsculo. O Multiverso contém uma infinidade de diferentes universos, alguns chamamos de *pântanos* ou *brejos*, onde a vida não é possível, e outros que chamamos de *paisagens*, onde a vida é possível.

Caso essa teoria seja realmente correta em seus detalhes, talvez tenham razão Edward Witten e David Gross, que afirmam: “*Maybe space-time is doomed*”, ou seja, talvez os conceitos de espaço e de tempo estejam fadados à ruína.

Discussões envolvendo a mecânica quântica são extremamente complexas e de difícil interpretação. Na teoria quântica da gravitação tal como proposta pela teoria das cordas, o tempo é uma das variáveis físicas e, da maneira como o conhecemos, só existe como um epifenômeno. Dessa maneira retornamos às dúvidas dos filósofos do século XVIII, como David Hume, que colocava

em dúvida a própria causalidade. Essa interpretação empírica da realidade deve ser comparada seriamente com a teoria quântica: embora a mecânica quântica seja descrita por equações diferenciais bem definidas, com previsões exatas, essas previsões referem-se a uma *densidade de probabilidade*, e apenas depois de feita uma medida podemos dizer o resultado do experimento. Assim, uma realidade física fica por debaixo de um *véu*, e não temos uma ideia precisa de seu significado. Conforme dizia Niels Bohr sobre a realidade do mundo quântico, “não há um mundo quântico. Há apenas uma descrição abstrata da mecânica quântica. É errado pensar que a meta da física seja descobrir como é a Natureza. Física concerne ao que sabemos dizer sobre a Natureza”.

Assim, especialmente quando chegamos ao âmago do espaço-tempo, podemos afirmar que de fato não sabemos, ao certo, o que é o tempo. Essa é uma das mais fascinantes questões da física, e talvez jamais possamos, dentro desta geração, ter uma resposta definitiva e final. No entanto, poderíamos dizer que esses conceitos estão em um domínio metacientífico, tal como a questão da efetividade da matemática como descrição da natureza. São questões que talvez não possam ser respondidas dentro da ciência, podemos apenas intuir sobre sua veracidade e corroborar sua acurácia na descrição dos fenômenos naturais. Certamente outras questões se colocam com tão grande veemência, como a possibilidade de se viajar no tempo ou, no caso de outros espaços-tempos, termos que interpretar o significado desses diferentes *espaços* e *tempos* para os diferentes mundos.

É claro que essas questões são, no momento, mais da metafísica que propriamente da física. Voltamos a ter opiniões, e não só provas e demonstrações, quanto ao que concerne a assuntos de tamanho vulto. A questão nem mesmo é quando conseguiremos compreender esses mistérios, mas até mesmo se a civilização humana é capaz de resolvê-los através da capacidade intelectual do homem moderno, ou se seria necessário outra civilização intrinsecamente mais adiantada para fazê-lo.