

## Natureza Física do Tempo

### Questão: Qual a natureza do tempo?

#### 1. Tempo Físico precede o Tempo Subjetivo?

Para os físicos, o tempo é geralmente considerado uma grandeza real do mundo físico, que existe de maneira independente de sujeitos conscientes. Trata-se de uma concepção realista do tempo. Mesmo no debate a respeito de se o espaço e o tempo são absolutos (anteriores à matéria) ou relativos (dependendo da relação entre os corpos materiais), a maioria dos físicos tende a supor que a resposta a essa questão independeria da presença de seres inteligentes no Universo. Nesse sentido, trata-se de uma concepção realista a respeito do espaço e do tempo (sobre o realismo vs. fenomenismo, ver seção III.1). Tal concepção pode ser chamada de *perspectiva naturalista* do tempo, segundo a qual o tempo físico existiu antes da evolução do ser humano, e portanto é distinto e anterior ao tempo psicológico.

No contexto filosófico, porém, é bastante difundida a noção de que o tempo depende do sujeito do conhecimento. Um exemplo clássico desta concepção é a epistemologia de Immanuel Kant. Para ele, tempo e espaço seriam “formas da sensibilidade”, seriam a maneira que o sujeito formata, organiza ou constrói os dados dos sentidos.

Filosofias de cunho fenomenista, para as quais não se pode separar a realidade daquilo que observamos ou daquilo sobre o qual temos experiência, tendem a dar prioridade epistemológica ao tempo psicológico, pois é a este que temos acesso primordial. O tempo físico seria apenas uma construção teórica, científica, que pressupõe a presença de um sujeito e de sua vivência do tempo. Esta concepção aparece de maneira clara no filósofo francês Henri Bergson. Em suma, para esta *perspectiva do sujeito*, o tempo é conforme as nossas intuições, e rejeita-se a tese de que o tempo físico, que aparece em teorias físicas como a teoria da relatividade restrita, seja anterior e mais fundamental do que o tempo psicológico ou o tempo do sujeito “transcendental”.<sup>57</sup>

#### 2. Propriedades Intuitivas do Tempo

Nossa intuição sobre o tempo é bastante bem desenvolvida (lembrar da seção II.1), e é muito difícil conseguir um esclarecimento adicional consensual por meio da Filosofia. O único avanço consensual para além de nossa intuição do tempo parece ser os resultados da Teoria da Relatividade Restrita, exemplificada pelo experimento mental dos gêmeos viajantes (que veremos na seção IX.1). Um bom resumo de nossa concepção intuitiva sobre o tempo é dado por Hans Reichenbach, em suas “propriedades topológicas do tempo”.<sup>58</sup>

---

<sup>57</sup> Essa perspectiva filosófica é explorada no acessível livro de PIETRE, B. (1997), *Filosofia e ciência do tempo*, trad. M.A. Figueiredo, EDUSC, Bauru (orig. em francês: 1994), que parte de uma discussão de se “o tempo existe fora do espírito”. Uma abordagem mais naturalista e igualmente acessível é o livro de WHITROW, G.J. (2005), *O que é tempo?*, trad. M.I.D. Estrada, Jorge Zahar, Rio de Janeiro (orig. em inglês: *What is time?*, 1972, Thames & Hudson, London; *The nature of time*, Holt, Rinehart & Winston, New York, 1973).

<sup>58</sup> REICHENBACH, H. (1956), *The direction of time*, editado por Maria Reichenbach, University of California Press, Berkeley (manuscrito de 1953), Cap. 2. As propriedades “topológicas” ou “qualitativas” se opõem às “métricas” ou “quantitativas”; o termo “qualitativo” é usado aqui no sentido 1 (ver nota 25).

- (1) O tempo vai do passado para o futuro.
- (2) O presente, que divide o passado do futuro, é agora.
- (3) O passado nunca retorna.
- (4) Não podemos alterar o passado, mas podemos alterar o futuro.
- (5) Podemos ter registro do passado, mas não do futuro.
- (6) O passado está determinado; o futuro é indeterminado.

### 3. O Tempo é Absoluto ou Relativo? Há Tempo sem Mudança?

No seu *Principia*, Isaac Newton definiu da seguinte maneira sua concepção de tempo absoluto:

O tempo absoluto, real e matemático, por si só e por sua natureza, flui uniformemente, sem relação com qualquer coisa externa, e recebe também o nome de duração. O tempo relativo, aparente e comum é uma medida sensível e externa (precisa ou desigual) da duração, que é obtida por meio de movimento, e que é normalmente usada no lugar do tempo verdadeiro, tal como uma hora, um dia, um mês, um ano.<sup>59</sup>

A concepção newtoniana de que há um tempo independente da matéria, que flui por si mesmo independente do movimento dos corpos, tem sido bastante criticada: afinal, o que significaria dizer que o tempo “flui uniformemente”? Se ele não fluísse uniformemente, como saberíamos? Esta visão é também chamada de “substantialista” ou platônica.<sup>60</sup>

A concepção contrária, *relacionista*, de que não há tempo absoluto, já está presente em Aristóteles, no atomista romano Lucrécio (*Da natureza das coisas*, I, 460-5), e foi defendida com vigor por Leibniz, em sua crítica à concepção de Newton:

Quanto a mim, deixei assentado mais de uma vez que, a meu ver, o espaço é algo puramente relativo, como o tempo; a saber, na ordem das coexistências, como o tempo na ordem das sucessões.<sup>61</sup>

Na concepção relacionista, o tempo surge a partir do movimento das coisas, sendo assim uma relação entre as coisas e não algo independente das coisas materiais (ou espirituais). O relacionismo de Leibniz parte de uma concepção realista, ao passo que o do neopositivista Ernst Mach é fenomenista:

Dizer que uma coisa *A* varia com o tempo, só significa que as circunstâncias de uma coisa *A* dependem das circunstâncias de outra coisa *B*. As oscilações de um pêndulo se

<sup>59</sup> NEWTON, I. ([1687] 2008), *Principia: princípios matemáticos de filosofia natural*, Livro I, trad. T. Ricci, L.G. Brunet, S.T. Gehring & M.H.C. Célio, Edusp, São Paulo, p. 45. Mesclamos com a tradução apresentada em COHEN, I.B. & WESTFALL, R.S. (orgs.) (2002), *Newton: textos, antecedentes, comentários*, trad. Vera Ribeiro, Contraponto/Ed. UERJ, Rio de Janeiro, p. 283.

<sup>60</sup> WHITROW (2005), op. cit. (nota 57), pp. 100-6. Outro livro do mesmo autor, que entra em um pouco mais de detalhes, é: WHITROW, G.J. (1980), *The natural philosophy of time*, 2ª ed., Clarendon, Oxford, pp. 33-9. Sobre a concepção relacionista de Leibniz, ver por exemplo: KOYRÉ, A. (1979), *Do mundo fechado ao universo infinito*, trad. D.M. Garshagen, Forense, Rio de Janeiro, Edusp, São Paulo, pp. 239-48 (orig. em inglês: 1957). Para a terminologia contemporânea, ver MARKOSIAN, N. (2014), “Time”, in *Stanford Encyclopedia of Philosophy*, online.

<sup>61</sup> Trecho (p. 177) da terceira carta de Leibniz a Samuel Clarke, escrita em 1716, e republicada em: LEIBNIZ, G.W. (1979), “Correspondência com Clarke”, in *Os Pensadores*, 2ª ed., volume Newton/Leibniz (I), trad. C.L. Mattos, Abril Cultural, São Paulo, pp. 165-232.

produzem no *tempo* se seu deslocamento *depende* da posição da terra. [...] Não temos qualquer capacidade de *medir* a variação das coisas *pelo tempo*. Pelo contrário, o tempo é uma abstração, à qual chegamos pela mudança das coisas, e que obtemos porque não estamos restritos a qualquer medida única e *determinada*, já que todas as coisas estão conectadas entre si. [...] Mas a questão de se um movimento é uniforme *em si mesmo* não tem *sentido algum*. Muito menos podemos falar de um “tempo absoluto”, *um tempo independente de toda variação*. Este tempo absoluto não poderia ser medido por comparação a nenhum movimento, não tendo assim qualquer valor prático e científico; ninguém está autorizado a dizer que sabe algo sobre isso. Não passa de um ocioso conceito “metafísico”.<sup>62</sup>

Essas duas posições divergem com relação à questão do “tempo vazio”, isto é, se pode haver *tempo sem mudança*. Imaginemos um experimento mental em que todos os processos materiais (e espirituais, se forem independentes da matéria) do Universo ficassem “congelados” por um minuto. Teríamos como saber? Claro que não. Porém, um realista que defende o tempo absoluto poderia considerar tal situação em princípio possível; já um relacionista antirrealista como o filósofo David Hume diria que tal situação é absurda, pois é impossível distinguir essa situação em que tudo fica imóvel da situação usual em que isso não acontece: “é impossível conceber seja um vácuo e uma extensão sem matéria, seja um tempo em que não houve nenhuma sucessão ou alteração em uma existência real”.<sup>63</sup>

#### 4. O Tempo é Denso ou Discreto? Espacialização do Tempo vs. Vir-a-ser

Qual é a estrutura microscópica do tempo? A física clássica representa a dimensão temporal por meio de números reais, mas será que se pode afirmar que o tempo tenha realmente a estrutura dos números reais? (Ver a discussão das seções VI.3 e 4.)

Pode-se argumentar que, empiricamente (ou seja, por meio de experimentos e observações), não se pode distinguir a estrutura dos números reais daquela dos números racionais, ambas as quais são “densas”. Mas talvez fosse possível distinguir uma estrutura temporal densa de uma estrutura discreta, representável pelos números inteiros. Vimos que a gravitação quântica em laço defende que o tempo é discretizado nas unidades do tempo de Planck, da ordem de  $10^{-43}$  segundos (seções I.6 e 7). Tal unidade de tempo é conhecida como “crônion”, e foi bastante discutida entre as duas guerras mundiais, com estimativas não menores do que  $10^{-24}$  segundos. Dentre as diversas teorias do crônion, algumas atribuem ao próprio tempo uma estrutura discretizada, ao passo que outras consideram que o tempo é contínuo ou pelo menos denso, e que são os eventos que só podem ocorrer a intervalos discretos de tempo.<sup>64</sup>

<sup>62</sup> MACH, E. (1902), *The science of mechanics*, trad. T.J. McCormack, Open Court, Chicago, pp. 223-4 (orig. em alemão: 1883). Ver a tradução de trechos selecionados no sítio do curso, texto Mach-Mecânica-Espaço.

<sup>63</sup> HUME, D. ([1739] 2000), *Tratado da natureza humana*, trad. D. Danowski, Unesp, São Paulo, livro I, parte 2, seção 4, § 2, p. 66. Para uma discussão do tempo sem mudança, ver SHOEMAKER, S. (1969), “Time without change”, *Journal of Philosophy* 66, p. 363-81.

<sup>64</sup> Uma breve discussão a respeito dos crônions e hódons (quanta de espaço) é feita por ČAPEK, M. (1965), *El impacto filosófico de la física contemporánea*, Tecnos, Madri, p. 240 (orig. em inglês: 1961). O brasileiro Ruy Farias e o italiano Erasmo Recami desenvolveram a teoria do crônion de Pietro Caldirola (1953), com uma breve introdução histórica e filosófica, em FARIAS, R.H.A. & RECAMI, E. (2010), “Introduction of a quantum of time (‘chronon’), and its consequences for quantum mechanics”, *Advances in Imaging and Electron Physics* 163, pp. 33-115.

A discussão sobre se o tempo tem uma estrutura matemática densa ou discreta se dá, naturalmente, no contexto do realismo (de inobserváveis). Abordagens mais fenomenistas podem não atribuir significado a essa discussão, e inclusive negar que o tempo seja matematizável. Filósofos que criticaram a noção clássica de tempo incluem Henri Bergson, William James e Alfred Whitehead. Bergson criticou a *especialização do tempo* empreendido pela física clássica, ao descrever o tempo como um contínuo que possuiria a estrutura matemática do espaço unidimensional. Para ele, o tempo tem um aspecto de *vir-a-ser*, de devir, de abertura para o futuro, que é perdido ao se impor nele uma especialização. Ao invés de instantes infinitesimais, haveria uma “duração” finita, irreduzível a instantes, e sem limites bem definidos. Whitehead concordava com essa concepção, e falava do tempo como a “passagem da natureza”, em sua filosofia de processos. Semelhante concepção foi retomada mais recentemente pelo físico-químico Ilya Prigogine.<sup>65</sup>

Um ponto interessante foi trazido pelo filósofo Rudolf Carnap<sup>66</sup>, em conversas que teve com Einstein em Princeton, no período 1952-54:

Certa vez Einstein falou que o problema do Agora o preocupava seriamente. Ele explicou que a experiência do Agora significa algo especial para o homem, algo essencialmente diferente do passado e do futuro, mas que esta importante diferença não ocorre nem pode ocorrer dentro da física. Que tal experiência não pode ser capturada pela ciência lhe parecia uma questão de dolorosa mas inevitável resignação. [...]

O positivista lógico Carnap analisou a questão da seguinte maneira:

[...] Mas eu tive claramente a impressão de que o pensamento de Einstein sobre este ponto envolvia uma falta de distinção entre experiência e conhecimento. Dado que a ciência pode em princípio dizer tudo que pode ser dito, não sobra nenhuma pergunta que não possa ser respondida. Mas apesar de não sobrar nenhuma questão teórica, há ainda a experiência emotiva humana comum, que às vezes é perturbadora por motivos psicológicos especiais.

## 5. A Estrutura Macroscópica do Tempo

Qual é a estrutura do tempo em grande escala? Ele seria *linear*, como é pressuposto na física clássica (Fig. VII.1a), com eventos que se ordenam em uma série única, sem início ou fim? Neste caso, para quaisquer dois eventos *A* e *B*, apenas uma das alternativas pode ser verdadeira: ou eles são simultâneos, ou *A* é temporalmente anterior a *B*, ou *B* é anterior a *A*. Na Fig. VII.1b, representa-se um tempo linear com um início, mas sem um fim.

A Teoria da Relatividade Restrita alterou esse quadro linear simples, pois pode-se considerar que são distintos os tempos próprios de dois observadores em diferentes

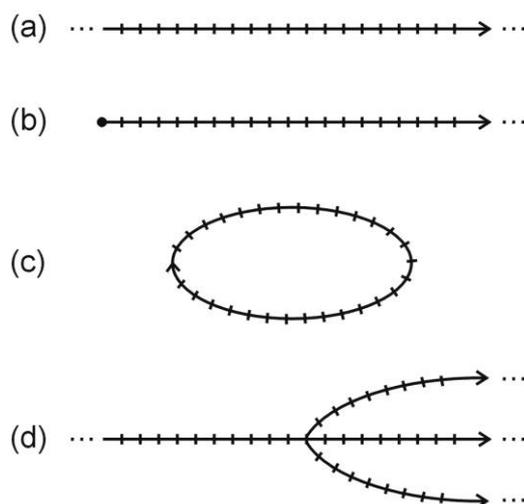
<sup>65</sup> BERGSON, H. (2006), *Duração e simultaneidade*, trad. C. Berliner, Martins Fontes, São Paulo, cap. III (orig. em francês: 1922). Sua concepção é discutida com simpatia por ČAPEK (1965), op. cit. (nota anterior), pp. 229-30. JAMES, W. (1911), *Some problems of philosophy*, Longmans, Green & Co., New York, caps. 10-11. WHITEHEAD, A.N. (1994), *O conceito de natureza*, trad. J.B. Fischer, Martins Fontes, São Paulo, p. 67 (orig. em inglês: 1920). PRIGOGINE, I. (2011), *O fim das certezas: tempo, caos e as leis da natureza*, 2<sup>a</sup> ed., trad. R. Leal Ferreira, Editora Unesp, São Paulo (orig. francês: 1996).

<sup>66</sup> CARNAP, R. (1963), “Intellectual autobiography”, in Schilpp, P.A. (org.), *The philosophy of Rudolf Carnap*, Library of Living Philosophers, vol. 11, Open Court, La Salle (IL), pp. 3-87. O comentário sobre Einstein está na p. 36, e a ponderação de Carnap na página seguinte. Essa questão do “agora” foi resgatada por MERMIN, N.D. (2014), “Physics: QBism puts the scientist back into science”, *Nature* 507: 421-3.

referenciais de movimento (como no experimento mental dos gêmeos viajantes, que veremos na seção IX.1). Mas permanecendo, por ora, dentro do contexto da física clássica, outras duas estruturas macroscópicas importantes já foram propostas. No tempo *cíclico* ou circular, um instante do passado retornaria no futuro (Fig. VII.1c). Aqui, novamente, é preciso distinguir a concepção de que o próprio tempo (considerado real e absoluto) seja cíclico, da concepção de que o tempo absoluto é linear mas os estados do mundo material passam por ciclos e retornam a estados anteriores. Porém, numa concepção estritamente relacionista do tempo, o retorno exato de um estado do mundo material seria equivalente a um ciclo do próprio tempo.

Concepções de tempo cíclico eram comuns nas cosmologias da Antiguidade. A visão de que o tempo é linear e eterno, mas que há recorrência do estado do Universo, está presente na tese do “eterno retorno” do filósofo Friedrich Nietzsche (1881). Segundo seu raciocínio, se a matéria ou a energia do universo for finita, e se ela se distribui por um número finito de pontos, então é inevitável que mais cedo ou mais tarde este estado se repetirá, dada a finitude da matéria e o fato de o tempo ser infinito. Semelhante raciocínio foi feito no contexto da física teórica por Henri Poincaré (1889), no seu teorema da recorrência, que exploraremos na seção XXIII.2.<sup>67</sup>

Figura VII.1: Representação esquemática de diferentes estruturas macroscópicas do tempo: (a) tempo linear infinito; (b) tempo linear com um início; (c) tempo cíclico; (d) tempo ramificado, com futuro aberto.



Outra concepção a respeito da estrutura de grande escala do tempo leva em conta a assimetria entre o passado e o futuro. O passado e o presente são únicos, mas o futuro seria aberto, de forma que o tempo poderia ser representado como uma árvore, em uma estrutura de *tempo ramificada* (Fig. VII.1d). Nesta concepção, o presente seria como um zíper que vai fechando o futuro, transformando paulatinamente os diversos mundos possíveis do futuro em um presente e passado únicos. Uma maneira elegante de diferenciar essas estruturas é pela lógica temporal (ver seção VIII.5).

<sup>67</sup> Sobre Nietzsche e Poincaré, ver BRUSH, S.G. (1976), *The kind of motion we call heat: a history of the kinetic theory of gases in the 19th century*, vol. 2, North-Holland, Amsterdã, pp. 627-32. Sobre o eterno retorno: NIETZSCHE, F.W. ([1881] 2008), *Vontade de poder*, trad. M.S.P. Fernandes & F.J.D. Moraes, Contraponto, Rio de Janeiro, Quarto Livro, § 384.

## 6. A Seta do Tempo

Outra propriedade fundamental do tempo é sua *assimetria*: ele parece correr em apenas um sentido,<sup>68</sup> do passado para o futuro, e não ao contrário. A concepção absolutista de tempo tende a considerar que esta seja uma propriedade fundamental do tempo. Mas em concepções relacionistas, segundo as quais o tempo surge a partir da relação causal entre as coisas materiais, surge a hipótese de que são os processos termodinâmicos que estabelecem a “seta do tempo”, ou seja, o sentido em que o tempo transcorre.

Um dos primeiros a formular esta ideia foi Mach:

Se pudéssemos realmente determinar a entropia do mundo, ela representaria uma medida absoluta e verdadeira do tempo. Dessa maneira vê-se a completa tautologia do enunciado de que a entropia do mundo aumenta com o tempo. O tempo, e o fato de que certas coisas ocorrem apenas em um sentido definido, são uma e a mesma coisa. (MACH, 1894, apud Brush, 1976, pp. 289, 636)

A ideia foi retomada por Ludwig Boltzmann (1898), em seu debate com Ernst Zermelo, que discutiremos no Cap. XXII. Admitindo que haja recorrência para o estado inicial do Universo, de baixa entropia, haverá uma era no futuro em que a entropia do Universo estará decrescendo. Boltzmann especulou, então, que se a flecha do tempo for dada pela direção de aumento de entropia, então em um cenário em que a entropia diminui, os observadores vivenciarão uma inversão da flecha do tempo! O sentido do tempo então inverteria de época para época, conforme a entropia estivesse aumentando ou diminuindo. Esta ideia foi retomada filosoficamente por Hans Reichenbach (1956), e muitos outros autores a defenderam.<sup>69</sup>

A seta do tempo é um tema bastante discutido no contexto da cosmologia. A tese de que o estado inicial do Universo era de baixa entropia (e portanto era um estado altamente improvável) tem sido chamada de “hipótese do passado” (*past hypothesis*). Muitos físicos e filósofos consideram que esta hipótese é *ad hoc* e não explica muita coisa, ainda mais porque a probabilidade de este estado ter ocorrido é muito baixa.<sup>70</sup> Por outro lado, levando em conta o “princípio antrópico” – que diz que as constantes de nosso Universo precisam ser consistentes com a emergência de vida inteligente, senão não estaríamos aqui para escrever isso –, só poderia haver vida em um Universo com entropia inicial baixa.

Dois teorias físicas recentes sobre a seta do tempo podem ser mencionadas. Rafael Sorkin defende a “teoria causal dos conjuntos” (*causal set theory*), que considera que o espaço-tempo é discreto na escala de Planck (como na gravitação quântica em laço, da seção I.7), formando um conjunto parcialmente ordenado, e no qual haveria uma adição contínua de novas unidades do espaço-tempo, constituindo o vir-a-ser. Já Koslowski, Barbour & Mercati

<sup>68</sup> Em português é costume distinguir “direção” e “sentido”. A direção é estabelecida por uma reta, por exemplo, na superfície da Terra, pela linha do Equador. O sentido estabelece uma orientação nesta reta, por exemplo de leste para oeste. Em inglês utiliza-se *direction* em ambos os sentidos. Como a palavra “sentido” tem vários sentidos em português, às vezes adotaremos a convenção da língua inglesa, usando a palavra “direção”.

<sup>69</sup> Este relato foi obtido de BRUSH (1976), op. cit. (nota 67), vol. 2, pp. 635-6, 639-40. REICHENBACH (1956), op. cit. (nota 58), cap. 14.

<sup>70</sup> Esses temas formam tratados na conferência “Tempo na cosmologia”, realizado no Instituto de Física Teórica de Perimeter, Waterloo, Canadá, e descrito em FALK, D. (2017), “A debate over the physics of time”, *Quanta Magazine*, 19/07/2017, online. Neste texto aparece uma descrição de Sorkin e Koslowski. Dentre os críticos da hipótese do passado está UNGER, R.M. & SMOLIN, L. (2015), *The singular universe and the reality of time*, Cambridge University Press (Mangabeira Unger é um conhecido cientista político brasileiro).

argumentam que é possível obter a seta do tempo sem a “hipótese do passado”, mas apenas com a força gravitacional e uma medida de complexidade.

## 7. A Questão do Início do Tempo

O tempo teve um início? Pensadores como Aristóteles e Newton consideravam que o Universo não teve um início, mas sempre existiu, assim como o tempo. Esta posição foi desafiada por alguns, como Agostinho, que em sua concepção cristã, em torno do ano 400, propôs que Deus teria criado o Universo e com ele o próprio tempo. Kant (1781) concluiu que a questão do início do Universo não teria resposta, pois a razão poderia tanto prová-la quanto refutá-la, constituindo o que chamou de uma “antinomia da razão”.

No século XX, a Teoria da Relatividade Geral passou a tratar o contínuo do espaço-tempo como podendo ter diferentes formas geométricas, dependendo da distribuição de matéria e energia. Neste contexto surgiu a hipótese do *big bang*, o grande estrondo, sugerindo que haveria um início dos tempos.

Como entender isso intuitivamente? Se algo teve um início, tendemos a pensar que haveria uma situação anterior, mas no caso não poderia haver nada, pois é o próprio tempo que estaria nascendo... Mas como o tempo poderia subitamente vir a existir? Haveria um outro tempo, anterior ao que conhecemos, como o “tempo do vazio” de Kant?

A ideia de que haveria dois tempos foi retomada no séc. XX pelo cosmólogo Edward Arthur Milne e pelo físico Paul Dirac. Na teoria de Milne, desenvolvida em 1935, processos atômicos e luminosos seguiriam uma escala de tempo  $t$ , e os processos gravitacionais e os envolvendo grandes corpos (como planetas) uma escala  $\tau$ . A relação entre essas escalas seria que  $\tau$  varia com o logaritmo de  $t$ , de maneira que para um tempo de processos atômicos que tende a zero, o início da escala astronômica tenderia para menos infinito. Tanto a teoria de Milne quanto a de Dirac fracassaram.<sup>71</sup>

Uma das respostas dadas ao problema foi sugerida pelo físico inglês Stephen Hawking, aplicando a Física Quântica para a descrição do início do Universo. Juntamente com James Hartle, em 1983, desenvolveram um modelo matemático em que o tempo, no início do Universo, seria como o espaço (isso é feito, matematicamente, exprimindo o tempo como um número imaginário). Após o tempo de Planck de  $10^{-43}$  segundos (ver seção I.6), esse componente espacial do tempo passaria a ser desprezível, mas bem no início, no regime quântico, ele seria o termo dominante. O resultado disso é que o Universo não teria propriamente um início no tempo, não teria fronteiras, de maneira análoga ao Polo Norte, que não é o início da Terra, e de maneira análoga ao fato de que a superfície da Terra não tem fronteiras. Posteriormente, Hawking modificou este modelo com Neil Turok, de tal forma que o Universo não teria fronteiras no “instânton” inicial, mas se expandiria eternamente em direção ao futuro.

Partidários da teoria das cordas tendem a analisar a questão de maneira diferente, sugerindo a existência do universo pré-big bang.<sup>72</sup>

<sup>71</sup> Ver DAVIES, P. (1995), *O enigma do tempo*, trad. I. Korytowski, Ediouro, Rio de Janeiro (original em inglês do mesmo ano: *About time*), pp. 185-92. Sobre a teoria de Hartle-Hawking, ver pp. 250-7. HARTLE, J.B. & HAWKING, S.W. (1983), “Wave function of the universe”, *Physical Review D* 28, pp. 2960-75. HAWKING, S.W. & TUROK, N. (1998), “Open inflation without false vacua”, *Physics Letters B* 425, pp. 25-32.

<sup>72</sup> Ver VENEZIANO, G. (2004), “O enigma sobre o início do tempo”, *Scientific American Brasil* 25, pp. 40-9.