

ARTIGOS

BREVÍSSIMOS COMENTÁRIOS SOBRE O TEMPO

Antônio Vieira de Andrade Neto
Prof. Assistente do Dep. de Ciências Exatas
Mestre em Física – UFBA

RESUMO — *Neste trabalho analisamos alguns aspectos do tempo como os fornecidos pela física, a partir do conceito de tempo absoluto de Newton, passando pelo tempo irreversível da termodinâmica até o conceito de tempo relativo de Einstein, e os seus liames com o pensamento filosófico.*

ABSTRACT— *In this paper we examine some aspects about time provided by Physics from Newton's concept of absolute time to the irreversibility of time in Thermodynamics and Einstein's concept of relative time, and the links with philosophical thought.*

INTRODUÇÃO

O que é o tempo? Qual a real natureza do tempo? É o tempo irreversível? É o tempo básico e fundamental para o universo, ou, como dizia Kant, o tempo “é uma condição subjetiva necessária por causa da natureza da mente humana”? Houve um início para o tempo?

Essas questões têm ocupado as melhores mentes em todos os tempos. Assim analisaremos, brevemente, algumas dessas questões à luz da imagem do tempo fornecida pela Ciência, e, em particular, pela Física.

O QUE FAZIA DEUS ANTES DE CRIAR O TEMPO?

O tempo teve um início? O tempo foi criado junto com o Universo ou o tempo é eterno? Se o tempo foi criado em um determinado instante, o que fazia Deus antes desse momento?

Como Santo Agostinho nos ensina, não devemos nos conformar com a resposta irônica de que Deus “preparava a geena para aqueles que perscrui-

tam estes profundos mistérios”. Veremos a seguir algumas respostas dadas por alguns filósofos que se preocuparam com o tema.

Na mitologia grega, segundo a descrição de Hesíodo em Teogonia, o mundo foi criado a partir de CAOS, GAIA (Terra) e EROS (Fecundidade). Há também muitas outras divindades que lutam entre si. Apenas com a vitória de ZEUS sobre seu pai CRONOS — o Tempo —, os deuses retiram-se para o Olimpo, abandonando o homem à própria sorte, mas livre para iniciar a grande aventura intelectual humana, como, por exemplo, indagar sobre a natureza do tempo.

Para Aristóteles, o tempo é eterno, assim não tem sentido falar de um seu início.

Para Platão, ao contrário, o tempo nasceu, quando um ser divino colocou ordem no caos inicial. Também, para Platão, o mundo das idéias é eterno, enquanto o mundo dos sentidos, incluindo o tempo, possui uma realidade secundária.

Esse ponto de vista, de que a realidade é una e eterna, foi defendido por Zenão, quando da formulação dos seus famosos paradoxos. Uma análise desses paradoxos revela que o objetivo de Zenão é mostrar que, tanto a idéia da divisibilidade do espaço e do tempo, como o seu contrário, levariam a contradições lógicas, que só podem ser superadas admitindo que os diferentes aspectos que o mundo apresenta são ilusões dos sentidos.

A questão da divisibilidade do tempo também preocupou Santo Agostinho que assim se pronunciou:

Uma hora compõe-se de fugitivos instantes. Tudo o que ainda resta é futuro. Se pudermos conceber um espaço de tempo que não seja suscetível de ser subdividido em mais partes, por mais pequeninas que sejam, só a esse podemos chamar tempo presente. Mas este voa tão rapidamente do futuro ao passado, que não tem nenhuma duração. Se a tivesse, dividir-se-ia em passado e futuro. Logo, o tempo presente não tem nenhum espaço [duração]¹.

Podemos identificar as dificuldades de Santo Agostinho como sendo, essencialmente, da mesma natureza das que Zenão teve na análise do movimento, que necessariamente envolve o conceito de tempo. Essas dificuldades estão diretamente relacionadas com os conceitos básicos do cálculo diferencial e integral, não por acaso formulados por Newton quando da criação da sua teoria do movimento, que analisaremos na próxima seção.

E o que nos diz a Ciência sobre o início do tempo? É um fato bem estabelecido que a distância entre as galáxias está constantemente aumentando.

do, ou seja, o universo encontra-se em expansão, apesar da existência da força gravitacional entre elas, que é de natureza atrativa. Isso significa que, em algum momento no passado, entre 10 e 20 bilhões de anos, as galáxias estavam infinitamente próximas. Nesse instante, que chamamos de Big Bang (ou grande explosão), o universo teria uma temperatura e densidade infinitas e temos o que os matemáticos chamam de singularidade. Mas, ainda podemos perguntar: o que existia antes do Big Bang? Para a Ciência, essa questão não faz sentido porque, mesmo se houve algum acontecimento antes da grande explosão, a sua previsibilidade acabaria nesse momento. Assim, podemos considerar que o tempo teve início com o Big Bang, ou como diz Weinberg:

apesar de não sabermos se este instante existiu realmente, é pelo menos logicamente possível que *tenha havido* (grifo do autor) um começo e que o próprio tempo não tivesse nenhum significado antes dele. [...] podemos ter de nos habituar à idéia de um zero absoluto de tempo – um instante no passado, para além do qual é, por princípio, impossível imaginar um elo entre causas e efeitos. A questão permanece em aberto talvez para sempre.²

E DEUS CRIOU NEWTON — A TEORIA DO MOVIMENTO DE NEWTON

A Ciência Moderna teve início no século XVII, com os trabalhos de Galileu e de Kepler, entre outros. Mas coube a Isaac Newton criar a primeira grande teoria unificadora da Física, em que a idéia de lei natural foi aplicada em toda sua amplitude. No esquema newtoniano, a natureza é composta de partículas indestrutíveis que se movem de acordo com leis matemáticas rigorosas, no espaço e no tempo.

Em sua principal obra, *Principia Mathematica*, Newton apresenta as três leis do movimento, enunciadas a seguir:

LEI 1 — Todo corpo permanece em seu estado de repouso ou de movimento uniforme em linha reta, a menos que seja obrigado a mudar seu estado por forças impressas nele.

LEI 2 — A mudança de movimento é proporcional à força motriz impressa, e se faz segundo a linha reta pela qual se imprime essa força.

LEI 3 – A uma ação sempre se opõe uma reação igual, ou seja, as ações de dois corpos um sobre o outro sempre são iguais e se dirigem a partes contrárias.

Quais os significados dessas leis? Quais são suas implicações? A primeira lei, com possível tautologia à parte, é uma afirmação sobre referenciais, na qual podemos usar a definição de Landau e Lifshitz. “Por referencial entende-se um sistema de coordenadas que serve para indicar a posição das partículas no espaço, juntamente com um relógio, ligado a esse sistema, que sirva para indicar o tempo.”³ As leis da natureza são descritas em uma classe especial de referenciais, denominados inerciais, definidos pela primeira lei de movimento.

A segunda lei é o princípio fundamental da dinâmica; é a lei básica que permite determinar a evolução de um sistema dinâmico, conhecidas as leis de força que atuam sobre o sistema.

A terceira lei significa que as forças que agem sobre um corpo têm origem em outros corpos, isto é, uma força é apenas um aspecto de uma interação mútua entre dois corpos.

Outro conceito fundamental na teoria de Newton é o de massa. A massa, nessa nova visão de mundo, é uma medida quantitativa da inércia de um corpo, estando, assim, intimamente ligada à idéia de interação. Dessa forma, como diz Einstein “o sistema de conceitos de Newton apresenta extrema coerência lógica, porque descobre que as causas de aceleração das massas de um sistema são somente as próprias massas.”⁴

E qual o papel desempenhado pelo tempo na teoria de Newton? A descrição do movimento depende fundamentalmente dos conceitos de espaço e de tempo. Assim dizemos que um corpo se move, em relação a outro corpo, se ocupa posições diferentes em distintos instantes de tempo.

Para Newton, o espaço é absoluto já que, “por sua natureza, sem nenhuma relação com algo externo, permanece sempre semelhante e imóvel”, enquanto “o relativo é certa medida ou dimensão móvel desse espaço, o qual nossos sentidos definem por sua situação relativamente aos corpos”.

O tempo, do ponto de vista de Newton, também é absoluto. Citando o próprio Newton:

O tempo absoluto, verdadeiro e matemático flui sempre igual por si mesmo e por sua natureza, sem relação com qualquer coisa externa, chamando-se com outro nome ('duração'), o tempo relativo, aparente e vulgar é certa medida sensível e externa de duração por

meio do movimento (seja exato, seja desigual), a qual vulgarmente se usa em vez do tempo verdadeiro, como são a hora, o dia, o mês, o ano. ⁵

Logo, temos dois tipos de movimentos possíveis: o absoluto e o relativo, e mais uma vez citando Newton: “O movimento absoluto é a translação de um corpo de um lugar absoluto para outro absoluto, ao passo que o relativo é a translação de um lugar relativo para outro relativo.”

Há, entretanto, um problema. O que se apresenta aos nossos sentidos é o espaço e o tempo relativos, ou seja, o espaço e tempo absolutos não são empiricamente acessíveis. Assim, na prática “empregamos em vez dos lugares e movimentos absolutos os relativos, sem nenhum inconveniente na vida comum.” Situação claramente insatisfatória para a filosofia, afinal,

em discursos filosóficos, precisamos abstrair-nos dos nossos sentidos e considerar as coisas por si próprias, distintas do que são somente medidas perceptíveis delas. Pois pode ser que não haja nenhum corpo realmente em repouso, ao qual os lugares e movimentos de outros possam ser referidos.

Não obstante essas questões metafísicas, podemos tirar algumas conclusões lógicas sobre a natureza do tempo que emanam da teoria de Newton.

A segunda lei de movimento relaciona força e aceleração. Ela significa que, em cada instante, existe uma igualdade entre a força exercida sobre um corpo e a aceleração desse corpo, proporcional à massa. Matematicamente, a aceleração é definida como a derivada segunda da posição do corpo em relação ao tempo, (em notação matemática $a=d^2r/dt^2$), ou seja, o tempo aparece ao quadrado na lei fundamental que dá a evolução dinâmica do sistema, então dizemos que as leis do movimento de Newton são reversíveis, ou seja, não nos é possível distinguir um sentido de sucessão de eventos do sentido inverso, ou, em outras palavras, distinguir passado e futuro.

Outra consequência lógica das leis de Newton é o determinismo. Isso significa que as equações que descrevem o movimento são tais que, independentemente das condições iniciais, é possível prever com absoluta acurácia o comportamento do sistema para todos os tempos, futuro e passado. Por condições iniciais entende-se a determinação das posições e das velocidades de um sistema dinâmico em um tempo particular. Na verdade, podemos descrever um sistema físico de diferentes pontos de vista, e, assim, ele nos aparecerá sob formas distintas, o que significa que estamos observando o sistema físico em questão em referenciais diferentes, os quais, se forem

inerciais, são equivalentes, conforme garante a primeira lei de Newton. Em outras palavras: quando mudamos de um sistema inercial para outro, simplesmente mudamos as condições iniciais que não provocam nenhuma mudança no fenômeno em si.

Assim, por exemplo, um objeto deixado cair do teto de um trem que se move em linha reta com velocidade constante em relação à Terra, cairá em linha reta para um passageiro do trem e terá uma trajetória parabólica para alguém parado na estação; não fazendo nenhum sentido se indagar qual a verdadeira trajetória do corpo, pois, quando mudamos de observador, simplesmente mudamos as condições iniciais do sistema. Por isso dizemos que as leis de Newton são invariantes, quando fazemos uma mudança de um referencial inercial para outro, o que, no fundo, é uma afirmação sobre a objetividade das leis físicas.

O determinismo implícito nas leis de Newton, ou seja, o fato de que se conhecermos as forças que agem sobre um sistema, e um estado particular desse sistema, isto é, as posições e velocidades de todas as partículas que formam o sistema, então é possível, *a priori*, sabermos onde ele estará em qualquer tempo futuro bem como onde ele estava em qualquer tempo passado. Esse determinismo absoluto foi formulado com clareza por Laplace em sua obra *Ensaio Filosófico sobre as probabilidades*:

Devemos considerar o presente estado do universo como o efeito de seu estado anterior e causa do que se vai seguir. Se imaginarmos por um instante uma inteligência que pudesse conhecer todas as forças de que a Natureza é animada e as posições respectivas dos corpos que a compõem — uma inteligência suficientemente vasta para submeter estes dados à análise — ela compreenderia na mesma fórmula os movimentos dos maiores corpos do universo e os dos átomos mais minúsculos; para ela, nada seria incerto e o futuro, bem como o passado, estariam presentes à sua visão.⁶

Assim, da teoria do movimento de Newton temos as seguintes conclusões sobre a natureza do tempo:

(a) o tempo é contínuo, ou seja, infinitamente divisível e flui uniformemente em todo o universo

(b) o tempo é absoluto no sentido de que todos os acontecimentos ocorrem num instante de tempo particular e cuja duração não depende do movimento relativo do observador. Nas palavras do próprio Newton: “Todos os movimentos podem acelerar-se e retardar-se, mas o fluxo do tempo ab-

soluto não se pode mudar”. o que vale dizer que o intervalo de tempo entre dois acontecimentos quaisquer deve ser igual em todos os referenciais.

(c) o tempo é reversível, ou seja, não existe uma direção preferencial para o fluxo do tempo. Em outras palavras: não podemos distinguir passado e futuro.

BOLTZMAN E A IRREVERSIBILIDADE: A FLECHA DO TEMPO PODE SER FATAL

Faz parte do universo da experiência humana a sensação de que tudo que existe nasce, envelhece e morre. O que vale não só para os seres vivos como também para os planetas e as estrelas. Por incrível que possa parecer, este fato tão banal é estranho para a mecânica newtoniana.

Ou como escrevem Coveney e Highfield:

No tempo newtoniano existe um paradoxo. A experiência humana revela que o tempo se desloca para a frente. A passagem do tempo é o que nos capacita a observar o movimento, mas o motivo da existência da flecha do tempo continua inexplicado. A despeito da força que tem, as equações de movimento de Newton produzem resultados que vão contra a intuição; tem uma simetria no tempo que as deixa alheias ao sentido do tempo.⁷

A termodinâmica, ramo da Física que lida com fenômenos relacionados com os conceitos de temperatura e de calor, é uma descrição macroscópica de sistemas físicos formados por um número extremamente grande de partículas.

Em que a termodinâmica pode nos auxiliar na investigação da natureza do tempo? Para isso vejamos, brevemente, algumas características da termodinâmica bem como suas leis.

Como falamos acima, a descrição termodinâmica só se aplica a sistemas físicos com um número gigantesco de partículas, da ordem de 10^{23} , e os parâmetros termodinâmicos que caracterizam o sistema representam valores médios de grandezas microscópicas. Assim, por exemplo, a temperatura de um gás está relacionada com a energia cinética média das partículas do gás. Portanto, a descrição termodinâmica é de natureza estatística, ao contrário das leis deterministas newtonianas.

A primeira lei da termodinâmica afirma que o calor é uma forma de energia.

A segunda lei da termodinâmica afirma que existem processos na natureza que, mesmo havendo conservação de energia, ocorrem num só sentido: são irreversíveis. Assim, vemos aparecer, pela primeira vez na física, a flecha do tempo, que nos permite fazer uma distinção entre passado e futuro.

Existem diversas maneiras de expressar a segunda lei da termodinâmica, todas equivalentes. Uma maneira possível é: existe uma grandeza física chamada entropia e , em todo processo físico, ela aumenta ou, no mínimo, permanece constante. Se a entropia aumenta, o processo é irreversível.

Dessa forma, temos como fisicamente distinguir o passado do futuro: o futuro é a direção do tempo em que a entropia tende a aumentar.

Deve ser observado que usamos a palavra *tende*, ou seja, não podemos afirmar com certeza que a entropia sempre aumenta, o que revela o caráter probabilístico das leis da termodinâmica.

Assim, a termodinâmica fornece-nos uma pista para conhecermos a natureza do tempo por intermédio das idéias de caos molecular e aleatoriedade. O físico austríaco Ludwig Boltzmann foi o primeiro a dar uma interpretação estatística à segunda lei da termodinâmica, o que lhe valeu uma forte oposição de outros físicos e matemáticos, entre eles, Henri Poincaré e Ernest Mach, o que, aliado a graves problemas de saúde, levou-o ao suicídio, o que mostra que indagar sobre a flecha do tempo pode ser mortal, ou novamente citando Coveney e Highfield:

Boltzmann não foi a última pessoa a morrer em circunstâncias tristes quando procurava usar a linguagem dos átomos e moléculas para expressar a flecha do tempo e outras características do mundo em que vivemos. Como disse David Goodstein nas linhas de abertura do livro *States of matter*, de sua autoria: 'Ludwig Boltzmann passou grande parte da vida estudando mecânica estatística e morreu pelas próprias mãos em 1906. Paul Ehrenfest continuou a obra dele e morreu de modo semelhante em 1933. Agora é a nossa vez... talvez seja sensato abordar esse assunto com muito cuidado.'⁸

O ETERNO RETORNO

Como já falamos, as equações de Newton são reversíveis, isto é, não nos permitem distinguir passado e futuro. Aliás, essa é uma característica apresentada por todas as teorias físicas fundamentais como o eletromagnetismo (equações de Maxwell), teoria da relatividade e teoria quântica.⁹ Assim, para

as teorias físicas básicas, com exceção da termodinâmica, não existe uma flecha do tempo.

Mas como deixar de reconhecer a irreversibilidade presente no mundo? Uma possível saída é dada por Poincaré que enunciou um teorema no qual pretendia demonstrar que qualquer sistema isolado voltará ao seu estado inicial, após transcorrido um tempo suficientemente longo. Se imaginarmos o tempo infinito, o universo se repetirá periodicamente. Essa doutrina do tempo é chamada de Eterno Retorno e é assim expressa por Borges:

O número de todos os átomos que compõem o mundo é, embora descomunal, finito, e só capaz, como tal, de um número finito (embora também descomunal) de permutações. Num tempo infinito, o número de permutações possíveis deve ser alcançado, e o universo tem de se repetir. Novamente nascerás de um ventre, novamente crescerá teu esqueleto, novamente chegará esta mesma página às tuas mãos iguais, novamente percorrerás todas as horas até à de tua morte incrível. Esta é a ordem habitual desse argumento, do prelúdio insípido ao enorme desenlace ameaçador. É comum atribuí-lo a Nietzsche.¹⁰

Essa idéia de um tempo circular, apesar de ser simpática para muitos filósofos, não resiste a uma análise mais profunda. Em sistemas físicos muito complexos, a evolução temporal tipicamente ocorre em uma direção única, ou seja, a História não se repete. Isso ocorre porque, em sistemas muito complicados, temos a chamada dependência hipersensível das condições iniciais, o que significa que uma pequena mudança no estado do sistema em um certo instante produz uma mudança posterior que cresce exponencialmente com o tempo, ou, em outras palavras, uma pequena causa pode provocar um grande efeito, o que torna uma quimera a ambição de Laplace, mesmo para a física newtoniana.

E O DIABO UIVOU: HAJA EINSTEIN. O TEMPO MOSTRA NOVAS FACES

Vimos que as leis do movimento de Newton são invariantes, quando passamos de um referencial inercial para outro, o que, por si, põe em xeque o conceito de espaço absoluto. Em 1905, Albert Einstein, então com apenas 25 anos, ampliou a exigência de que todas as leis da física, não apenas as da mecânica, são idênticas em todos os referenciais inerciais, o que é conhe-

cido como princípio da relatividade de Einstein, e constitui o primeiro postulado da relatividade restrita.

O segundo postulado afirma que a velocidade da luz tem o mesmo valor em todos os referenciais inerciais.

De que forma esses dois postulados nos obrigam a abandonar o conceito de tempo absoluto de Newton? Devemos lembrar que na mecânica clássica, que tem como pressuposto básico a idéia de tempo absoluto, a velocidade de um corpo é sempre referida a um observador, o que deveria valer também para a luz, em contradição com as observações experimentais, que mostram que a velocidade da luz é constante qualquer que seja o movimento da fonte de luz. Assim, diferentes observadores medem diferentes intervalos de tempo, mostrando que o tempo não é absoluto.

De um ponto de vista filosófico, talvez cause incômodo definir uma grandeza fundamental como o tempo, a partir de um princípio físico.

A essa observação Einstein esclarece:

A teoria da relatividade é muitas vezes criticada por fazer desempenhar, sem justificação, um papel teórico central à propagação da luz, baseando o conceito de tempo sobre a lei da propagação da luz. A resposta a esta objeção é a seguinte: para dar significado físico ao conceito de tempo, algum processo tem que ser utilizado para permitir estabelecer relações entre lugares diferentes. É indiferente o processo escolhido, mas o que a teoria exige é que se escolha um sobre o qual tenhamos dados seguros. É a este requisito que satisfaz a propagação da luz no vazio. Num mais alto nível do que qualquer outro processo físico, graças às investigações de Maxwell e H. A. Lorentz.¹¹

Quais as implicações do novo conceito de tempo relativo? Afirmar que o tempo é relativo significa dizer que um intervalo de tempo transcorrido entre dois acontecimentos só possui sentido quando indicamos o referencial ao qual essa afirmação é referida. Assim, a simultaneidade é um conceito relativo, ou seja, se dois eventos são simultâneos para um observador, poderão não ser para outro observador que esteja em movimento relativo com o primeiro. Isso implica que o passado e o futuro, na relatividade, não só estão separados por um intervalo de tempo finito como também a duração desse intervalo dependerá da distância espacial entre o evento e o observador.

Assim, a relatividade livra a física de conceitos metafísicos como o tempo absoluto, empiricamente inacessível aos seres humanos, ou nas palavras de Prigogine e Stengers:

O fato de a relatividade fundar-se numa coação que não é válida senão para observadores físicos, para seres que não podem estar senão em um único lugar de cada vez e não em todo lado ao mesmo tempo, faz desta disciplina uma física humana - o que não quer dizer uma física subjetiva, produto de nossas preferências e convicções, mas uma física submetida às coações intrínsecas que nos identificam como pertencendo ao mundo físico que descrevemos. E é essa física que supõe um observador situado no mundo, e não a outra teoricamente concebida, a física do absoluto, que a experimentação não cessa de confirmar.¹²

Há muitos outros aspectos do tempo revelados por outras teorias físicas que não foram abordados aqui como, por exemplo, a teoria da relatividade geral, a teoria quântica e teorias mais recentes como a teoria do caos, o que confirma a previsão de Bergson: “Quanto mais nos aprofundarmos sobre a natureza do tempo, melhor compreenderemos que duração significa invenção, criação de formas, elaboração contínua do absolutamente novo.”

NOTAS

¹ Santo AGOSTINHO. *Confissões* (Coleção Os Pensadores), p.219.

² Steven WEINBERG. *Os três primeiros minutos*, p.166.

³ LANDAU e LIFSHITZ. *Teoria do campo*, p.5.

⁴ Albert EINSTEIN. *Como vejo o mundo*, p.185.

⁵ Isaac NEWTON. *Princípios matemáticos da filosofia natural*, p.156.

⁶ Citado por Moysés NUSSENZVEIG. *Curso de física básica*. v.1, p.337.

⁷ Peter COVENEY e Roger HIGHFIELD. *A flecha do tempo*, p.59.

⁸ COVENEY e HIGHFIELD, Op. cit., p.18.

⁹ Na verdade o ato de realizar uma medida em mecânica quântica é um processo irreversível, apesar de a equação básica que dá a evolução temporal de um sistema, equação de Schroedinger, ser invariante quando trocamos t por -t.

¹⁰ Jorge Luis BORGES. *História da eternidade*, p.59.

¹¹ Albert EINSTEIN. *O significado da relatividade*, p.40-1.

¹² Ilya PRIGOGINE e Isabelle STENGERS. *A nova aliança*, p.167.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGOSTINHO, Santo. *Confissões*. São Paulo: Nova Cultural, 1987.(Coleção Os Pensadores)
- BORGES, Jorge L. *História da eternidade*. 3. ed. Rio de Janeiro: Globo, 1953.
- COVENEY, Peter, HIGHFIELD, Roger. *A flecha do tempo*. São Paulo: Siciliano, 1993.
- EINSTEIN, Albert. *Como vejo o mundo* 10. ed. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1981.
- LANDAU, L., LIFSHITZ, E. *Curso de física teórica*. Teoria do campo. Moscou: Ed. Mir, 1978.
- _____. *Significado da relatividade*. 2.ed. Coimbra: Arménio Amado, 1984.
- PRIGOGINE, Ilya STENGERS, Isabelle. *A nova aliança: metamorfose da ciência*. Brasília: Universidade de Brasília, 1984.
- NEWTON, Isaac. *Princípios matemáticos da filosofia natural*. São Paulo: Nova Cultural, 1987, (Coleção Os Pensadores).
- NUSSENZVEIG, Moysés. *Curso de física básica: v.1 mecânica*, São Paulo: Edgard Blücher. 1981.
- WEINBERG, Steven. *Os três primeiros minutos*. Lisboa: Gradiva, 1987.