

100 anos da teoria da relatividade

Nada é relativo

Rickey Rogers/Reuters

Relançado, livro de Bertrand Russel, escrito há 80 anos, explica que o trabalho de Einstein busca “excluir o que é relativo” para que as leis físicas “independam das circunstâncias do observador”

Romildo Póvoa

Um século atrás, em 1905 portanto, era publicado um artigo que provocou profundas modificações no modo de se explicarem diversos fenômenos naturais, de se entender o Universo. O artigo saiu numa conceituada revista científica alemã, chamada *Annalen der Physik*, sob o título “Sobre a Eletrodinâmica dos Corpos em Movimento”. Foi o terceiro de autoria de Albert Einstein – recém-doutorado na Universidade de Zurique, na Suíça – a ser publicado e seria denominado Teoria da Relatividade Restrita ou Teoria da Relatividade Especial.

Em 1925, apenas 20 anos após o artigo de Einstein ter se tornado público, Bertrand Russell, filósofo e lógico-matemático inglês (1872-1970), publicou o livro *ABC da Relatividade*, primeiro texto importante de divulgação científica da Teoria da Relatividade, ainda hoje um dos melhores do gênero e dos mais acessíveis à maioria dos interessados que não possuam conhecimentos mais detalhados de física ou matemática. Depois de estar esgotado em português há dezenas de anos, a Editora Jorge Zahar teve a inteligente atitude de reeditá-lo, fazendo com que os

leitores tomem contato com uma primorosa obra de divulgação da também primorosa obra de Einstein, do qual Russell foi contemporâneo e com quem manteve importantes relações pessoais, intelectuais e políticas.

No *ABC da Relatividade*, Bertrand Russell expõe, logo de início, o equívoco de uma expressão ainda hoje utilizada, a que afirma que “tudo é relativo”, como se a teoria da relatividade quisesse dizer tal coisa, o que é falso. Talvez seja curioso que a Teoria da Relatividade de Einstein queira demonstrar justamente o contrário: “excluir o que é relativo e chegar a uma formulação das leis físicas, de maneira que independam das circunstâncias do observador” – segundo Russell. Na realidade o que a teoria faz é mostrar como desconsiderar os efeitos das circunstâncias.

Dilatação do tempo Os primeiros capítulos do *ABC* mostram a importância da Teoria da Relatividade na explicação e previsão de fenômenos que ocorrem quando se consideram objetos movendo-se com altas velocidades, próximas à da luz. A velocidade da luz já havia sido inicialmente determinada a partir

da observação e interpretação de uma diferença do instante de ocorrência de eclipses de satélites de Júpiter. Verificou-se que a luz se deslocava com a velocidade de aproximadamente 300.000 km por segundo no “éter”, substância que, acreditava-se na época, preencheria todo o Universo. Um famoso experimento realizado e refeito na década de 1890, o experimento de Michelson-Morley, mediu a velocidade de propagação da luz em diferentes posições em sua órbita. Espera-se verificar uma diferença de velocidades quando ela se movesse na direção do “vento de éter” em relação ao movimento na direção contrária. Mas o experimento mostrou não existir esta diferença.

Para interpretar o resultado do experimento, Fitzgerald e Lorentz desenvolveram a idéia de que os corpos em movimento (no caso, os “braços” do equipamento) se contraem, o que explicaria as medidas realizadas. Essa hipótese é hoje conhecida como a hipótese de contração de Lorentz. De qualquer maneira, o experimento indicava que a velocidade da luz era a mesma em todas as direções.

A constância da velocidade da luz (no vácuo, já que a idéia da existência do éter foi abandonada) em diferentes



Russell: apenas 20 anos após Einstein publicar a Teoria da Relatividade Especial, o filósofo britânico lançou seu ABC

referenciais inerciais (aqueles que estão em repouso entre si ou deslocando-se em relação ao outro com velocidade constante) foi um dos pilares da Teoria da Relatividade Restrita de Einstein. Utilizando isso como um postulado, além da idéia de que todas as leis físicas são as mesmas em quaisquer referenciais inerciais, Einstein desenvolveu equações que também mostravam o efeito da contração de um corpo em movimento. Entretanto, a contração não seria um “fato físico”, mas sim “o resultado de certas convenções de medição”, como ensina Russell.

Além disso, a teoria indicava que se medirmos a massa de um objeto, seu valor será maior quanto mais alta for a velocidade daquele corpo em relação a um dado referencial. E ainda que o intervalo de tempo medido será diferente (menor) daquele medido com o objeto em repouso. Esse último efeito, chamado “dilatação do tempo”, é um dos mais instigantes da teoria e decorre também da noção de que tempo e espaço não podem ser tratados independentemente, como ocorre na teoria clássica de Isaac Newton, mas sim de forma inter-relacionada.

Einstein estabeleceu o espaço-tempo, conceito fundamental para a compreensão da teoria. Ele decorre, entre outras razões, da verificação, a partir dos postulados da relatividade, particularmente daquele que define que a velocidade da luz independe do referencial

inercial considerado, de que eventos que são simultâneos num referencial, não o são necessariamente em outros. Um pode ocorrer primeiro que o outro em diferentes referenciais. As réguas, os relógios e as balanças (os equipamentos de medida) medirão intervalos de “espaço” (comprimentos), intervalos de “tempo” e massas diferentes em diferentes referenciais, dependendo da velocidade em que se deslocam.

Como esclarece Bertrand Russell no *ABC da Relatividade*, “a teoria da relatividade especial surgiu como uma maneira de explicar os fatos do eletromagnetismo”. As leis fundamentais do eletromagnetismo foram formuladas por James Clerk Maxwell no século 19, que considerou a luz como um fenômeno eletromagnético, o que foi comprovado posteriormente pelos experimentos de Hertz. A extensão da Teoria da Relatividade para referenciais não-inerciais (que se deslocam com velocidade variável em relação a outros) foi desenvolvida na Teoria da Relatividade Geral, publicada por Einstein em 1916. Ele desenvolveu um pouco antes uma nova idéia sobre a “gravitação”.

Geometria do “espaço-tempo” Segundo a teoria newtoniana, existiria uma “força gravitacional” entre dois corpos quaisquer (que se atrairiam na razão direta de suas massas e na razão inversa do quadrado da distância entre eles). Einstein lançou mão de uma geometria não-euclidiana elaborada por Riemann em meados do século 19. Essa geometria, na qual pode-se utilizar três dimensões indicando posições no espaço e uma quarta, indicando a “posição” no tempo permitiu eliminar o conceito de “força gravitacional” e explicar os “fatos ou fenômenos gravitacionais” como decorrentes da geometria do “espaço-tempo”, alterada nas proximidades de um corpo de acordo com a massa que ele possui e sua concentração de matéria. Um fenômeno então conhecido como “o avanço do periélio de Mercúrio”, não contemplado pela teoria newtoniana, pode ser explicado adequadamente pela relatividade geral e a teoria da gravitação de Einstein.

Em decorrência da interpretação da gravidade como resultante da curvatura do espaço-tempo afetada pela massa, Einstein pode prever, entre outras coisas, que a luz das estrelas se deslocaria

não em linha reta, mas numa linha curva ao passarem, por exemplo, nas proximidades de um astro de grande massa, como o Sol. Em 1919, por ocasião de um eclipse total do Sol, medidas efetuadas em Sobral, no Ceará, e em outros locais da Terra, mostraram que a previsão de Einstein com relação às posições em que as estrelas seriam observadas (diferentes daquelas quando o Sol não estivesse entre elas e a Terra) estava correta. Hoje existe em Sobral o Museu do Eclipse em comemoração à importância das fotografias e medições efetuadas naquele eclipse, que contribuíram para referendar a teoria da relatividade geral de Einstein e sua interpretação dos “fenômenos gravitacionais”.

A aplicação das Teorias da Relatividade (Restrita e Geral) na reelaboração de conceitos físicos, como os de massa, momento, energia e ação, e na Cosmologia – ciência que procura desenvolver modelos para explicar os fenômenos de grande escala do Universo – foi fundamental para importantes avanços no conhecimento humano sobre a interpretação de fenômenos naturais, como a chamada “Expansão do Universo”. Observações astronômicas efetuadas a partir da primeira metade do século passado mostraram que as galáxias estão se afastando uma das outras (exceto algumas, por razões explicáveis) como se o Universo estivesse se inflando, expandindo. Modelos cosmológicos, tendo como base a Relatividade Geral e geometrias não-euclidianas, permitem explicar razoavelmente este e outros fatos observados. Possibilitaram também a previsão da existência dos buracos negros, corpos nos quais a concentração de matéria é tão intensa que a curvatura do espaço-tempo se torna tão pronunciada que toda a matéria circundante em suas proximidades “cai” em sua direção, além de impedir a saída da luz ou outras radiações eletromagnéticas.

Essa interação entre matéria e espaço-tempo é representada elegantemente numa equação simbólica matemática extremamente sintética e apenas aparentemente simples, cujo primeiro termo mostra como o espaço-tempo é curvado pela matéria e o segundo indica como a matéria pode posicionar-se e mover-se no espaço-tempo. É essa equação que permite aos físicos criarem os modelos cosmológicos

relativísticos. Atualmente, computadores dos mais poderosos são usados para obter numericamente soluções das intrincadas equações desenvolvidas, que podem corresponder à descrição dos campos ao redor de estrelas, ao redor de buracos negros ou mesmo de todo o Universo.

No derradeiro capítulo do *ABC*, Russell discute as conseqüências filosóficas da teoria da relatividade. Ele, como um expoente filósofo e lógico-matemático, possuía todas as condições para tal discussão que desenvolve com maestria. E também com maestria, finaliza: “Após lidar com linhas inteiras de equações, em que os símbolos representam coisas cuja natureza intrínseca nunca poderemos conhecer, o físico chega finalmente a um resultado que pode ser interpretado em termos de nossas próprias percepções, e utilizado para produzir efeitos desejados em nossas próprias vidas. O que sabemos sobre a matéria, por mais abstrato e esquemático que seja, é o bastante, em princípio, para nos revelar as regras

segundo as quais ela produz percepções e sensações em nós; é dessas regras que os usos práticos da física dependem”.

O século decorrido desde a publicação da Teoria Especial da Relatividade constitui, no entanto, um intervalo de tempo pequeno, em termos históricos, para que se possa avaliar a real dimensão de um trabalho sem a inevitável contaminação dos juízos do avaliador pelo que está avaliando. Hoje, ainda vivemos os desenvolvimentos, as conseqüências e as explorações práticas das teorias físicas revolucionárias que surgiram no início do século passado. Na primeira metade do século 20, mudanças econômicas, sociais, políticas e culturais experimentadas por todo o mundo, e principalmente pela Europa e EUA, se processaram de maneira célere. O mundo das idéias foi agitado por revolucionárias teorias oriundas das ciências naturais – a Evolução, de Darwin e Wallace; os quanta, de Plank, Einstein e Bohr; e as Relatividades, Restrita e Geral, de Einstein – deixan-

do historiadores e filósofos atônitos, aturdidos, perplexos.

Concomitantemente, o impacto prático, no mundo real, da aplicação das tecnologias na crescente produção industrial da Europa e EUA, já naquela época, alterou de forma drástica as relações econômicas e sociais entre os indivíduos e entre as nações. Houve, como nunca ocorreu antes, uma complexa e intrincada trama entre o desenvolvimento específico, interno, da Física – Ciência Natural por excelência – e das demais áreas do pensar e fazer humanos.

Questão central A abordagem histórica dos acontecimentos científicos, inserindo-os no contexto em que ocorreram, é, sem dúvida, uma das formas mais eficazes para a condução a uma compreensão mais completa de como a ciência é construída e como é interligada ao entorno cultural, econômico, social e político dos cientistas e das instituições que os abrigam. Se é verdade que o entorno de Einstein exerceu sobre ele influências determinantes em sua ma-

DAS PATENTES À RELATIVIDADE

Einstein começou a ganhar notoriedade em 1905, com a publicação de artigos científicos. O primeiro deles foi sobre o movimento browniano (a respeito do movimento de partículas num fluido); o segundo, sobre o efeito fotoelétrico (pelo qual recebeu, em 1921, o prêmio Nobel de Física); o terceiro, o que originou o que é denominado Teoria da Relatividade Restrita ou Teoria da Relatividade Especial. No quarto artigo apresentou a famosa fórmula de conversão de matéria em energia: $E=mc^2$ – energia (E) é igual à massa (m) multiplicada pela velocidade da luz (c) elevada ao quadrado.

Einstein alcançou fama ainda bem jovem – ele nasceu em Ulm, em Württemberg, Alemanha, em 14 de março de 1879. Quando tinha praticamente um mês e meio de vida sua família passou a morar em Munique, onde posteriormente estudou no Luitpold Gymnasium. Mais tarde morou na Itália e estudou em Aarau, Suíça onde, a partir de 1896, ingressou na Escola Politécnica Federal Suíça, diplomando-se como professor de física e matemática em 1901. Acabou, entretanto, trabalhando no Escritório de Patentes suíço. Casou-se com a matemática Mileva Maric em 1903, com quem teve uma filha e dois filhos.

Nos anos seguintes, tornou-se docente particular em Berna (1908), professor extraordinário em Zurich (1909), diretor do Instituto de Física Kaiser Wilhelm e professor da Universidade de Berlim, na Alemanha (a partir de 1914). Separou-se de Mileva em 1919 e imediatamente casou-se com sua prima Elsa Löwenthal, falecida em 1936.

Em decorrência de ser judeu e de sua posição contrária ao

nazismo, em 1933 emigrou para os EUA, tornando-se professor de Física Teórica no Instituto para Estudos Avançados de Princeton, New Jersey, onde faleceu em 18 de abril de 1955.

Einstein publicou vários outros trabalhos importantes,



Pesquisa ODI

entre os quais a Teoria da Relatividade Geral, em 1916, que possibilitou um enorme desenvolvimento da Cosmologia, com a elaboração de leis que permitiram construir novo modelo do Universo. Nos últimos anos de vida procurou estabelecer uma Teoria Unificada que possibilitaria a criação de um único modelo de explicação da gravitação e do eletromagnetismo. Não teve tempo de atingir seu objetivo. ■

neira de pensar e agir, não é menos verdade que o mundo não seria, nem de longe, o mesmo sem Einstein.

Até que ponto o meio determina ou é determinado pelos indivíduos? Essa é uma questão central para a compreensão da história. A vida e a obra das pessoas, consideradas individualmente, é quase sempre irrelevante para a história. As exceções a essa regra – como Jesus Cristo, Buda e Maomé, ou Newton, Darwin e Einstein – são fenômenos relativamente raros e merecem atenção especial. Ao estudarmos a vida e a obra de Einstein, historicamente recentes e com riqueza de detalhes, podemos ponderar com mais propriedade sobre essa questão. Quais os determinantes históricos relevantes para que pudessem florescer as idéias de Einstein e quais as implicações históricas posteriores dessas mesmas idéias?

Menosprezo nazista A vida de Einstein (ver **Das patentes à relatividade**, na página anterior) transcorreu num mundo em constantes mudanças

Newton, Leibniz (acima) e Bohr (abaixo): como Einstein e outros físicos e matemáticos, muitas vezes eles escreveram mais como filósofos que como cientistas

Pesquisa ODI



geopolíticas e econômicas. A guerra entre a Rússia e o Japão, em 1904-5, e a Revolução Russa, de 1905 (que Lenin chamou de “ensaio geral para a Revolução de 1917”); a 1ª Guerra Mundial, de 1914-18; a Revolução Russa, em 1917; a Crise da Bolsa de Nova Iorque, em 1929; a 2ª Guerra Mundial, de 1939-45. São todos eventos contemporâneos a Einstein e de importância basilar para a compreensão da geopolítica do mundo atual. No início do século 20, uma parcela

significativa das mentes mais brilhantes do planeta encontrava-se na Alemanha, principalmente, em Berlim. No “esforço de guerra”, durante a 1ª Guerra Mundial, entretanto, a Alemanha não pode contar com a participação ativa de grande parte de seus cientistas. Muitos, na verdade, acabaram deixando

a e emigrando para outros países da Europa ou para os EUA. Fenômeno semelhante ocorreu no período em que transcorreu e no que antecedeu a 2ª Guerra Mundial. Segundo alguns historiadores, o Estado Nazista nutria um certo menosprezo pelos eruditos e pelos acadêmicos (Hitler considerava-se um homem do povo, possuindo um discurso populista) e esse foi um dos fatores que contribuíram significativamente para o fracasso alemão na 2ª Guerra, principalmente através de sucessivos reveses na área de inteligên-

cia, no planejamento estratégico, aplicação tecnológica, desenvolvimento e pesquisa científica. A determinação das causas e implicações políticas desse comportamento de parte da intelectualidade germânica é terreno fértil para pesquisas e discussões. Principalmente quando permite fazer comparações, analogias e inferências sobre a conformação social, política e cultural do mundo globalizado na atualidade – integração econômica versus fragmentação política; globalização “pasteurizada” de costumes versus reafirmação de valores culturais locais; etc.

Algumas posições políticas de Einstein quanto às duas Guerras Mundiais enfatizam sua repulsa aos nacionalismos e à belicosidade e permite incursões intelectuais sociológicas, culturais e políticas ao entorno de Einstein, enriquecendo não apenas a compreensão



Pesquisa ODI

de como a ciência é feita – como o cientista (o “grande” cientista) trabalha –, mas, também, permitindo uma compreensão mais profunda de como a nossa civilização veio a ser o que é.

Einstein, como Bohr, Mach, Newton, Leibniz, Pascal, e muitos outros físicos e matemáticos, muitas vezes escreveu mais como filósofo que como cientista. Atitude até certo ponto normal, uma vez que o cientista é, de fato, um filósofo natural, praticante que é da filosofia natural (a ciência). Não é ignorada, ao menos nos países de língua inglesa, a enorme influência da obra de Newton no pensamento da filosofia moderna. Também não há quem negue o fato de que o sucesso da filosofia natural de Newton, a Física, ditou padrões de desenvolvimento epistemológico a outras áreas do saber humano. Disciplinas próximas à Física, como a Química e a Biologia, e mesmo a outras mais distantes (principalmente através dos positivistas Comteanos), como a sociologia, a história e a geografia, durante muito tempo tiveram como paradigma epistemológico a física newtoniana. Menos reconhecida é a importância da obra de Faraday e Maxwell para o desenvolvimento da filosofia no final do século passado e início deste século (principalmente entre os neopositivistas e os positivistas lógicos).

Da leitura do livro de Russell pode-se concluir que, embora saibamos muito pouco, é assombroso que saibamos tanto – e ainda mais assombroso que tão pouco conhecimento possa nos dar tanto poder. ■

Romildo Póvoa Faria é da Pró-Reitoria de Extensão e Assuntos Comunitários da Unicamp, coordenador do Planetário de Campinas e escritor.