


EINSTEIN E A BUSCA PELA UNIDADE LÓGICA DO MUNDO: PRINCÍPIO DA RELATIVIDADE E GENERALIZAÇÃO DAS TRANSFORMAÇÕES DE LORENTZ

Vinícius Carvalho da Silva¹

Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS)

 <https://orcid.org/0000-0002-1061-2727>

E-mail: vinicius_c_silva@ufms.br

RESUMO:

No presente artigo analisamos o papel do princípio da relatividade e da generalização das transformações de Lorentz na física relativística de Einstein, cujo ideal filosófico era a construção de uma imagem da natureza dotada de máxima unidade e simplicidade lógica. Em seu realismo crítico-racionalista, Einstein visava elaborar uma “concepção de mundo” que expressasse a unidade lógica da natureza. Esse programa filosófico o fez, ao longo de sua carreira científica, elaborar “grandes sínteses”, buscando a compatibilidade entre diversos sistemas físicos.

PALAVRAS-CHAVE: Unidade da Natureza; Unificação da Física; Física Relativística; Einstein; Filosofia da Física.

EINSTEIN AND THE SEARCH FOR THE LOGICAL UNITY OF THE WORLD: PRINCIPLE OF RELATIVITY AND GENERALISATION OF LORENTZ TRANSFORMATIONS

ABSTRACT:

In this article we analyse the role of the principle of relativity and the generalisation of Lorentz transformations in Einstein's relativistic physics, whose philosophical ideal was the construction of an image of nature endowed with maximum unity and logical simplicity. In his critical-rationalist realism, Einstein aimed to develop a "conception of the world" that expressed the logical unity of nature. Throughout his scientific career, this philosophical programme led him to produce "great syntheses", seeking compatibility between different physical systems.

KEYWORDS: Unity of Nature; Unification of Physics; Relativistic Physics; Einstein; Philosophy of Physics.

¹ Doutor(a) em Filosofia da Ciência e Teoria do Conhecimento pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), Rio de Janeiro – RJ, Brasil. Professor(a) da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS), Campo Grande - MS, Brasil, onde coordena o Grupo de Pesquisa *Physikós* – Estudos de Filosofia da Física e da Cosmologia.

Introdução: Einstein e a filosofia

Há muitos estudos sobre as influências intelectuais de Einstein em diversos momentos de sua vida. Desde a juventude, quando foi leitor de Kant, os anos de “Academia Olimpya”, quando leu Hume, Mach e Poincaré, obras de literatura de Sófocles e Dickens, passando pela filosofia de Schopenhauer, até chegar a uma última fase, marcada pelo racionalismo de Espinosa. São influências gerais que exerceram impacto na formação de sua personalidade, dando-lhe erudição, lhe inculcando valores e incutindo sentimentos, lapidando seu caráter pelas ciências, artes e letras. Algumas influências filosóficas, no entanto, como Mach e Hume em um primeiro momento, Kant e Schopenhauer em outras ocasiões, e Espinosa na maturidade, impactaram diretamente em seu processo criativo no campo da física teórica. Isto é, contribuíram de modo mais direto em sua produção do conhecimento científico, em seu trabalho como físico.

No presente texto não queremos fazer uma reconstrução geral das muitas e diversificadas influências intelectuais de Einstein, mas, antes, vê-lo por outro prisma, não o de leitor de filosofia, mas o de físico filósofo, como um cientista que pensa não ser possível dissociar sua pesquisa científica da atividade filosófica. Para Einstein não há outra maneira de se fazer ciência a não ser examinando as bases e consequências filosóficas do próprio trabalho. Por isso, não deve o cientista deixar ao filósofo (profissional), o trabalho de filosofar (EINSTEIN. 2017, p. 66). Isto é, o cientista não deve deixar de ser filósofo.

Fazer filosofia, a saber, buscar uma definição dos conceitos básicos de um dado sistema de enunciados, examinar a simplicidade e a consistência lógica das teorias, esclarecer seus pressupostos ontológicos e epistemológicos fundamentais, é parte constituinte e central do trabalho científico, sobretudo “numa época em que os próprios fundamentos da física tornam-se tão problemáticos como ocorre agora” (Idem).

Lembremos que no início da primeira metade do século XX a física passava por uma crise em seus fundamentos. Alguns conceitos básicos, como “espaço”, “tempo”, “matéria”, “energia”, “causalidade” etc., estavam em profunda revisão, a consistência lógica de teorias clássicas encontrava-se em xeque, sua adequação com o mundo da experiência parecia vacilar e novas teorias de vanguarda surgiam. Para falar como Kuhn em *A Estrutura das Revoluções Científicas* (2001), após um longo período de ciência normal, diversas anomalias levaram a uma crise nos fundamentos do paradigma vigente, e a ciência experimentava uma fase de ebulição, um período de “ciência extraordinária”, em que revoluções estavam sendo engendradas. Para Einstein, em *Física e Realidade* (2017), justamente nesses períodos críticos é que os físicos mais são chamados a filosofar.

Da filosofia da física de Einstein, destacaremos dois pontos nessa ocasião. Passaremos brevemente pelo primeiro, que nos servirá como uma espécie de pano de fundo geral acerca da concepção filosófica que nosso autor tem da ciência, e nos deteremos no segundo, uma questão mais pontual, restrita ao escopo de um sistema de enunciados bem delimitado, a Teoria da Relatividade Especial, ou TRE e a Teoria da Relatividade Geral, ou TRG, como as chamaremos aqui. São nossos pontos:

1. A busca por uma imagem física do mundo dotada de unidade, ordem, e simplicidade, como o objetivo da ciência.
2. As aplicações e relações do princípio de relatividade de Galileu e das transformações de Lorentz nos domínios da TRE e da TRG como um caso especial de 1.

Nossa ideia é que, apesar de serem dois pontos aparentemente desconexos (o primeiro uma questão de “metafísica da ciência” em um sentido muito amplo, ou seja, uma concepção geral acerca da relação entre ciência e realidade e do objetivo da ciência em face do real, e o segundo uma questão estrita de “filosofia da física”, no sentido de ser uma análise pontual da relação entre conceitos no interior de uma dada teoria) eles estão intimamente ligados. Sendo assim, 2 seria uma espécie de confirmação ou realização de 1.

Ora, não é muito sofisticado nem bastante original, mas pode ser que seja ao menos pedagógico, pontuar que ao edificar tanto a TRE quanto a TRG sob os pilares do princípio da relatividade e das transformações de Lorentz, Einstein está vindicando ter dado mais um passo, quiçá um dos mais decisivos e derradeiros passos rumo a uma imagem unificada da natureza, em que as leis universais que governam ou ordenam o real são invariáveis e todo o sistema de enunciados que representa essa realidade é dotado de elevada elegância e simplicidade lógica. Antes de passarmos ao segundo ponto, vejamos brevemente o primeiro.

Princípio de relatividade como pressuposto metafísico fundamental

O que aqui chamamos de “Princípio de Relatividade”², de acordo com o qual as leis da física são as mesmas em todos os sistemas referenciais, possui, em nossa concepção, a natureza de um pressuposto metafísico. Entendemos por um pressuposto metafísico de uma teoria física um enunciado universal assumido axiomáticamente como condição necessária para o desenvolvimento da teoria em questão, ou da própria física, em geral. Tal enunciado é um pressuposto justamente porque deve ser assumido *a priori*, como “condição necessária”, isto é, como condição sem a qual não (*sine qua non*) podemos estabelecer os fundamentos de uma teoria (ou de toda uma área do saber, como a física). Tal pressuposto é meta-físico, mais uma vez, *termos* que assumi-lo previamente, como condição inteligível de possibilidade³ para, uma vez que não pode ser provado posteriormente pela experiência. Em suma, o pressuposto é metafísico por que não pode ser provado pela física, uma vez em que ele é a própria condição epistêmica de possibilidade da física. O princípio da relatividade fora tão fundamental para Einstein quanto o “princípio cosmológico”.

O *princípio cosmológico* afirma a homogeneidade e isotropia do espaço (LIMA; SANTOS. 2018, p. 70). Trata-se de uma reformulação do cosmos de Parmênides, que, conforme Popper, defendia a cosmologia de um universo “completamente homogêneo”, igual em todas as direções, idêntico a si mesmo qualquer que seja a região analisada (POPPER. 2014, p. 134). A relação heurística fundamental entre o princípio de relatividade e o princípio cosmológico revelam uma conexão profunda no quadro geral da natureza tal como vislumbrado por Einstein. Ora, se (A) “O universo é sempre idêntico a si mesmo, isto é homogêneo e isotrópico em todas as direções”, nada mais lógico, como produto de sua unidade e inteligibilidade, que (B) “As leis da física sejam, igualmente, as mesmas, em todos os sistemas referenciais”. O que aqui se afirma não é uma relação de causalidade AB ou BA, mas uma unidade e harmonia profundas entre a homogeneidade e a

² Conforme Rocha, Rizutti e Mota em *Transformações de Galileu e Lorentz: Um estudo via teoria de grupos*: “A universalidade da física é descrita por um princípio básico, que talvez devesse ser chamado de axioma, por ser aceito sem demonstração devido a sua clareza e razoabilidade: o princípio da relatividade. Seu enunciado é o seguinte: *As leis da física são as mesmas em qualquer referencial inercial*” (ROCHA, RIZUTTI, MOTA. 2013, p. 1).

³ Por “condição necessária” assumimos uma condição *x* sem a qual *y* não poderia existir. Assim, a condição necessária é uma “condição de possibilidade”: A existência de *x* é o que torna possível que *y* seja o caso. O pressuposto metafísico é uma “condição inteligível de possibilidade”, pois se trata de uma condição epistêmica, teórica, e não de condição material.

isotropia do universo e a universalidade das leis da física: O quadro que se descortina aponta para a unidade lógica do mundo.

A busca por pela “unidade lógica do mundo”

Como Einstein concebe o objetivo da ciência em sua relação com a realidade? Em *Física e Realidade* o físico filósofo sustenta que o objetivo da ciência, em sua “luta por unidade”, é chegar a uma compreensão, na medida em que isto for possível, da “unidade lógica do mundo” (EINSTEIN. 2017, p. 68). Para tanto, o físico elabora sua teoria como uma espécie de “símile” lógico do real, isto é, busca fazer da teoria um sistema lógico capaz de refletir, ainda que de modo aproximado, essa “unidade lógica do mundo”:

O essencial é o objetivo de representar a multiplicidade de conceitos e proposições próximos da experiência como teoremas, logicamente deduzidos e pertencentes a uma base, o mais estrita possível, de conceitos e relações fundamentais, que possam, eles próprios, ser livremente escolhidos (axiomas) (EINSTEIN. 2017, p. 69).

O físico é bem sucedido na construção desse sistema lógico, quando ele consegue algum avanço em sua “luta por unidade”. A história dessa luta – que é de natureza filosófica – nos leva aos primeiros físicos e cosmólogos do ocidente, conhecidos como filósofos pré-socráticos. Em “As bases filosóficas”, tópico de *A evolução da física*, clássico escrito com Leopold Infeld, Einstein pontua como o objetivo da ciência é fixado já em sua aurora entre os gregos:

Em toda a história da ciência, desde a filosofia grega até a física moderna, verificaram-se tentativas constantes de reduzir a aparente complexidade dos fenômenos naturais a algumas ideias e relações fundamentais simples. Esse é o princípio subjacente de toda a filosofia natural (EINSTEIN; INFELD. 2008, p. 53).

Esta concepção de Einstein não é original. A ideia de que o objetivo da ciência é ou a “descoberta” ou a “representação” de uma imagem unificada e simples do mundo, um movimento de redução da diversidade de fenômenos complexos e particulares a uma causa única, simples e universal, projeto filosófico que nasce entre os gregos antigos, era compartilhada por outros físicos filósofos de sua época. Para John Stachel, em *O ano miraculoso de Einstein*, a “doutrina da unidade essencial da natureza” era “especialmente popular na Alemanha desde a época de Alexandre von Humboldt” (STACHEL. 2005, p. 26). Em *A unidade da concepção do Universo na física*, Max Planck defende que “agrupar numa síntese sistemática a prodigiosa diversidade dos fenômenos físicos, e até, se possível, condensá-la numa fórmula única”, é a grande finalidade da ciência da natureza (PLANCK. 2012, p. 59).

A mesma noção está presente em Erwin Schrödinger, quando em *A natureza e os gregos* considera que o “Nascimento da Ciência” ocorreu entre os filósofos antigos, concebendo Tales de Mileto como “o primeiro cientista do mundo” (SCHRÖDINGER. 1996, p. 58). O que os filósofos gregos fizeram de tão especial a ponto de fundar a ciência? O formulador da mecânica ondulatória destaca que entre eles nasceu a “atitude fundamental da ciência até a atualidade”, que é a de encarar o mundo dotado de ordem e unidade e o ser humano, de curiosidade e razão, capaz, portanto, de descobrir as causas e os princípios que regem os fenômenos (Idem). Para Schrödinger, os filósofos gregos entendiam que embora os fenômenos naturais fossem complexos e variados, aparentemente sem relação alguma entre si, eles deveriam ser determinados por causas únicas e

simples. Assim como Planck, Schrödinger e muitos outros, a grande busca filosófica de Einstein era alcançar uma teoria completa, logicamente simples, que expressasse a unidade da natureza, como pontua Stachel:

Em 1901, ele [Einstein] escreveu; “É uma sensação maravilhosa perceber a unidade de um conjunto de fenômenos que, para os sentidos imediatos, parecem ser coisas totalmente separadas”. Muito mais tarde, rememorando sua vida, ele escreveria: “O objetivo real da minha pesquisa sempre foi a simplificação e a unificação do sistema da física teórica” (STACHEL. 2005, p. 30).⁴

Poderíamos prosseguir vastamente citando trechos de artigos, cartas ou pronunciamentos em que Einstein frisa que a grande realização física é a elaboração de uma imagem unificada da natureza, ou apontando cientistas que escreveram coisas semelhantes. Todavia, mais do que destacar algumas passagens ou nomes em particular, queremos frisar que havia uma tendência geral, mais ou menos consensual, de que o objetivo da ciência é chegar a uma imagem simples e unificada da natureza.

Iremos nos concentrar, daqui por diante, em mostrar como a TRE e a TRG encarnam tal objetivo, e o papel heurístico que o princípio de relatividade de Galileu e as transformações de Lorentz desempenham nessa história.

Invariância, relatividade e transformações de Lorentz na teoria da relatividade de Einstein

A busca por unificação na física é histórica. Por exemplo, o trabalho de Faraday, desdobrado e formalizado por Maxwell, e posteriormente demonstrado experimentalmente por Hertz, nos mostra a unidade subjacente entre a eletricidade, o magnetismo e a luz. A TRE, por sua vez, “unifica” massa e “energia” por meio de seu princípio de equivalência, formalizado pela famosa equação $E = mc^2$. A TRG revelará a unidade entre espaço e tempo, em um novo sistema de mundo, onde a topologia do espaço-tempo é determinada pelas concentrações locais de massa-energia, o que provoca os efeitos gravitacionais⁵:

Na teoria da relatividade geral, a doutrina do espaço e tempo, ou cinemática, não figura mais como um princípio independente do resto da física. Ao contrário, o comportamento geométrico dos corpos e o movimento dos relógios dependem de campos gravitacionais que, por sua vez, são produzidos pela matéria (EINSTEIN. 2017, p. 62).

⁴ A primeira declaração de Einstein é retirada de uma carta a Grossmann: Einstein a Marcel Grossmann, 14 de abril de 1901, *Collected papers*, v. 1, doc. 100, p. 209. A carta pode ser lida em:

<<<https://einsteinpapers.press.princeton.edu/voll-doc/358>>>. A segunda declaração encontra-se em DUKAS, Helen; HOFFMANN, Banesh. *Albert Einstein: the human side*. Princeton-NJ: Princeton University Press, 1979.

⁵Para verificar como os conceitos de “espaço”, “tempo”, “massa” e “energia” encontravam-se relacionados em outros momentos da física pré-relativística, recomendamos a leitura de “Introdução aos Princípios de Mecânica” de Hertz. O texto pode ser lido em: HERTZ, Heinrich. *Física Mecânica e Filosofia: O legado de Hertz*. Trad. Gabriel Dirma Leão. Rio de Janeiro: Eduerj, 2012. pp. 73-103. É bastante claro que espaço, tempo e massa se relacionam na física de Galileu e em Newton. Os quatro conceitos também se relacionam, de acordo com Hertz, na “doutrina da energia”: “[...] aqui partimos também de quatro conceitos fundamentais independentes, cujas relações entre si devem formar o conteúdo da mecânica. Dois deles tem caráter matemático: espaço e tempo. Os outros dois, massa e energia, são introduzidos como entidades físicas existentes já em dada quantidade que não pode ser reduzida ou aumentada” (HERTZ, 2012, p. 91). A inovação teórica de Einstein, é evidente, não está em erigir um sistema conceitual em que espaço, tempo, energia e massa estão sob o mesmo “guarda-chuva” teórico. Como vimos, os quatro conceitos de que nos fala Hertz são reduzidos a dois: espaço-tempo e massa-energia. Os dois conceitos são entidades físicas objetivas e não são “independentes”, como na fala de Hertz. Espaço-tempo e massa-energia são interdependentes e co-determinantes.

Vamos repetir, como exercício de exploração do alcance unificador da teoria: O que temos na TRG é uma grande síntese global em que um novo esquema conceitual nos permite deduzir a geometria do mundo e explicar os efeitos gravitacionais como distorções do espaço-tempo provocadas pela distribuição de massa-energia.

Há aqui uma relação simétrica entre a gravidade (decorrente da presença de matéria) e a geometria. Se partirmos da geometria do mundo, dada a distribuição de matéria, poderemos deduzir os efeitos gravitacionais em um sistema de coordenadas.

Se partirmos do campo gravitacional de uma região, poderemos deduzir as propriedades geométricas do mundo naquele sistema de coordenadas. Essas relações são dadas pela equação da relatividade geral⁶: $G_{im} = -k (T_{im} - \frac{1}{2}g_{im}T)$

Na descrição de Robert P. Crease, essa equação contém um diálogo capital, que reflete bem a simetria supracitada: “O espaço-tempo diz à matéria como ela deve se mover, a matéria diz ao espaço-tempo como ele deve se curvar” (CREASE. 2011, p. 163). Esse tratamento do campo gravitacional nos permite, conforme Einstein, deduzir por meios sumamente teóricos, isto é, exclusivamente pelo cálculo, o comportamento da propagação da luz no espaço, o movimento dos astros e dos corpos em geral, dentre outras propriedades físicas (EINSTEIN. 1999, p.63).

Em um único esquema conceitual Einstein avançava na medida em que se beneficiava de alguma forma, dos resultados científicos de alguns contemporâneos. Na elaboração da teoria da relatividade certos trabalhos foram muito importantes, como os de Poincaré, Lorentz e Hilbert. A generalização que Einstein faz das transformações de Lorentz está na base do princípio da relatividade. Lorentz havia chegado a uma descrição eletrodinâmica dos corpos em movimento:

Em 1904 Lorentz finalmente apresentou uma teoria sistemática e abrangente e pôde, com a ajuda de suas transformações, explicar em princípio todos os fenômenos da eletrodinâmica de corpos em movimento. O matemático francês Henri Poincaré chamou estas, que se tornariam posteriormente uma das peças centrais da teoria da relatividade, de transformações de Lorentz. Em sua formulação, a teoria de Lorentz abrangia uma série de estranhos fenômenos, pelos quais a teoria da relatividade é hoje conhecida: a contração do comprimento bem como a retardação de processos como função do sistema inercial do observador, e até mesmo o aumento da massa de um corpo com sua velocidade (RENN. 2004, p. 33).

Para Lorentz, suas transformações não representavam uma reformulação das transformações de Galileu. As transformações de Galileu se aplicariam aos sistemas mecânicos, ao passo que suas transformações se restringiriam aos sistemas eletrodinâmicos. Ademais, Lorentz não as compreendia como um caso do princípio de relatividade da física clássica. Conforme Jürgen Renn, as transformações de Lorentz descreviam o comportamento dos corpos em movimento sem a pretensão de resguardar a invariância das leis da física:

No entanto, Lorentz associou a suas transformações uma interpretação que difere fundamentalmente daquela da futura teoria da relatividade. **Para Lorentz não se**

⁶ Aqui seguimos a formalização transcrita por Crease. Para consultar os originais dos trabalhos de Einstein recomendamos o *The Collected Papers of Albert Einstein*, da Universidade de Princeton, disponível em <<<https://einsteinpapers.press.princeton.edu/>>>. Conforme Crease, “A equação tem duas partes. Do lado esquerdo, há um conjunto de termos que se referem à geometria do espaço. Do lado direito, um conjunto de termos que descrevem a distribuição de energia e o momento. O lado esquerdo é geometria, o direito é matéria. Como o físico John Wheeler gostava de observar, lendo da esquerda para a direita, temos o espaço-tempo dizendo como a matéria deve se mover; lendo da direita para a esquerda, temos a massa dizendo como o espaço-tempo deve se curvar” (CREASE. 2011, p. 175).

tratavam de transformações que tinham por objetivo garantir que as leis que valessem num referencial fixo também valessem num que se movesse com velocidade uniforme, fazendo assim justiça ao princípio da relatividade clássica. Para ele valiam ainda, acima de tudo, as transformações de Galileu da física clássica, que porém só garantem o princípio da relatividade na mecânica [grifo nosso] (RENN. 2004, p. 33).

O que nos é importante ressaltar, nessa oportunidade, é como o uso que Einstein faz das transformações de Lorentz nos permite ilustrar seu princípio da relatividade. Einstein opta por aplicá-las ao seu sistema físico, pois, como Poincaré frisa, das transformações de Lorentz podemos deduzir “estranhos fenômenos” que Einstein queria incorporar à sua concepção científica do mundo, como o aumento da massa de um corpo com base na velocidade, bem como efeitos de contração de comprimentos e “retardação” de processos eletrodinâmicos. Mas ao incorporar as transformações de Lorentz, Einstein as assume como parte de um sistema de mundo, isto é, como propriedades gerais de todos os fenômenos espaço-temporais:

As transformações, que Einstein derivou independentemente segundo um ponto de vista mais geral e universal, foram introduzidas por Lorentz e consideram-se como universais e aplicáveis a todos os fenômenos, sendo caminho para tratar o espaço e o tempo no âmbito dos fenômenos eletrodinâmicos (MENESES. 2005, p. 46-47).

Ao conceber as transformações de Lorentz como “universais e aplicáveis a todos os fenômenos”, Einstein as acomodou sob o “guarda-chuva” do princípio de relatividade.

Com o auxílio das transformações de Lorentz, o princípio da relatividade especial pode ser expresso assim: as leis da natureza são invariantes com respeito às transformações de Lorentz (isto é, uma lei da natureza não tem sua forma alterada quando se introduz nela um novo sistema inercial com auxílio de uma transformação de Lorentz em x, y, z, t) (EINSTEIN. 2017, p. 50).

O que fica patente nessa citação é que Einstein parece “apostar tudo” em uma jogada de mestre. Ele quer salvar tanto as transformações de Lorentz, que lhe permitem deduzir efeitos físicos relativísticos fundamentais para sua teoria, quanto o princípio de relatividade, sem o qual sua própria concepção de física careceria de sentido. É esse duplo movimento que ele realiza quando sustenta que as leis da física não são alteradas (logo, permanecem as mesmas) quando nos utilizamos das transformações de Lorentz em um dado sistema inercial, ou passamos de um sistema a outro.

Em suma, conforme o princípio da relatividade da TRE de Einstein, todo movimento no espaço-tempo é relativo. Na métrica do espaço-tempo relativístico, dadas as transformações de Lorentz, observadores em movimento com velocidades distintas medem diferentes valores de tempo e espaço. O movimento é relativo aos observadores. O que esse quadro geral pressupõe, no entanto, parece ficar “escondido” abaixo da superfície, mas está, com perdão da palavra, “escancarado” no próprio princípio de relatividade: os movimentos são relativos, mas as leis da natureza são absolutas e universais!

Esse efeito relativístico não acontece somente com alguns corpos e não com outros, ou somente em algumas regiões e não em outras. A relatividade dos corpos em movimento, conforme as transformações de Lorentz, se aplica em todos os sistemas referenciais. Em sistemas clássicos (baixas velocidades, baixo campo gravitacional) os efeitos podem ser tão mínimos que, do ponto de vista prático, podemos considerá-los irrelevantes. Por isso dizemos que a física clássica é um

caso limite da física relativística. À medida que nos afastamos das condições clássicas, no entanto, os efeitos relativísticos passam a ser notados com intensidade cada vez maior. O que nos interessa frisar neste artigo, é que esses dois postulados físicos correlatos, o princípio da relatividade (do movimento) e as transformações de Lorentz, (assim como a constância da velocidade da luz) são, no escopo da teoria da relatividade de Einstein, casos do princípio de relatividade da física clássica, isto é, expressões da universalidade e invariância das leis da física.

O núcleo heurístico e o fundamento conceitual da teoria da relatividade de Einstein é a invariância das leis e não a relatividade dos corpos em movimento no espaço-tempo. O uso que Einstein faz das transformações de Lorentz, generalizando-as a partir do princípio da relatividade não é como um fim em si mesmo da teoria da relatividade. O princípio da relatividade do movimento deve ser compreendido como um caso do “princípio de invariância”:

[...] a TRE se caracteriza muito mais pela invariância das leis da natureza do que pela relatividade do espaço-tempo, parecendo assim o consagrado título sugerido por Planck, um equívoco, sendo “Teoria da Invariância”, mais adequado (PONCZECK. 2009, p. 176).

Para Ponczeck, o nome “teoria da relatividade” introduzido por Max Planck em 1906 é infeliz na exata medida em que enfatiza não a invariância, mas a relatividade. Para ele o nome mais apropriado seria “teoria da invariância”. Precisamos lembrar, no entanto, que há séculos, desde Galileu e Newton, o nome “princípio de relatividade” trata justamente da propriedade invariante das leis da física. A escolha de Planck, nesse sentido, é historicamente justificada. Contudo, no que diz respeito ao que é mais importante na teoria da relatividade, Ponczeck está coma a razão. O próprio Einstein expressou-se claramente nesse sentido:

O princípio universal da Teoria da Relatividade restrita está contido no postulado: as leis da Física são invariantes em relação às transformações de Lorentz. [...] Este é um princípio restritivo para as leis naturais, comparável ao princípio restritivo da não-existência do *perpetuum mobile* que é a base da termodinâmica (EINSTEIN. 1982, p. 54).

Apesar das grandes inovações da teoria da relatividade de Einstein, o seu princípio fundamental, a invariância das leis da física, é um postulado básico da física clássica. Isso significa que a teoria da relatividade de Einstein não é uma invenção intelectual sem história, sem filiações genealógicas, que resulta do nada, como em um estalo de gênio, na mente solitária de Einstein. Einstein faz parte de uma tradição:

Quando Einstein publicou seu primeiro trabalho sobre relatividade já existiam:

- .O princípio da relatividade;
- .As transformações de Lorentz para o espaço e tempo;
- .As transformações das grandezas eletromagnéticas;
- .A maior parte da dinâmica relativística.

Os principais resultados da dinâmica relativística que haviam sido obtidos antes de Einstein eram:

- .A equação da variação da massa do elétron com a velocidade;
 - .A relação entre fluxo de energia e densidade de momento;
 - .A relação entre massa e energia, em alguns casos específicos (sem formulação geral)
- (MARTINS. 2005, p. 21).

Os dois pilares, a dupla hélice, da teoria da relatividade de Einstein, é formada por dois princípios relativísticos e que se relacionam profundamente. Por um lado, como vemos acima, temos o princípio de relatividade, ou “princípio de invariância das leis da física”, formulado por Galileu e Newton, e incorporado por Einstein como pedra angular de sua teoria. Por outro lado temos uma “pedra fundamental” não menos importante, e que representa uma grande inovação conceitual na física: o princípio da relatividade dos corpos em movimento, que nega a possibilidade de movimento absoluto, que destrona de uma só vez todo e qualquer referencial absoluto, seja o espaço absoluto newtoniano ou o éter luminífero que a experiência de Michelson-Morley também solaparia.

Considerações finais

Einstein foi um pensador em busca de grandes sínteses, movido pelo ideal grego de unidade da natureza. A unificação da física foi o santo graal sempre desejado e jamais alcançado. Em *Da invariância das leis da física à relatividade dos corpos em movimento: entre Leibniz e Einstein* (2021) Bentes e Silva mostram como Einstein elaborou uma mecânica relativística do espaço-tempo que é filosoficamente herdeira de mecânicas relacionais, como as de Leibniz e Mach. Por outro lado, Einstein também foi herdeiro de Galileu e Newton.

Assim, se a raiz do princípio de invariância remonta a Galileu e Newton, a raiz do princípio da relatividade dos corpos em movimento nos leva até Leibniz. Einstein que era movido por um amor incansável pela construção de grandes sínteses capazes de nos oferecer uma imagem unificada do mundo, conseguiu, apesar de suas tensões e contradições aparentes, unir essas duas tradições. Da filosofia natural de Galileu e Newton extraiu a centralidade da invariância para a física. Da filosofia natural de Leibniz preservou o postulado da relatividade dos corpos em movimento a partir da negação do espaço absoluto.

Pontuamos que esse princípio da relatividade dos corpos em movimento é um caso especial do princípio de invariâncias das leis da física, uma vez em que o movimento é sempre e universalmente relativo, independente dos sistemas inerciais. É de suma importância, no entanto, compreendermos que o princípio de relatividade do movimento não é menos importante ou menos original que o princípio da invariância, por ser um caso daquele. Lembremos que também em Galileu está estabelecido uma relatividade do movimento, e que a relatividade do movimento é um elemento básico da física clássica. O que acontece, no entanto, é que na física clássica, para assumir a relatividade do movimento não é necessário negar a natureza absoluta do espaço.

O que Einstein faz é diferente. Dos clássicos ele preserva a invariância das leis da física, mas não a relatividade parcial, que é a relatividade dos corpos em relação uns aos outros tendo como pano de fundo ontológico o espaço absoluto de Newton. Einstein preserva o princípio de relatividade de Galileu e Newton no que trata da universalidade e invariância das leis da física, mas nega qualquer referencial absoluto, assumindo, assim, uma concepção de movimento que, sem meias palavras, teve o caminho aberto pela filosofia natural de Leibniz. É no pensamento de Leibniz que a relatividade deixa de ser parcial e atinente somente à relação entre os corpos, e passa a ser geral, aplicando-se, por assim dizer, ao próprio espaço.

Somente a busca por grandes sínteses, pela unidade lógica do mundo, levaria Einstein a desejar construir um quadro geral da natureza capaz de harmonizar os sistemas de Galileu, Leibniz, Newton, Mach e Lorentz. No presente artigo vimos como Einstein buscou compatibilizar as transformações de Lorentz, por meio das quais poderia deduzir, em seu sistema físico, efeitos relativísticos, com o princípio de relatividade. Era necessário demonstrar como as transformações

de Lorentz eram compatíveis com o princípio de relatividade assumido pela TRE e TRG. Foi o que fez. Einstein foi um físico filósofo ainda orientado pelo sonho dos φυσικός jônicos⁷: *Tudo é Um!* Acreditava com paixão que “Esse é o princípio subjacente de toda a filosofia natural” (EINSTEIN; INFELD. 2008, p. 53).

⁷ Physikós, ou “físicos”, “naturalistas” ou “filósofos da natureza”, também chamados de *physiologoi*.

Referências

- CREASE, R. *As grandes equações*. Trad. Alexandre Cherman. Rio de Janeiro: Editora Zahar, 2011.
- EINSTEIN, A. *A Teoria da Relatividade Especial e Geral*. Rio de Janeiro: Contraponto, 2012.
- EINSTEIN, A. *Escritos da maturidade*. Trad. Maria Luiza X. de A Borges. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1994.
- EINSTEIN, A. *Como eu vejo o mundo*. Trad. H. P. de Andrade. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1981
- EINSTEIN, A. *Meus últimos anos*. Trad Maria Luiza X. de A. Borges. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 2017.
- EINSTEIN, A. *Notas autobiográficas*. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1982.
- EINSTEIN, A. *Sobre a teoria geral da gravitação*: in Prêmios Nobel na Scientific American. São Paulo: Duetto, 2010.
- EINSTEIN, A; INFELD, L. *A Evolução da Física*. Trad. Giasone Rebuá. Rio de Janeiro: Zahar Editores, 2008.
- HERTZ, Heinrich. *Física Mecânica e Filosofia: O legado de Hertz*. Trad. Gabriel Dirma Leão. Rio de Janeiro: Eduerj, 2012
- KUHN, T. *A estrutura das revoluções científicas*. São Paulo: Editora Perspectiva, 2001.
- LIMA, J. A. S., SANTOS, R. C. (2018). 100 Anos da Cosmologia Relativística (1917–2017). Parte I: Das Origens à Descoberta da Expansão Universal (1929). *Revista Brasileira De Ensino De Física*, 40(1). <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2017-0196>.
- MARTINS, R. A. A dinâmica relativística antes de Einstein. *Rev. Bras. Ensino Fís.* [online]. 2005, vol.27, n.1 [cited 2019-06-14], pp.11-26.
- MENESES, R, D, B. Relatividade restrita de Einstein: Fundamentos filosóficos. *Perspectiva Filosófica* Vol. II, n. 24, Julho/Dezembro de 2005.
- PONCZEK, RL. *Deus ou seja a natureza: Spinoza e os novos paradigmas da física* [online]. Salvador: EDUFBA, 2009
- RENN Jürgen. A física clássica de cabeça para baixo: como Einstein descobriu a teoria da relatividade especial. *Rev Bras Ensino Fís* [Internet]. 2005Jan;27(1):27–36.
- ROCHA AN, RIZZUTI BF, MOTA DS. *Transformações de Galileu e de Lorentz: um estudo via teoria de grupos*. *Rev Bras Ensino Fís* [Internet]. 2013Oct;35(4):4304. Available from: <https://doi.org/10.1590/S1806-11172013000400004>
- SCHRÖDINGER, E. *A Natureza e os Gregos: seguido de Ciência e humanismo*. Lisboa: Edições 70, 1996.
- STACHEL, John. *O ano miraculoso de Einstein: cinco artigos que mudaram a face da física*. Alexandre Carlos Tort (Trad.). Rio de Janeiro: Editora UFRJ, 2005.

Autor(a) para correspondência / Corresponding author: Vinícius Carvalho da Silva. vinicius_c_silva@ufms.br