



PERSPECTIVAS
REVISTA DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FILOSOFIA
DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS

VOL. 8, Nº 1, 2023, P. 197-245
ISSN: 2448-2390

Espaço Físico e outros tipos de espaço: Classificações de Mach, Carnap e Reichenbach

Physical Space and other kinds of space: Classifications of Mach, Carnap and Reichenbach

DOI: 10.20873/rpv8n1-65

Filipe Pamplona

Orcid: 0000-0002-4865-8640
Email: fpamplona@ciencias.ulisboa.pt

Resumo

Apresenta-se uma síntese do estudo comparativo das classificações de Ernst Mach, Rudolf Carnap e Hans Reichenbach, com um objetivo principal: a demarcação do problema geral – “o que é espaço?” – em prol da delimitação do problema específico: “o que é *espaço físico*?” Para isso, é necessário contrastar tal conceito com os demais “tipos de espaço” que designam os diferentes significados que a palavra ‘espaço’ pode assumir; significados estes restritos à interseção das áreas da física, da matemática e da filosofia. Mach classificava o “espaço” em três tipos por considerar três vias de abordagens distintas: o *espaço fisiológico* (visual, tátil), os *espaços geométricos* (euclidiano, não euclidianos) e o *espaço métrico* (no sentido de “espaço das experiências métricas físicas”). Carnap, na sua tese doutoral “Der Raum”, defendeu uma classificação ternária diferente, na qual não há um “espaço” unificador, há três tipos que devem ser rigorosamente distinguidos, embora preservem relações: o *espaço formal*, o *espaço intuitivo* e o *espaço físico*. Por fim, Reichenbach, na magna obra “The Philosophy of Space & Time”, confrontou todas as tentativas de classificações ternárias e as reduziu à dual distinção entre *espaço físico* e *espaços matemáticos*. Por que esta distinção radical é “tão atual”? Ela suplantou as demais?

Palavras-chave

Espaço Físico. Tipos de Espaço. Correspondência. Subordinação. Coordenação.

Abstract

This work presents a summary of a comparative study of the classifications of Ernst Mach, Rudolf Carnap and Hans Reichenbach. My chief aim is to address the general demarcation problem – “what is space?” – to better delimit the specific problem: “what is physical space?” To achieve that, we have to contrast such a concept

with other “kinds of space”, which sets the different meanings that the word ‘space’ can have (at the intersection of the branches of physics, mathematics and philosophy). Mach has classified “space” into three different kinds since he has considered three different approaches, namely physiological space (visual, tactile), geometrical spaces (Euclidean, non-Euclidean) and metric space (in the sense of “space of physical metric experiences”). Carnap has put forward a different ternary classification in his doctoral thesis “Der Raum”. There is no unifying “space” in his classification. Instead, there are three different kinds, namely formal space, intuitive space and physical space. Even though the interrelations amongst them remain preserved, they have to be rigorously distinguished. Finally, Reichenbach has confronted all attempts at ternary classifications in “The Philosophy of Space & Time”, his magnum opus. He has reduced them to the dual distinction between physical space and mathematical spaces. Why is this radical distinction “so current”? Has it superseded the others?

Keywords

Physical Space. Kinds of Space. Correspondence. Subordination. Coordination.

1. Introdução: o conceito de ‘espaço físico’

O que é espaço? – Eis uma das clássicas questões fundamentais cuja investigação se inicia com uma suposta ideia do problema, mas, ao final, surpreende a complexidade da natureza abarcada em uma “singela” questão: é mister reconhecer que, na vastidão deste tema, sobre todas as respostas ainda impera a dúvida. Nem sempre foi assim... Na história da ciência, em momentos que prevaleceu uma teoria hegemônica para alguns defensores, no caso, no campo da física e da filosofia da natureza, alguns julgaram ter uma resposta satisfatória para esta questão; no entanto, a “tradição crítica” às vezes tardou, mas sempre venceu. Hoje, reconhecer que não se sabe exatamente o que é o “espaço” parece paradoxal, mas se deve aos mais belos triunfos nos campos da ciência e da filosofia.

Qual teoria foi hegemônica (e para quais defensores)? E a qual tradição crítica se pode referir? – É cedo para antecipar tais respostas, pois o problema é muito mais antigo do que se imagina (conforme demonstra Max Jammer na magistral obra: “Conceitos de Espaço”, 2010). Entretanto, a partir da Idade Moderna, podemos citar como exemplo de teoria que desempenhou certa hegemonia, o *espaço absoluto* newtoniano, que prevaleceu na física por

quase dois séculos; e, como exemplo de tradição crítica, as teorias do *espaço relacional*, que partem da crítica de Leibniz ao espaço newtoniano e atravessam os séculos instigando físicos e filósofos a importantes contribuições, como a mecânica relacional de Ernst Mach, a filosofia do espaço e tempo de Hans Reichenbach, entre outras. Por ora, é importante ressaltar apenas que, o que chamamos de *tradição crítica*, “às vezes tardou mas sempre venceu” em um único sentido: o de demonstrar que o problema do espaço está em aberto.

Convencidos de que estamos diante de um problema milenar e fundamental, bem-vinda é a virtude cardinal da prudência, com amparo na humildade e desafio à diligência: perante a perplexidade da questão, o segundo passo da investigação é tentar delimitar melhor o problema; para isso é necessário distinguir qual tipo de espaço estamos tratando. Eis o objetivo. Se o foco da investigação é sobre os conceitos de ‘espaço físico’, o que podemos entender, portanto, por ‘conceitos de espaço físico’? – Uma resposta simplista e pouco extensiva seria dizer: são os conceitos de espaço trabalhados pelas teorias da física. Esta resposta delimita um conjunto demasiado amplo, porém conveniente: estamos interessados nos conceitos de espaço trabalhados na história da física e na física contemporânea.

Apesar de insuficiente, esta resposta já permite algumas demarcações preciosas, pois existe uma vasta pluralidade conceitual relacionada ao ‘espaço’ que transborda os limites deste trabalho; ou melhor, ‘espaço’ designa uma ampla variedade criativa de conceitos com base em diferentes tipos de contribuição, seja artística, filosófica ou científica. Obviamente, não é nossa tarefa abordar essa vasta gama de significados que a palavra ‘espaço’ pode assumir; mas ao restringirmo-nos aos conceitos de ‘espaço físico’ enquanto os conceitos de espaço ‘na física’ ou ‘das teorias físicas’, embora esta delimitação pareça conveniente à nossa investigação, há nela dois sutis equívocos: o primeiro reside no problema de que nem todos os ‘conceitos de espaço’ *na física* são necessariamente conceitos de ‘espaço físico’ (a física também trabalha com conceitos de espaço puramente matemáticos, entre os quais a relação empírica com o mundo ou com o próprio ‘espaço físico’ depende de delicadas interpretações). Outro sutil equívoco dessa demarcação é que as teorias do espaço transbordam os limites da física – associam-se

inevitavelmente a posicionamentos filosóficos, tornando-se um campo de investigação tanto das ciências quanto da epistemologia, da ontologia e da metafísica. Concluímos desde já que essa primeira delimitação nos ajuda um pouco, mas é falha.

Para compreender a diferença do conceito de ‘espaço físico’ com relação aos demais “tipos de espaço”, convém recorrer a três autores que deram importância a esta questão: Ernst Mach, Rudolf Carnap e Hans Reichenbach – tais autores compartilham de uma mesma linhagem de interpretação do *espaço físico* (empírica e relacional), embora haja um “divisor de águas” histórico e fundamental entre eles: a obra de Mach é anterior à teoria da relatividade geral, enquanto Carnap e Reichenbach defendem suas teses com base na teoria de Einstein. Ao distinguir os tipos de espaço, os três autores defendem classificações diferentes. Cada classificação utiliza uma terminologia específica e cumpre propósitos distintos em cada trabalho. Ao final, justificaremos esta seleção: “Por que propor o estudo comparativo das classificações desses três autores específicos (e não de outros)? Quais são as vantagens?”

A princípio, quão mais classificações pudessem ser incorporadas ao estudo, mais contrastes seriam avaliados e, por conseguinte, enriquecidas seriam as nossas conclusões. Entretanto, trata-se de um estudo otimizado que almeja o equilíbrio entre uma série de fatores preponderantes: o primeiro é o da *relevância* da relação autor & obra (tanto histórica quanto filosófica e científica) – que repercute no segundo fator: o da *vigência* das suas classificações (tanto “conceitual” quanto “terminológica”); o terceiro, por fim, é o *objetivo* do estudo comparativo – em qual “objeto de investigação” que se deseja especializar (o propósito do estudo). Se o interesse da investigação é voltado ao tema do ‘espaço físico’, é possível defender que a classificação mais apropriada está de acordo com a obra de Reichenbach. Porém, de maneira complementar, Carnap e Mach nos possibilitam uma primeira abordagem mais ampla sobre os múltiplos temas que derivam da questão – “O que é espaço?”

2. Classificação de Mach

Conforme o próprio nome da obra prediz, “Space and Geometry in the Light of Physiological, Psychological and Physical Inquiry” (1943 [1906]), neste primoroso trabalho, Ernst Mach propõe investigar o problema do espaço “fisiologicamente”, “psicologicamente” e “fisicamente”; estas três abordagens distintas o levam a classificar o espaço em três tipos: *fisiológico*, *geométrico* e *métrico*. Não significa alegar que existem “espaços” diferentes, sim que “o espaço” pode ser abordado por essas três vias, constituindo assim três tipos que se distinguem e se relacionam. O autor dá continuidade à análise crítica, empirista e sensorial, iniciada em “The Analysis of Sensations” (1959 [1897]), desta vez focando-se exclusivamente nos conceitos de espaço e geometria, reafirmando a experiência como a base de todo conhecimento científico, inclusive como a fonte dos conceitos geométricos.

Mach defende que as nossas primeiras noções de espaço estão enraizadas no nosso organismo fisiológico, dando ênfase à visão e ao tato como sentidos prevaletentes na percepção espacial. O espaço fisiológico é composto por uma associação das sensações espaciais que, embora sejam relacionadas, não são idênticas, prevalecendo primeiramente o *espaço da visão* e secundariamente o *espaço do tato* (já os outros sentidos são mais imprecisos para a percepção espacial). O espaço fisiológico tem as características de ser qualitativo (não métrico), anisotrópico (diferencia as direções), heterogêneo (diversificado), finito e limitado, o que é suficiente para distingui-lo dos demais tipos de espaço:

Haptic space, or the space of touch, has as little in common with *metric space* as has the space of vision. Like the latter, it also is anisotropic and non-homogeneous. The cardinal directions of the organism, “forwards and backwards”, “upwards and downwards”, “right and left”, are in both physiological spaces alike nonequivalent. (MACH, 1943, p.10)

O “espaço métrico” que Mach se refere é o espaço das medições físicas, associado a um padrão material (ex.: o *metro*) e aos experimentos físicos de medida; portanto, é quantitativo, padronizado e subordinado à experimentação, não às sensações individuais (que são

qualitativas, segundo o autor). As “direções cardinais do organismo” não são equivalentes no espaço fisiológico, pois a percepção difere a vertical da horizontal, a direita da esquerda, frente e atrás; por isso Mach afirma que o espaço visual e o tátil são anisotrópicos, pois distinguem as direções. Como o espaço geométrico (euclidiano) tem as mesmas propriedades em todas as direções (isotrópico), é homogêneo e infinito, Mach conclui: *“Physiological space, thus, has but few qualities in common with geometric space.”* (*ibid.*, p.11)

Destacadas as diferenças entre o espaço fisiológico e o geométrico, quais seriam essas “poucas qualidades em comum”? – São nessas qualidades que o autor aponta algumas influências fisiológicas na geometria, a começar pela nossa familiaridade com as três dimensões geométricas: *“This trinity of conspicuously marked cardinal directions might indeed be regarded as the physiological basis for our familiarity with the three dimensions of geometric space.”* (*ibid.*, p.18) De acordo com Mach, as três direções cardinais se deram por um processo de adaptação biológica do organismo fisiológico à própria tridimensionalidade do espaço – neste sentido, o fato de “o espaço” ser tridimensional é a causa do espaço fisiológico ter, por múltiplas razões biológicas de adaptação, três direções cardinais – e, por fim, Mach considera as três direções cardinais a base fisiológica da nossa familiaridade com o espaço geométrico tridimensional (para mais dimensões, tal familiaridade não é possível).

Outro “vestígio” de influência fisiológica na geometria se dá na convenção entre positivo e negativo nas coordenadas da geometria cartesiana: ao estabelecer coordenadas numéricas que implicam diferenças entre os sentidos de cada direção em relação a uma dada origem, para Mach, isto se trata de uma escolha puramente convencional, pois invertendo-se os sentidos ou trasladando-se a origem, as propriedades do espaço permanecem as mesmas. É um claro “vestígio”, a seu ver, das nossas influências fisiológicas, que nos impelem sempre a diferenciar as direções no espaço: *“This is convenient, but not necessary.”* (*ibid.*, p.36)

O espaço fisiológico é finito e limitado; diferenciamos naturalmente as direções e diversificamos qualitativamente as regiões; sendo assim, como foi possível conceber propriedades tão dissidentes da experiência sensível na representação geométrica do espaço? Diante desta

questão, Mach persiste na defesa da influência fisiológica, afirmando que nós temos dois tipos de sensações espaciais: “*We shall designate primary sensations of space, as distinguished from secondary sensations (of movement).*” (*ibid.*, p.30) As sensações de movimento admitem ser produzidas de novo quando não são evitadas por obstáculos externos acidentais. O movimento progressivo e a possibilidade de orientação em qualquer direção, juntos, tornam o “espaço” constituído de forma idêntica em todos os lugares e em todas as direções; tal concepção provém das sensações secundárias de movimento e do processo psicológico de “idealização” que sucede (é com base nas sensações de movimento que “idealizamos”, psicologicamente, a possibilidade de um movimento livre, perpétuo e desimpedido); para Mach, estas são as raízes “psicofisiológicas” dos conceitos de infinitude, homogeneidade e isotropia, conceitos que transgridem as características do espaço fisiológico.

Devemos salientar que a interessante argumentação de Mach sobre as influências fisiológicas na geometria, limita-se a apontá-las como “raízes” das noções de espaço que influenciaram ou deixaram “vestígios” no desenvolvimento dos conceitos geométricos, pois o fator determinante para o autor é, sem dúvida, a finalidade prática da geometria desenvolvida através da experiência. A necessidade de medir, estabelecer padrões generalizados e metodologias experimentais cada vez mais precisas e acuradas, conduziram aos conceitos teóricos que, segundo Mach, simplificam a representação e a organização lógica dos fatos da experiência, embora sejam “ideais”: “*The physical metrical experiences, like all experiences forming the basis of experimental sciences, are conceptualized – idealized.*” (*ibid.*, p.84)

Embora os objetos geométricos não existam na forma ideal e perfeita proposta pelas geometrias teóricas, não se deve negar que tais objetos fazem parte da experiência e dela provém. Assim, do mesmo modo que Mach distingue entre a “física teórica” e a “física prática”, ele também diferencia a “geometria teórica” da “geometria prática”, pois em ambos os segmentos há desvios da teoria com relação à prática experimental:

Theoretical geometry does not even need to consider these deviations, inasmuch as it assumes objects that fulfil the requirements of the theory absolutely, just as theoretical physics does. But in

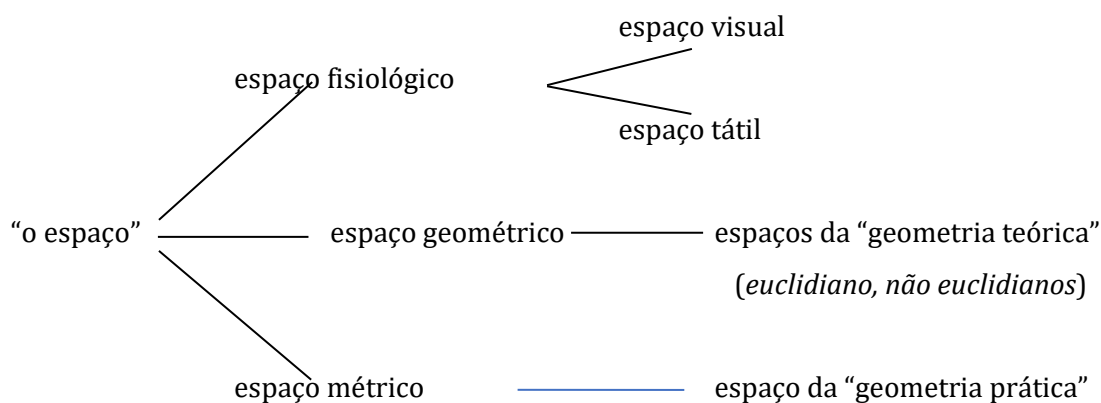
practical geometry, where we are concerned with actual objects, we are obliged, as in practical physics, to consider the deviations from the theoretical assumptions. (MACH, 1943, p.85)

Após o advento das geometrias não euclidianas no século XIX, tornou-se claro a necessidade de distinguir qual sistema das geometrias teria aplicação prática na física e corresponderia à geometria do espaço físico. Embora Mach fosse predecessor à teoria da relatividade geral, o autor tinha pleno conhecimento das geometrias não euclidianas e do possível papel que elas poderiam vir a desempenhar. Além das contribuições de Bolyai, Lobachévski, Gauss e Riemann, Mach também cita os coevos matemáticos de seu tempo, como Sophus Lie e Felix Klein (*ibid.*, p.135) – seu amplo conceito de *geometria teórica*, portanto, engloba todos os sistemas das “geometrias métricas” (de curvatura constante e variável, n -dimensionais), assim como os das “geometrias projetivas” e pode ser estendido à topologia de modo geral. Porém, Mach ainda considerava tais sistemas (não euclidianos) como puros segmentos da “geometria teórica”, sem conveniente aplicação prática à física de sua época, por isso pareciam estar sujeitos ao “erro”, mas um “erro” incrivelmente frutífero e contribuidor – finalizando sua obra com um curioso elogio a Gauss, Riemann e seus sucessores: “*True, such inquirers are liable to error, but even the errors of some men are often more fruitful in their consequences than the discoveries of others.*” (*ibid.*, p.143)

A diferença entre a geometria teórica e a geometria prática é análoga à diferença entre a física matemática e a física experimental: para Mach, ambas são “ciências dedutivas exatas” apenas nos seus segmentos teóricos, pois a “exatidão” só é possível quando os objetos da experiência são tratados de forma ideal; a geometria prática tem sempre desvios dos modelos teóricos porque a prática experimental não condiz com os objetos ideais da matemática, sim com as medições e determinações físicas que possuem margens de erro e são todas relativas:

All physical determinations are relative. Consequently, likewise all geometrical determinations possess validity only relatively to the measure. The concept of measurement is a concept of relation, which contains nothing not contained in the measure. (MACH, 1943, p.139)

Esta é a base do pensamento empirista e relacional de Ernst Mach. É possível sintetizá-la nas três máximas: (i) “todas as determinações físicas são relativas”; (ii) “todas as determinações geométricas possuem validade apenas em relação à medida”; e (iii) “o conceito de medição é um conceito de relação”. O espaço físico é definido por Mach como o espaço das “experiências métricas físicas”, conseqüentemente este espaço é relativo, determinado pelas relações de medida e a geometria válida é aquela que corresponde ao espaço métrico; ou seja, na prática prevalece o critério de *correspondência* com os dados da experiência na validação da geometria. O espaço físico jamais é absoluto e independente das relações materiais; este é um dos fundamentos do seu ataque radical ao espaço absoluto newtoniano, conceito que Mach se esforçou para erradicar da física na sua *obra magna* anterior – “The Science of Mechanics” (1919 [1883]). Conclui-se que para Mach há “o espaço” (relacional), este pode ser compreendido em três tipos que englobam outros conceitos mais específicos:



Esquema 1 – Classificação de Mach

A ênfase do trabalho de Mach foi demonstrar que as noções de espaço possuem uma origem empírica, em parte nas sensações (primárias e secundárias) do nosso organismo fisiológico e principalmente nas experiências físicas de medida. Os autores a seguir foram influenciados por Mach como toda a geração de físicos e filósofos empiristas que o sucedeu,

mas não levam adiante sua abordagem “fisiológica” e nem “psicológica”. Reichenbach refere-se ao espaço ‘fisiológico’ como ‘perceptivo’ e não considera o “espaço da percepção” como um “tipo de espaço” a mais – na verdade, incorpora-o ao estudo do espaço físico. Já Carnap restringe sua classificação aos campos da lógica, matemática e física de maneira mais estrita.

3. Classificação de Carnap

A mais distinta das classificações, tanto em terminologia quanto em propósito, é a de Rudolf Carnap na sua tese doutoral: “Der Raum: Ein Beitrag zur Wissenschaftslehre” [1922]¹. Neste trabalho, Carnap classifica três tipos de espaço: *formal*, *intuitivo* e *físico*. O seu propósito é estritamente epistemológico, “uma contribuição à teoria da ciência”, conforme o nome da obra prediz; o autor foca nas implicações desses três tipos de espaço para a teoria do conhecimento, restringindo-se aos domínios da lógica, da matemática e da física. O seu trabalho consiste em demonstrar que nas discussões entre filósofos, matemáticos e físicos, ao utilizarem a palavra ‘espaço’ (ou ‘geometria’) podem se remeter a significados completamente diferentes, gerando confusões; assim, muitos problemas sobre o “espaço” se revelam *pseudoproblemas* quando seus três tipos são discernidos corretamente.

Convém salientar que a tese de Carnap foi escrita no contexto histórico de ascendência do *logicismo*, influenciado principalmente por Bertrand Russell. Por conseguinte, a ideia de que todo sistema formal da matemática pode ser expresso a partir da lógica se reflete na sua classificação, a começar pelo primeiro tipo de espaço a ser considerado, em sentido estritamente lógico, “formal”. Há uma interessante ambiguidade na tese por ela se valer tanto da abordagem formalista de David Hilbert quanto da logicista de Frege-Russell; a busca por uma síntese entre essas duas correntes filosóficas antitéticas da matemática é algo que permeou os interesses de Carnap até a maturidade, quando pensou ter atingido este objetivo em

¹ Publicado originalmente na *Kant-Studien*, v.56, 1922. Disponível em versão bilíngue: “Space: A Contribution to the Theory of Science” (trad. M. Friedman & P. Heath), entre outros trabalhos importantes dos primeiros anos da carreira do autor: *The Collected Works of Rudolf Carnap, Vol. I: Early Writings* (ed. A. Carus et al.), 2019.

“Logical Syntax of Language” (1937). Para evitar confusões, convém distinguir as interpretações de Carnap em pelo menos três fases iniciais; a primeira é a da tese *Der Raum* (do “jovem Carnap”), que ousa articular essas duas abordagens, mas privilegia sobretudo o logicismo de Frege, Dedekind e Russell.² A fase posterior é a do “positivista lógico”, marcada por uma acentuação do posicionamento logicista somado à influência de Wittgenstein. Já o “Carnap maduro” é usualmente compreendido como um formalista, em sentido mais amplo (suas tentativas conciliadoras sofreram sérias objeções, conforme aponta Thomas Oberdan em “The Synthesis of Logicism and Formalism in Carnap’s Logical Syntax of Language”, 1993).

Neste artigo, interessa-nos o “jovem Carnap”, imbuído da difícil tarefa conciliadora: sua tese elabora uma defesa neokantiana (atenuada e modificada) que ousa articular três concepções difíceis de se conciliar: a concepção lógica de “espaço formal” e a empírica de “espaço físico” com a concepção neokantiana de “espaço intuitivo” (‘neo’, porque estende a teoria do espaço de Kant ao advento das geometrias não euclidianas e aos espaços topológicos n -dimensionais; para isso, Carnap se inspira na fenomenologia de Edmund Husserl e nos trabalhos matemáticos de Felix Klein) – eis a façanha da sua tese doutoral.

Segundo Carnap, todo sistema de relações estabelece formalmente uma “estrutura de ordem geral” que pode ser entendida como um “espaço lógico” e independente dos objetos que se relacionam, define-se apenas pelas suas relações; o espaço formal se dá nos links estabelecidos ao conectar dois domínios diferentes, quaisquer que sejam esses domínios. Quando dois conjuntos de *objetos indeterminados* satisfazem certo tipo de relação entre si, afirma-se que há um espaço formal entre eles e tal estrutura pode ser expressa logicamente:

Formal space is a general order-structure of a certain kind. By “general order-structure” we mean a system of relations — not between certain objects of a sensible or non-sensible domain, but between entirely indeterminate objects about which we only need to know that one kind of link entails a different kind of link in the same domain. So formal space deals not with the figures usually considered

² Para compreender as nuances de sua abordagem “formal-logicista”, recomenda-se uma leitura das notas editoriais (*a, b e d*) feitas por Friedman, onde ressalta: “Carnap himself therefore sees no opposition (as Cassirer does) between what we now understand as Frege-Russell “logicism” (based on the priority of the notion of set or class) and the purely axiomatic version of “logicism” articulated by Dedekind”. (CARNAP, 2019, p.175-6)

spatial, such as triangles or circles, but with meaningless relata whose place may be taken by an enormous variety of things (numbers, colors, degrees of kinship, judgments, people, etc.). (CARNAP, 2019, p.27)

Carnap introduz o “espaço formal” em sentido abrangente, mas seu interesse é voltado aos fundamentos da geometria: o sistema dedutivo de cada geometria define uma estrutura que é independente das figuras e dos objetos geométricos entendidos intuitivamente. Embora Euclides (nos “Elementos”) tenha iniciado seu sistema com definições conceituais intuitivas, ele não as utiliza nas suas provas; apenas as relações entre os elementos são especificadas pelos axiomas. Teoremas são então deduzidos com nenhuma consideração ao significado intuitivo desses elementos, importam somente suas relações. Portanto, toda a extensão do que os axiomas significam intuitivamente não é colocada em prática na construção do edifício teórico erguido sobre eles: “*Only their logical form is put to work*” (*ibid.*, p.31). Seu interesse é definir a geometria como um “puro sistema de relações” ou uma “teoria das ordens”:

For this theory a small number of axioms is presupposed and on that basis an unlimited number of theorems is derived. The object of this discipline is not space, i.e., the system of points, lines, and planes determined by geometrical axioms (which we call “intuitive space” to distinguish it), but a “relational or structural system” determined by the *formal axioms*. (CARNAP, 2019, p.31)

A proposta é diferenciar na “geometria teórica” o seu sistema formal de relações em contraposição ao aspecto intuitivo dos seus elementos; o que era o “espaço geométrico” para Mach, em Carnap se divide em dois tipos: o formal e o intuitivo. A “geometria teórica” sofre uma bifurcação: ao se incorporar à lógica ela constitui uma “teoria do espaço formal”, tornando-se a extensão de um domínio especial da teoria das relações; suas proposições são derivadas das leis básicas da lógica dedutiva e são totalmente independentes da experiência; por outro lado, as noções intuitivas dos axiomas e dos elementos básicos (pontos, linhas retas, planos, etc.) fazem parte da “geometria pura” [*reine Geometrie*] e definem a teoria do “espaço intuitivo” [*Anschauungsraum*]. Metaforicamente, diríamos que Carnap disseca “o corpo da geometria”, separando o “esqueleto formal” da suposta “carne intuitiva” dos seus elementos. Tal contraste,

por um lado valoriza a concepção lógica, mas por outro acentua o papel fundamental que o espaço intuitivo desempenha, constituindo a “essência” dos sistemas:

By intuitive space, in contrast, we mean the system of relations among “spatial” figures in the usual sense, i.e., the line segments, planar areas, and spatial volumes whose particular character we grasp when perceiving something by the senses or just imagining it. This is not yet a matter of the spatial facts evident in experienced reality, but just of the “essence” of those systems, which can be recognized in any particular representatives. (CARNAP, 2019, p.27)

O espaço intuitivo também constitui um sistema de relações, porém entre *objetos determinados* – idealmente “espaciais”. Trata-se da apreensão da essência das formas geométricas (encontradas na percepção sensível ou na imaginação) através da “pura intuição”. Os *axiomas intuitivos* estabelecem o sistema de relações que, para Carnap, constitui a “teoria do espaço intuitivo”; esta teoria não se limita ao espaço geométrico euclidiano, é estendida a todos os espaços métricos, projetivos e topológicos *n*-dimensionais, pois todos são deduzidos de axiomas apreendidos intuitivamente, logo se incorporam à teoria da mesma maneira que os objetos euclidianos usuais. Se são apreendidos intuitivamente, seu conhecimento não depende diretamente da experiência; no entanto, esta independência não se dá no mesmo sentido dos “axiomas formais” da lógica – os axiomas intuitivos independem é da “quantidade” (ou do “acúmulo”) de experiência. Basta um único exemplo para termos segurança da validade de um axioma (não é necessário o acúmulo de casos particulares através da experiência).

Ao diferenciar o espaço formal do intuitivo, o problema central para Carnap se torna distinguir o tipo de conhecimento que se associa a cada um deles. Aplicando a terminologia kantiana sobre as possíveis formas de conhecimento, Carnap reconhece que ambos independem da experiência, portanto são *a priori*, mas enquanto os axiomas formais são totalmente *analíticos* (elucidativos), os axiomas intuitivos são todos *sintéticos* (há “extensão” de conhecimento). Portanto, a teoria do espaço formal constitui um campo de conhecimento analítico *a priori* e a teoria do espaço intuitivo de conhecimento sintético *a priori*. Neste aspecto, já se percebe uma primeira “atenuação” da tese kantiana: o espaço intuitivo deixa de ser uma

teoria geral e se torna uma teoria particular, há a relação de *substituição* entre o espaço formal e o intuitivo. Para compreender tal relação, é preciso contemplar o “edifício teórico” que Carnap advoga na sua tese: da *teoria das relações da lógica formal* se deduz a ‘teoria do espaço formal’; quando substituímos os ‘objetos indefinidos’ do espaço formal pelos ‘objetos definidos’ da geometria pura, temos assim a teoria do espaço intuitivo.

Deve-se salientar que o “sistema de relações” permanece o mesmo; porém, ao substituir axiomas formais por axiomas intuitivos, deixando de representar ‘objetos indefinidos’ para representar os ‘objetos definidos’ geometricamente, saímos do campo puramente analítico da lógica para um domínio de conhecimento sintético, ambos *a priori*. O terceiro passo fundamental na tese “Der Raum” é compatibilizar estas duas teorias, que “independem da experiência”, justamente com a experiência – ou melhor, com a “base factual das relações espaciais” que configura a *teoria do espaço físico* – demonstra-se a interconexão entre os três tipos de espaço. Para isso, Carnap se apoia na teoria de Kant e reconhece que o espaço intuitivo é a condição de possibilidade de todo objeto de experiência. Pretende que o espaço ‘intuitivo’ desempenhe um papel fundamental com relação ao ‘físico’: “*Knowledge of physical space presupposes that of intuitive space, which in turn finds the pure form of its structure prefigured in formal space and therefore presupposes it in thought.*” (*ibid.*, p.27)

Carnap (de acordo com Kant) alega que o espaço, antes de ser objeto de experiência, é uma intuição pura; uma representação necessária, *a priori*, que fundamenta todas as “intuições externas”. Kant considerava o espaço “*a condição de possibilidade dos fenómenos, não uma determinação que dependa deles; é uma representação a priori, que fundamenta necessariamente todos os fenómenos externos.*” (KANT, 2013, p.65) – sendo o espaço físico um sistema de relações fornecido pela experiência, logo é um “fenómeno externo” e, conseqüentemente, está subordinado ao espaço intuitivo, fundamenta-se a partir dele e por isso o “pressupõe”. Porém, ao endossar a tese kantiana, Carnap lida com dificuldades que não havia nos tempos da *Crítica da Razão Pura*, quando a física teórica prevalecente era a mecânica clássica e o espaço da física se identificava diretamente com o espaço euclidiano.

Esta identificação é reavaliada após o advento das geometrias não euclidianas e da física relativista, que colocam o problema do *relativismo geométrico*: qual das geometrias matemáticas corresponde à geometria do espaço físico? Carnap reconhece que não é possível determinar *a priori* qual delas – portanto, a geometria do espaço físico deve ser compreendida *a posteriori*, seu conhecimento depende da experiência, constituindo assim uma teoria à parte:

The knowledge of the system of **physical space** is experiential knowledge: it is founded on the “factual basis” of experience and is obtained through induction, i.e. by assembling and processing facts of experience, and can therefore never itself arrive at unconditional certainty, but can merely approach ever more closely to it as a limiting value. (CARNAP, 2019, p.119)

O espaço físico, fornecido pela “base factual” da experiência, constitui um sistema indutivo, pois é a partir das medições particulares que se infere a sua estrutura geral (sempre aproximável e preservando incertezas). Uma vez que “*Os juízos de experiência, como tais, são todos sintéticos*” (KANT, 2013, p.43), Carnap conclui que o conhecimento do espaço físico é sintético *a posteriori*. Se o tipo de conhecimento é diferente, em que sentido o espaço físico pressupõe o intuitivo? Como o conhecimento de um está subordinado ao do outro?

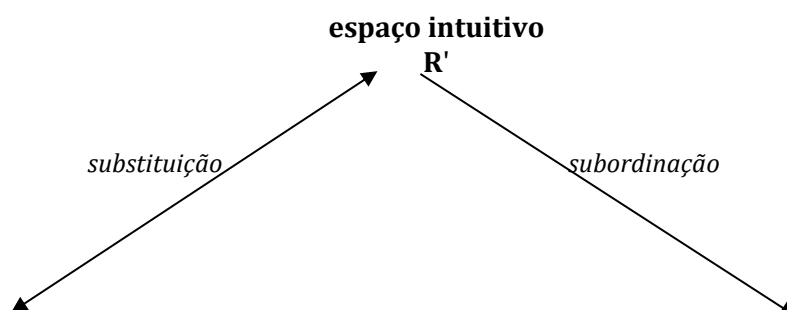
Em prol de preservar a tese kantiana, Carnap propõe uma sutil modificação na sua interpretação: o espaço intuitivo continua sendo “uma representação *a priori*, que fundamenta necessariamente todos os fenômenos externos” – porém, após o advento das geometrias não euclidianas, devemos reconhecer que não há uma única “representação *a priori*” possível, sim múltiplas, fornecidas a partir do ‘espaço intuitivo topológico *n*-dimensional’. Uma vez que a relação de *substituição* permite generalizar tal estrutura em um ‘espaço *formal* topológico *n*-dimensional’, Carnap estende sua tese à *teoria das relações* da lógica formal: este espaço formal generalizado, que corresponde à mesma “estrutura de ordem” do espaço intuitivo, também é condição de possibilidade de todo objeto de experiência:

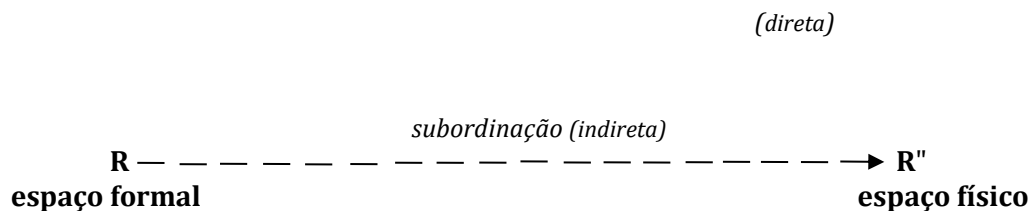
The spatial system possessing experience-constituting significance, in place of that suggested by Kant, can be precisely specified as topological intuitive space with indefinitely many dimensions (R^n). With that, not only the attributes of this system, but at the same time those of its order

framework, Rnt [$\leq n$ -dimensional topological *formal space*], are declared to be conditions of the possibility of any object of experience whatever. (CARNAP, 2019, p.127)

O espaço físico, portanto, possui uma relação de *subordinação* direta com o espaço intuitivo e, indiretamente, com o espaço formal. Esta relação de subordinação permite que a base factual do espaço físico seja estudada através de modelos topológicos, projetivos e métricos que são primeiramente formulados no espaço intuitivo e depois generalizados no espaço formal. O papel do espaço intuitivo, portanto, é fundamental e intermediário – pois é a partir dele que se inicia o processo de conhecimento que, por um lado, assume a forma mais pura e generalizada no espaço formal, e por outro, cumpre a derradeira finalidade que é descrever as relações espaciais da experiência. Sem as “representações *a priori*” do espaço intuitivo, não há condição de possibilidade para o conhecimento do espaço físico. Na prática científica, esta relação de *subordinação* se reflete ao reconhecer que, primeiro, formulam-se as possibilidades teóricas para depois subordinar os dados da experiência a tais modelos.

A tese *Der Raum* conclui com a justificação lógica do conhecimento alcançada, que resulta na sua contribuição à “teoria da ciência”: “Apart from the rules added by freely chosen stipulations, therefore, the propositions governing formal, physical, and intuitive space are analytic *a priori*, synthetic *a posteriori*, and synthetic *a priori* respectively.” (ibid., p.121) – Ao diferenciar as formas de conhecimento, cada tipo de espaço constitui um ramo de geometria específico: a geometria formal corresponde à teoria do espaço formal, a geometria intuitiva à teoria do espaço intuitivo e a geometria física à teoria do espaço físico. Em síntese:





Esquema 2 – *Classificação de Carnap*

O espaço intuitivo fornece várias possibilidades de representação (a tridimensional euclidiana é apenas um caso particular; a quadridimensional do espaço-tempo de Einstein-Minkowski é outra; e assim por diante), a escolha de qual delas é a mais apropriada para corresponder ao espaço físico depende da experiência e também da teoria física que está a ser aplicada – o critério final, segundo Carnap, deve ser o de simplicidade: havendo múltiplas possibilidades de representação, adota-se a que melhor simplificar a descrição do sistema físico (não necessariamente o sistema mais simples será o euclidiano).

Einstein demonstrou com a teoria da relatividade geral que a descrição do sistema físico pode muitas vezes ser simplificada com a utilização de uma geometria não euclidiana. Carnap, na sua classificação, interpreta o *espaço-tempo* como um modelo de espaço intuitivo quadridimensional; o espaço físico pode estar subordinado a tal modelo, que representa as coordenadas espaciais associadas a uma quarta coordenada temporal (x, y, z, t) ; entretanto, o significado físico espacial é atribuído apenas às três coordenadas (x, y, z) , estas são abordadas pela *geometria física*, enquanto a coordenada temporal está experimentalmente relacionada à *cronometria* – portanto, não se deve confundir o “espaço físico” com o “espaço-tempo”.

Por fim, Carnap comenta que os importantes autores predecessores de sua época (entre eles, o lógico e matemático francês Louis Couturat, além de Henri Poincaré, Bernhard Riemann e o médico, fisiologista e físico alemão Hermann von Helmholtz) estavam todos corretos dentro dos seus respectivos campos de conhecimento, mas o desacordo entre matemáticos e filósofos prevalecia devido à falta de clareza na distinção dos três tipos de espaço:

The longrunning controversies between mathematicians, who disputed Kant's claim, and philosophers, who defended it, could obviously not have reached any resolution, since the two sides were not talking about the same thing. The former had in mind either formal space (e.g., Couturat) or physical space (Riemann, Helmholtz, Poincaré), the latter intuitive space. So both parties were right and could easily have reached agreement if clarity had prevailed concerning the three different meanings of space. (CARNAP, 2019, p.121)

Carnap submeteu sua tese em janeiro de 1921. A partir deste ano, iniciou uma prolífica correspondência com Bertrand Russell, que passou a exercer cada vez mais influência sobre seus trabalhos. Na tese, a adesão de Carnap ao programa logicista é moderada; embora admita que a geometria possa se desenvolver como uma teoria do espaço formal, Carnap ainda defende que há uma “geometria pura” que não pode ser totalmente derivada da lógica formal, e nisso consiste a sua teoria do espaço intuitivo. Na primeira carta a Russell, em 1921 (na qual enviou junto a sua tese datilografada), Carnap reforça sua defesa:

What may interest you most in the present essay is probably the distinction between “formal space” and “intuitive space” as two quite different objects of a science of space. I believe I have shown here that although geometry can restrict itself entirely to treating a “complex of relations” (geometry as the theory of formal space), on the other hand there is also a different geometry (i.e., as the theory of intuitive space) that cannot fully be derived from formal logic. (*ibid.*, p.xxxiii)

Ao defender o papel fundamental do espaço intuitivo e assim preservar a validade dos juízos sintéticos *a priori* de Kant, é interessante observar como sua tese contrasta totalmente com o seu pensamento posterior: poucos anos depois, Carnap adere a crítica generalizada de Moritz Schlick e assim renuncia a teoria do espaço intuitivo conforme elaborada na sua tese; acentua a ênfase na concepção lógica e empírica. Há o afastamento do seu posicionamento neokantiano inicial e da influência da fenomenologia de Husserl; aliás, o ano da defesa de sua tese é o mesmo da publicação do *Tractatus Logico-Philosophicus* de Wittgenstein; a partir dali o pensamento de Carnap toma um rumo irreversível, destacando-se no Círculo de Viena.

4. Distinção de Reichenbach

Entre as filosofias do espaço no século XX, destaca-se a obra magna: “Philosophie der Raum-Zeit-Lehre” [1927]. Embora tenha exercido relevante influência nas primeiras décadas após a publicação original, só foi traduzida para o inglês postumamente (trinta anos depois; pela esposa do autor, Maria Reichenbach, e John Freund) e foi então que conquistou ampla repercussão internacional. A mais citada das suas edições é a estadunidense (Dover, 1958) que contém uma célebre introdução de Carnap, na qual o próprio endossa as ideias defendidas na obra e a destaca como o mais importante trabalho de sua geração sobre o tema: “*This work was an important landmark in the development of the empiricist conception of geometry. In my judgment it is still the best book in the field*”. (Carnap in REICHENBACH, 1958, p.vi)

A *concepção empirista da geometria* defendida por Reichenbach é radical e se afasta da iniciativa conciliadora tal qual assumida por Carnap na sua tese: a teoria do espaço intuitivo de Kant é refutada. A classificação dos tipos de espaço é reduzida à dual distinção entre *espaço físico* e *espaços matemáticos*: as geometrias se distinguem entre a *geometria física* (que investiga as propriedades do espaço físico “real”) e as *geometrias matemáticas* (que investigam os possíveis espaços matemáticos “ideais”). O critério de validação na geometria física é o de correspondência com a experiência, com base em “definições coordenativas” que possibilitam relacionar os conceitos aos objetos físicos, além das “coordenações verificáveis” que por fim testam a compatibilidade dos resultados teóricos com os dados experimentais; as geometrias matemáticas satisfazem apenas ao critério de consistência lógica. A perspectiva relacional e empirista do espaço físico se insere em uma forte interpretação realista e causal da física, na qual a causalidade desempenha um papel fundamental nas relações entre o tempo e o espaço: o tempo é *logicamente* antecessor ao espaço. Em suma, eis algumas das características principais.

Advertência: aqui se propõe uma releitura valorativa desta obra e intencionalmente antagônica à “leitura ortodoxa” estabelecida ao final do século XX, por parte de

importantes autores (como Bunge, Friedman, Sklar e Earman). Infelizmente, é comum cometer-se duas “injustiças” com o autor: a primeira é generalizá-lo como um “positivista lógico”, a segunda é reduzir sua interpretação do espaço físico a um “convencionalismo clássico”. Por ora, deve-se estar atento que Reichenbach não compartilhava do radicalismo antimetafísico do Círculo de Viena: compreendê-lo como um empirista lógico é correto, mas enquanto “neopositivista” é extremamente equivocado. Apesar de compartilhar da contundente crítica à doutrina kantiana, o autor jamais elevou sua crítica a um posicionamento antimetafísico geral, pelo contrário, demarcou-se do positivismo por amplas razões, e uma delas foi a sua defesa do *realismo*:

We do not propose to lay down here all the details involved in the decision between positivism and realism. Let it simply be noted that a number of other weighty arguments against positivism can be enumerated and that **the author has decided in favor of realism**. On the other hand, positivism and realism can to a considerable extent run a parallel course. (REICHENBACH, 1978, II, p.147)

Infelizmente, este “caminho paralelo” tolerado pelo autor legou para si uma série de más interpretações históricas. É preciso saber distinguir as particularidades do Círculo de Berlim (“The Society for Empirical/Scientific Philosophy”, o qual Reichenbach foi fundador) das do Círculo de Viena (“The Ernst Mach Society”, liderado por Schlick). Os dois movimentos partilhavam de algumas orientações em comum (expressas na criação da revista *Erkenntnis* e nos congressos da Ciência Unificada que promoveram), mas Reichenbach expressou por cartas a sua profunda decepção com a generalização errônea que ele e seu movimento sofreram, ao serem identificados redundantemente com o movimento de Viena.

A abordagem de Dieter Hoffman (2008) destaca bem as epístolas de Reichenbach e nos ajuda a compreender tais contrastes. Em geral, a designação por “empirismo lógico” abarca melhor os aspectos em comum dos dois movimentos, mas quando nos referimos ao “neopositivismo” devemos nos restringir ao Círculo de Viena e sua orientação antimetafísica. Uma leitura especializada do conjunto da obra de Reichenbach (disposta na bibliografia ampliada deste artigo) dá pleno acesso às particularidades do seu posicionamento epistemológico e ontológico. Sobre o problema da natureza do espaço físico, a componente metafísica do seu pensamento

não pode ser ignorada (autores críticos ao positivismo lógico costumam fazer uma leitura “neopositivista” dele, o que é uma generalização equivocada).

A segunda “injustiça” que sofreu, a de ser reduzido a um “convencionalista clássico”, pode ser rebatida se ousarmos reler sua magna obra atentos à profundidade da perspectiva ontológica do espaço físico que ele defende. Primeiramente, é preciso ter atenção à sua dual distinção, separando com rigor a “dual natureza” do problema: com relação às *geometrias matemáticas*, Reichenbach é um convencionalista convicto e atualiza o posicionamento de Poincaré ao advento da teoria da relatividade geral, propondo algumas modificações mediante a sua interpretação empirista; mas com relação à *geometria física*, que ele compreende como a verdadeira “geometria do espaço real”, por que Reichenbach não admitiu uma interpretação puramente convencionalista? O que ele quis dizer ao defender a existência de uma real geometria do espaço físico? – Por ora, antecipamos essas inquietações como estímulo ao leitor e um convite: que procure ler Reichenbach primeiramente com a “ótica de Reichenbach”, não deturpada pela “ótica” daqueles que tanto o enaltecem como uma referência maior, mas tentaram o reduzir ao que ele “não quis dizer” e jamais admitiu ser.

O ponto de partida da obra é a questão do *relativismo geométrico*, inaugurada pelo advento das geometrias não euclidianas – a impossibilidade de se determinar *a priori* qual das geometrias matemáticas corresponde exclusivamente à geometria do espaço físico, segundo Reichenbach, tal impasse divide de uma vez por todas a investigação sobre a natureza do espaço: torna-se necessário distinguir o problema dos espaços matemáticos do problema do espaço físico. Quando diferentes sistemas geométricos da matemática se provam consistentes e equivalentes para a descrição do sistema físico, não há critério *a priori* que determine qual deles é o correspondente – esta é uma questão que deve ser resolvida *a posteriori*, com base também na experiência: “*Mathematics shows a variety of possible forms of relations among which physics selects the real one by means of observations and experiments.*” (REICHENBACH, 1958, p.6)

Quando havia apenas um tipo de geometria matemática aplicada ao sistema da física (a euclidiana), o problema da escolha das geometrias obviamente não existia – a matemática

fornecia apenas um sistema de relação espacial entre os objetos; a física, então, assumia os axiomas da geometria euclidiana como a estrutura “autoevidente” e necessária na abordagem do espaço físico – esta suposição, de acordo com Reichenbach, acarretou uma série de interpretações filosóficas equivocadas quanto à possibilidade de um “conhecimento *a priori*” supostamente se aplicar diretamente à descrição dos fenômenos, independente da experiência. É a partir desta concepção que inicia a crítica empirista de Reichenbach à filosofia de Kant:

After the discoveries of non-Euclidean geometries the duality of *physical* and *possible* space was recognized. Mathematics reveals the possible spaces: physics decides which among them corresponds to physical space. In contrast to all earlier conceptions, in particular to the philosophy of Kant, it becomes now a new task of physics to determine the geometry of physical space, just as physics determines the shape of the earth or the motions of the planets, by means of observations and experiments. (REICHENBACH, 1958, p.6)

Os *espaços possíveis* da matemática são possibilidades teóricas cuja decisão de qual deles corresponde melhor ao espaço físico é tarefa da física, com base em observações e experimentos; trata-se de um conhecimento *a posteriori*. Consequentemente, aquela pressuposição kantiana do espaço enquanto intuição *a priori*, condição de possibilidade dos fenômenos, é refutada. O espaço físico não está subordinado a nenhuma noção de espaço intuitivo, pelo contrário: os espaços matemáticos que devem ser submetidos ao critério de validação empírica, que seleciona qual deles corresponde adequadamente à descrição do sistema físico. Deve-se salientar que *corresponder* não significa *identificar* o espaço físico com uma das possíveis estruturas matemáticas – para Reichenbach, os espaços matemáticos são estruturas puramente conceituais, portanto ideais:

Philosophers have thus far considered an idealistic interpretation of space and time as the only possible epistemological position, because they overlooked the twofold nature of the mathematical and the physical problems of space. Mathematical space is a *conceptual structure*, and as such ideal. Physics has the task of coordinating one of these mathematical structures to *reality*. (REICHENBACH, 1958, p.287)

Não se deve confundir, portanto, a estrutura ideal de um espaço matemático com a estrutura real do espaço físico; o máximo que um modelo conceitual pode oferecer é uma melhor coordenação / descrição dos dados da experiência em comparação a outro modelo – o critério de “correspondência” se limita ao de “coordenação” entre teoria e experiência. Qualquer posicionamento idealista que identifique a estrutura do espaço físico com uma possível estrutura do espaço matemático, para Reichenbach, isto é um claro equívoco que consiste em confundir a dupla natureza do problema – a física tem a tarefa de coordenar uma dessas estruturas conceituais à realidade, o que não significa assumir algo ideal como real.

A validade do conhecimento não depende apenas do julgamento de experiências particulares, sim da possibilidade de *todo o sistema de conhecimento*; ou seja, o que se entendia como um “conhecimento *a priori*” continua desempenhando um papel fundamental na construção de teorias – para Reichenbach, o “*a priori*” pode ser compreendido como algo “*prévio* ao conhecimento”, porém jamais “autoevidente”, pois não valida uma verdade universal e independente da experiência; pelo contrário, é através dela que sua validade é alcançada com base no método coordenativo. Mas em que consiste essa coordenação? Como é possível descrever a base factual a partir de modelos conceituais que não se identificam com a realidade, porém são capazes de coordenar os dados da experiência? – Ao confrontar tais questões, Reichenbach introduz o papel das *definições coordenativas*, ferramenta central da sua epistemologia, sendo o que possibilita associar um conceito a um objeto de experiência:

Defining usually means reducing a concept to other concepts. In physics, as in all other fields of inquiry, wide use is made of this procedure. There is a second kind of definition, however, which is also employed and which derives from the fact that physics, in contradistinction to mathematics, deals with real objects. Physical knowledge is characterized by the fact that concepts are not only defined by other concepts, but are also coordinated to real objects. (REICHENBACH, 1958, p.14)

Reichenbach distingue dois tipos de definições: as *definições conceituais* (amplamente utilizadas em todos os ramos do conhecimento) que consistem em definir um conceito com base em outros conceitos mais elementares, exercendo assim um papel explicativo e

elucidativo; e as *definições coordenativas*, que estabelecem que um *conceito específico* está coordenado a um *objeto particular*. Para ilustrar a diferença, por exemplo: a noção geral de “unidade de comprimento” é uma definição conceitual (é definida com base nos conceitos de “distância” e “medida”), mas a unidade de comprimento específica chamada *metro* é uma definição coordenativa, pois está coordenando um conceito específico de unidade a um padrão material também específico, fornecido pelo “International System of Units” (SI), ou BIPM.³

No estudo do espaço físico, Reichenbach demonstra que a escolha do sistema geométrico depende das definições coordenativas que são adotadas, daí sua arbitrariedade. Por exemplo: as *definições coordenativas métricas* estabelecem o sistema métrico a ser utilizado no experimento, que deve estar em conformidade com a geometria utilizada na descrição do sistema teórico da física; caso se altere a geometria, o sistema de medidas deve ser reajustado, e vice-versa. Atenção: o sentido de geometria utilizado neste caso é o de *geometria matemática*, mais especificamente, o de “geometria métrica”, que estabelece um “espaço geométrico” específico, caracterizado por uma “métrica espacial intrínseca”; este “espaço métrico” teórico deve ser coordenado com o “espaço de medidas”, ou seja, com o sistema métrico adotado no experimento. Logo, a escolha da geometria teórica condiciona o sistema métrico experimental, mas o físico é livre para adotar o caminho oposto; ele pode adotar um sistema métrico no experimento e daí descrever o sistema teórico a partir do espaço geométrico (G) correspondente; a “estipulação métrica” se trata de uma escolha puramente convencional. É importante não confundir o “sistema métrico” do experimento, ao qual se associa uma geometria matemática específica, com o sentido de *geometria física* na obra de Reichenbach, que se aprofunda na “outra natureza do problema”: sobre o que possa *verdadeiramente* ser a estrutura do espaço físico real, conforme abordaremos mais adiante.

³ “Bureau International des Poids et Mesures”: o *metro* é definido como “o comprimento do trajeto percorrido pela luz no vácuo durante um intervalo de tempo de $1/299.792.458$ de segundo”; por sua vez, o ‘segundo’ é definido como “9.192.631.770 períodos da radiação correspondente à transição entre os dois níveis hiperfinos do estado fundamental do átomo de césio-133” (BIPM, 2019, p.130-1), já a velocidade da luz no vácuo, c , é definida conceitualmente como uma constante universal de valor exato ($c = 299.792.458$ m/s).

O relativismo geométrico é elevado ao estatuto de um princípio do qual o autor extrai fortes implicações: “... all geometries to be equivalent; it formulates the **principle of the relativity of geometry**. It follows that it is meaningless to speak about one geometry as the true geometry.” (ibid., p.33) – nenhuma geometria matemática é “mais verdadeira” que outra. A este princípio se associa a coordenação preliminar: $G' = G + F$, chamada def. coordenativa geométrica – a geometria resultante G' depende da relação entre a geometria adotada G e o campo de forças F : “We obtain a statement about physical reality only if in addition to the geometry G of the space its universal field of force F is specified. Only the combination $G + F$ is a testable statement.”⁴ (idem) – Tratando-se de uma força universal (como a gravitação), o físico pode considerá-la uma força “a mais” que atua sobre o espaço geométrico G (logo $F \neq 0$), ou pode considerar que a força se manifesta “no próprio espaço geométrico G ”: neste caso, $F = 0$ e $G' = G$, eis a definição adotada por Einstein, a qual Reichenbach defende obstinadamente, não por ser a escolha da “geometria mais simples”, sim por se tratar da escolha da definição coordenativa mais simples (uma diferença sutil, mas muito significativa):

This point of view can be answered as follows: physics is not concerned with the question which *geometry* is simpler, but with the question which *coordinative definition* is simpler. It seems that the coordinative definition $F = 0$ is simpler, because then the expression $G + F$ reduces to G . But even this result is not essential, since in this case **simplicity is not a criterion for truth**. (ibid., p.34)

⁴ Atenção: ao afirmar que “... *somente a combinação $G + F$ é uma declaração testável*”, Reichenbach não quer dizer que a **definição** ($G' = G + F$) seja testável! (Definições são escolhas que podem ser acatadas ou substituídas por outras, mas não são passíveis de serem “testadas” – não são verdadeiras nem falsas, são apenas *definições*, sejam elas “coordenativas” ou puramente “conceituais”). Este pequeno trecho da obra de Reichenbach certamente poderia ter sido melhor expresso didaticamente, evitando más compreensões. Perceba que logo em seguida o autor aborda a escolha de Einstein por “ $F = 0$ e $G' = G$ ” como uma simples *definição*. É com base nesta definição que se pode declarar que a geometria resultante nas proximidades de corpos super massivos, por exemplo, possui curvatura intrínseca diferente de zero, é “não euclidiana”, logo a trajetória geodésica da luz sofre deflexão nas proximidades de campos gravitacionais muito intensos – e isto sim é uma declaração testável, passível de ser verificada experimentalmente, no caso, através de observações astronômicas. Testável, portanto, é a previsão teórica que se faz com base nas definições assumidas, o que envolve o modelo teórico que se está a propor. Para isso, o “campo de força universal” do sistema físico precisa ser especificado, seja como “fator de correção” entre a geometria teórica G e a resultante G' (logo $F \neq 0$); ou como *fator nulo* a partir do qual o campo de força é especificado diretamente nas propriedades espaciais $G' = G$ (ver nota 1, *ibid.*, p.33).

Ao alegar que a “*simplicidade não é um critério para a verdade*”, o autor reforça que tal critério não valida uma geometria como “mais verdadeira” do que outra, pois não deve ser aplicado diretamente à escolha da geometria, sim à escolha das definições coordenativas, e ainda assim, “*este não é um resultado essencial*”, trata-se apenas de uma convenção. Einstein demonstrou que a utilização de uma geometria não euclidiana muitas vezes pode simplificar a descrição do sistema físico; ganha-se complexidade na geometria, mas em contrapartida o sistema teórico da física é simplificado – “*This outcome had not been anticipated, and Helmholtz and Poincaré still believed that the geometry obtained could not be proved to be different from Euclidean geometry.*” (*ibid.*, p.36)

Com relação às geometrias matemáticas, não há “reticência” por parte do autor em aceitar o convencionalismo, desde que salvasse o aspecto empírico (a escolha da geometria não é totalmente determinada pela experiência, mas também não pode ser independente dela: uma deve obrigatoriamente ser coordenada à outra). Até aqui, o foco de Reichenbach não foi o problema da *geometria física* propriamente dita, sim a questão dos sistemas da geometria matemática que podem ser coordenados à experiência (sempre que a palavra ‘geometria’ for mencionada por si só, leia-se “geometria matemática”). O autor acentua o papel das definições coordenativas e reforça sua crítica com relação ao critério de simplicidade: “*The significance of this simplicity should not be exaggerated; this kind of simplicity, which we call descriptive simplicity, has nothing to do with truth.*” (*ibid.*, p.35)

A conclusão da teoria de Einstein de que “uma geometria não euclidiana resulta na vizinhança de corpos celestes” só tem significado objetivo com base na definição coordenativa geométrica que foi assumida por ele mesmo inicialmente ($F = 0$ e $G' = G$). A partir da escolha da definição coordenativa, a afirmação seguinte sobre a geometria do espaço físico pode ser confrontada com a experiência e verificada se “verdadeira” ou “falsa” – ou seja, a *coordenação verificável* depende da *coordenação preliminar*: entretanto, é a combinação de ambas que oferece uma declaração objetiva do mundo, no caso, da real estrutura do espaço. Na sua leitura,

Reichenbach se “auto” demarca do convencionalismo⁵ por defender sobretudo a possibilidade de um conhecimento objetivo sobre a natureza do espaço:

From conventionalism the consequence was derived that it is impossible to make an objective statement about the geometry of physical space, and that we are dealing with subjective arbitrariness only; the concept of geometry of real space was called meaningless. This is a misunderstanding. Although the statement about the geometry is based upon certain arbitrary definitions, the statement itself does not become arbitrary: once the definitions have been formulated, it is determined through objective reality alone which is the **actual geometry**.” (ibid., p.36-7)

Eis chegado o ponto crucial que, em respeito à “ótica do autor”, é preciso saber distinguir rigorosamente a “dual natureza do problema”. O sistema de conhecimento pode se valer de convenções, mas isto não significa que todo ele se torne convencional. Reichenbach defende que a verdadeira geometria do espaço físico, seu conhecimento não é puramente “convencional”. É preciso levar a sério sua distinção para compreender o “porquê” do autor defender o convencionalismo com relação às geometrias matemáticas, mas não admiti-lo completamente com relação à geometria física. Primeiramente, sua defesa da possibilidade de um conhecimento objetivo não assenta apenas no papel das definições coordenativas, sim na sua articulação com as coordenações verificáveis: ele admite que há arbitrariedade na escolha de determinadas definições (estas são as *coordenações preliminares* necessárias), mas quando combinadas

⁵ Ao levarmos em consideração a abordagem do próprio Poincaré sobre a *relatividade do espaço* (por exemplo, em “Science and Method”, 2003 [1913], pp.93-116), somado aos estudos contemporâneos que ajudam a esclarecer a fidedigna compreensão do seu convencionalismo (Paz & DiSalle, 2014) – devemos ser cuidadosos com as “consequências” que Reichenbach deriva do “convencionalismo” para não atribuí-las diretamente ao próprio Poincaré – são consequências que o próprio Reichenbach extrai da *sua* leitura do convencionalismo, as quais o próprio deseja se “auto” demarcar. Quão melhor se compreende ambos, mais se reconhece que Reichenbach (1958) é “pró-Poincaré”, e não o contrário (como talvez pensasse). A necessidade de se demarcar da linhagem do mestre francês não provinha da sua concepção das *geometrias matemáticas* (em parte, muito alinhada), sim da *geometria física*, pois Reichenbach leva adiante a perspectiva relacional do espaço físico para uma interpretação realista e causal – isto sim o diferencia e faz com que seja “reducionista” toda tentativa de compreendê-lo como puro “convencionalista”, ou julgar que seu “relacionismo ontológico” deriva do seu parcial “convencionalismo epistemológico” (conforme julga erroneamente FRIEDMAN, 1983, p.304) – antes de tudo, Reichenbach é *relacionista* porque é *empirista* – neste sentido, aproxima-se mais de Mach do que de Poincaré.

com as *coordenações verificáveis* (que testam as previsões teóricas com os dados experimentais), são fornecidas declarações objetivas sobre a “geometria do espaço real”.

De forma ilustrativa, pode-se compreender da seguinte maneira: o sistema de relações espaciais entre os objetos físicos apresenta uma “topologia física” que lhe é característica, isto sim é um aspecto da “geometria real” para Reichenbach – ela pode ser estudada através dos sistemas das geometrias projetivas e métricas; a “metrificação” do espaço depende de escolhas arbitrárias – daí entra o papel das definições coordenativas, que determinam tanto o sistema métrico quanto a “geometria teórica” a ser utilizada – isto estabelece a forma com que “abordamos” o espaço (metaforicamente, diria-se: o espaço tem uma “forma topológica” própria, mas a “régua métrica” com que desejamos medi-lo e compará-lo é escolha nossa).

Assim, escolhas são feitas inicialmente para abordar o experimento e haver coerência entre ele e o sistema teórico; ao final, as “coordenações verificáveis” testam as previsões teóricas lhes confrontando com os dados experimentais (as medições finais). O conhecimento objetivo defendido por Reichenbach assenta no fato de que, ao se estabelecer um padrão de medida, um sistema métrico e uma geometria correspondente – toda medida realizada nesse sistema expressa uma relação objetiva do mundo, uma comparação. Caso se realize a medida em outro sistema, a transformação de um para o outro deve ser preservada – o valor da medida muda de acordo com o sistema, mas a *relação* se preserva e deve ser compatível entre as diferentes formas de abordagem. A relação espacial tem um caráter objetivo; e toda medida é feita com base em relações. Para o autor, é errado pensar que por se adotar convenções, todo o sistema de conhecimento então assume um caráter convencional.

Este é um dos pontos de discórdia entre os críticos da sua obra; infelizmente, não cabe a este artigo uma abordagem exaustiva do problema. Pode ser encontrado no debate entre Schlick e Reichenbach (consta nos seus artigos e ensaios em “Selected Writings”, 1978); foi minuciosamente abordado por Grünbaum (1973)⁶ e amplamente explorado pelos críticos do

⁶ P.s.: julgo que a melhor interpretação da obra de Reichenbach foi fornecida por Grünbaum (1973). Embora tenha sido crítico à resistência do primeiro em aceitar o seu “convencionalismo”, soube separar com rigor o aspecto físico

convencionalismo, especialmente por Friedman (1983) e pelos defensores da perspectiva oposta, o substantivismo – dentre eles, os principais são Sklar (1974) e John Earman (1989). Aqui, defendemos o ponto de vista do próprio autor por duas razões básicas: (1) deve-se respeitar a sua separação da dual natureza do problema; ter um posicionamento convencionalista com relação ao papel das geometrias matemáticas não caracteriza a sua interpretação da geometria física também como um conhecimento puramente convencional; (2) o *princípio da relatividade da geometria* adquire na obra um sentido **libertador**: não mais o espaço físico está condicionado a corresponder a apenas um espaço matemático possível, pelo contrário, há múltiplos espaços possíveis e nenhum deles é “mais verdadeiro” que outro.

O problema do espaço físico se liberta do impasse epistemológico do conhecimento das geometrias matemáticas (espaços matemáticos assumem um papel acessório, ferramenta indispensável ao método coordenativo, porém não mais que isso). Adotar uma geometria matemática não encerra o problema da geometria física, apenas dá início à sua investigação:

- a) Por um lado, há o aspecto teórico e instrumental do problema, que lida com a escolha da geometria matemática G coordenada ao sistema métrico – trata-se de uma decisão puramente convencional, associada também à def. coordenativa geométrica ($G' = G + F$). Por esse lado, pode-se compreender Reichenbach como um “convencionalista empírico” (reformula o convencionalismo de Poincaré e tem uma postura crítica com

da abordagem de Reichenbach do aspecto matemático do problema. Através disso, Grünbaum desenvolveu a sua tese mais promissora – a tese do *amorfismo métrico intrínseco* do espaço (que por fim fortalece a perspectiva de Reichenbach; e inclusive tal tese, em linhas gerais, já havia sido apresentada por Henri Poincaré, 2003 [1913], p.99). O espaço físico (relacional) não tem necessariamente forma métrica intrínseca alguma; ou seja, independente de poder ser estudado através de um *espaço métrico* específico, isto não significa que ambos se identifiquem. Pode-se atribuir ao espaço determinadas propriedades “topológicas”, mas a metrificação depende de estipulações arbitrárias, convencionais, sendo um erro achar que tais características se atribuem ao espaço – pertencem às decisões que tomamos na escolha do sistema métrico e da geometria teórica.

*** No contexto da teoria da relatividade geral, uma confusão muito comum pode ocorrer caso se interprete a gravidade como uma espécie de “força métrica” (“*metric power*”) que “distorce” ou “curva” a geometria do espaço-tempo; deve-se ter claro em mente que a gravidade não é uma “força métrica”, mas uma interação entre os corpos físicos que promove mudanças nas propriedades topológicas das relações espaciais entre eles – o tensor métrico $g_{\mu\nu}$, por si só, é apenas uma forma de expressar esta interação e seus efeitos nas relações “espaço-temporais”; tal “métrica”, conforme apontamos, depende sempre das definições iniciais que são adotadas.

relação ao critério de simplicidade descritiva, mas não promove uma ruptura, sim o aprimoramento).

- b) O segundo e mais relevante aspecto é o que se aprofunda na “outra natureza do problema” – “Qual a verdadeira geometria do espaço real?” – eis o que interessa a Reichenbach. Uma vez que o *princípio da relatividade geométrica* atesta que nenhuma geometria matemática é a “verdadeira”, o espaço físico jamais deve ser identificado com a estrutura ideal dos espaços matemáticos; a resposta assenta nas complexas relações espaciais da experiência.

Ao questionar a natureza do espaço e sua “verdadeira geometria”, o autor transgride o patamar científico e epistemológico de investigação para se aprofundar na perspectiva ontológica do problema: inaugura a sua *teoria realista e causal do espaço físico relacional*, associando as propriedades da ordem espacial à ordem temporal e, por fim, ao conceito de série causal. Relacionismo, realismo e causalidade compõem o referencial metafísico que o autor se vale ao enfrentar corajosamente o problema do espaço físico; julgá-lo como um puro “convencionalista” é mais do que injusto, trata-se de um reducionismo atroz praticado por aqueles que tentaram ofuscar o ímpeto filosófico da sua magna obra, geralmente motivados por orientações metafísicas e epistemológicas adversárias (basta-se antever o idealismo neokantiano de Friedman ou o substantivismo por parte de Sklar, Earman, entre outros).

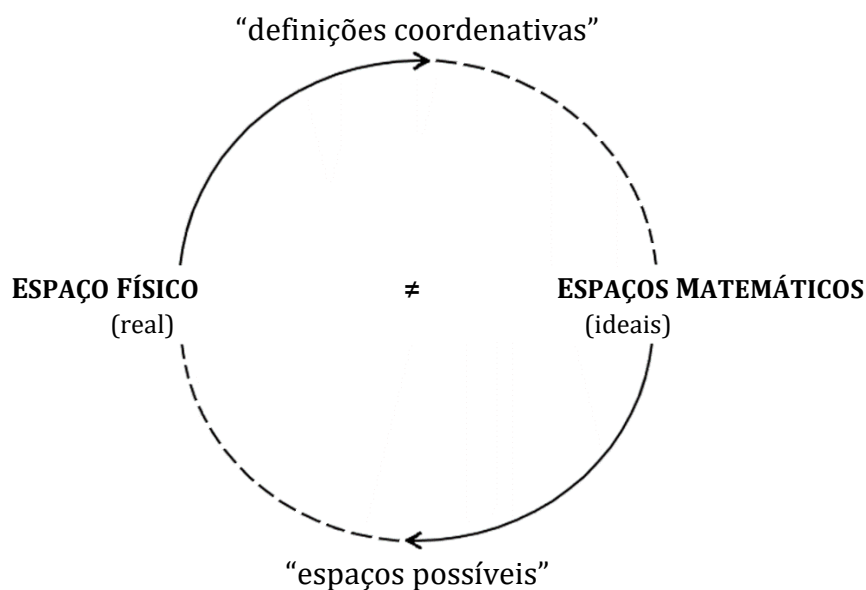
A “relatividade da geometria” se expressa justamente no fato de que os resultados das medidas dependem da escolha de definições coordenativas, ou seja, são “relativos” a elas. Reichenbach defende uma articulação indissociável entre o relativismo geométrico e o empirismo com a perspectiva relacional do espaço: o caráter objetivo do mundo físico nos é fornecido através das relações; as medições físicas são sempre relativas; o espaço físico enquanto objeto de experiência jamais é absoluto e independente dos objetos físicos, pois somente através das relações entre os corpos físicos é que podemos investigá-lo. Conclui-se que o espaço físico, do ponto de vista empírico, é relacional; as geometrias matemáticas são interpretadas apenas

como “linguagens” que abordam de diferentes maneiras o sistema de relações espaciais; é justamente a consciência do relativismo dessas “linguagens” que permite inferir o conhecimento objetivo do espaço físico, não a partir de modelos matemáticos ideais, mas com base nas relações espaciais fornecidas pela experiência:

The objective character of the physical statement is thus shifted to a statement about relations. [...] There exists a similar objective statement about the geometry of the real space: it is a statement about a relation between the universe and rigid bodies. The geometry chosen to characterize this relation is only a mode of speech; however, our awareness of the relativity of geometry enables us to formulate the objective character of a statement about the geometry of the physical world as a statement about relations. In this sense we are permitted to speak of physical geometry. (REICHENBACH, 1958, p.37)

O espaço real é entendido como o sistema de relações entre os corpos físicos, relações estas empíricas e nomeadamente “espaciais” – a geometria física investiga tais relações através dos atributos da extensão, localidade, escala, posição, movimento, ordem e situação – todos estes conceitos compreendidos a partir das relações dos objetos físicos entre si. Para um empirista como Reichenbach, não faz sentido inferir os atributos da espacialidade a partir de uma entidade abstrata e “inexperienciável”, supostamente substancial, absoluta e independente, na qual os objetos a “ocupam” e possuem seus atributos “espaciais” relativos a ela – uma espécie de “palco absoluto” e “fantasmagórico”, à margem da experiência sensível.

A sua classificação se reduz à dual distinção entre o *espaço físico* e os *espaços matemáticos*, centrada na radical diferença entre os dois tipos, o que permite esquematizá-la de forma diametralmente oposta, porém, preserva-se as interconexões “cíclicas” estabelecidas pelo método coordenativo – método que articula as relações entre experiência e teoria, entre o espaço real da física e os espaços ideais da matemática – por um lado, a investigação experimental fornece as definições coordenativas; e, por outro lado, os espaços matemáticos fornecem os modelos de “espaços possíveis” para a coordenação dos dados da experiência:



Esquema 3 – *Distinção de Reichenbach*

Deve-se atentar a três importantes aspectos desta dual distinção: (i) o espaço físico é o “espaço real”, logo não está subordinado a nenhum modelo teórico ideal, pelo contrário, a abordagem experimental do espaço físico que valida tais modelos; (ii) os espaços matemáticos, estes sim puramente teóricos e ideais, englobam todos os modelos de espaços da topologia, da geometria projetiva e das geometrias métricas, n -dimensionais; (iii) todos os modelos de espaços matemáticos que se provam consistentes são “espaços *matematicamente* possíveis”, mas isto não significa que sejam “fisicamente correspondentes” – tal designação feita por Reichenbach se restringe aos modelos de espaços matemáticos que podem ser aplicados na investigação do espaço físico, ou seja, devem satisfazer a determinados critérios na tentativa de corresponder à experiência.

A tridimensionalidade espacial, por exemplo, é um critério básico que torna evidente a diferença entre o espaço físico e o “espaço-tempo” quadridimensional. Tanto na formulação de Minkowski (na teoria da relatividade especial) quanto na formulação de Einstein (na teoria da relatividade geral), não se deve confundir a representação matemática do “espaço-tempo” diretamente com o espaço físico ou com o tempo físico; isto recairia no mesmo erro discutido

anteriormente de se identificar algo ideal como real. O “espaço-tempo” é, para Reichenbach, uma poderosa ferramenta matemática; antes de se atribuir significação física a cada uma das quatro coordenadas (x, y, z, t) , trata-se puramente de modelos de *espaços matemáticos quadridimensionais*, construídos a partir de diferentes estipulações métricas. Não se deve confundir a geometria matemática do “espaço-tempo” com a geometria física. Embora os procedimentos de mensuração espacial e temporal possam ser correlacionados, a geometria física, enquanto uma “ciência do espaço”, e a cronometria, a “ciência do tempo”, devem ser rigorosamente distinguidas. O tempo jamais deve ser compreendido como a quarta dimensão do espaço físico: *“The theory of relativity therefore does not maintain that time is the “fourth dimension of space”; it is and remains time in all its specific properties.”* (*ibid.*, p.189)

Estabelecidas as importantes distinções entre o espaço físico e os espaços matemáticos; entre o espaço, o tempo e o espaço-tempo; o autor aprofunda sua análise nas relações entre tais conceitos, desenvolvendo sua teoria com base nas noções de *ordem* e *causalidade*: eis a *Teoria Causal do Espaço e Tempo* de Reichenbach. Nos limites deste artigo, convém apenas mencioná-la como um promissor convite ao leitor. Ao estabelecer uma hierarquia entre os conceitos de *série causal*, *ordem temporal* e *ordem espacial*, o autor nos lega a máxima mais citada da sua obra: *“Time is therefore logically prior to space. [...] The topological neighborhood relations of space are therefore reduced to temporal relations and thus to causal relations”*. (*ibid.*, p.169) Por ora, focaremos no debate das classificações.

5. Estudo comparativo das classificações: Reichenbach vs Carnap e Mach

Alegoricamente, é possível vislumbrar uma *Torre de Babel* erigida sobre o tema do “espaço”; torre cuja consequência, fosse por obra da natureza ou de uma “Deidade” sobre a linguagem humana, “dispersou sobre a face de toda a terra” (*Gênesis* 11, 9) seus múltiplos significados e diferentes conceitos... É curioso observar que os três autores selecionados, cujos trabalhos datam das primeiras décadas do século passado, lidaram com a mesma dificuldade que se lida

hoje ao propor um tema tão vasto quanto este; daí o resultado exemplar da tese de Carnap, conciliador e resiliente, ao demonstrar que nas discussões entre físicos, filósofos e matemáticos, muitas controvérsias e pseudoproblemas seriam evitados “*se a clareza prevalecesse sobre os diferentes significados do espaço.*” (CARNAP, 2019, p.121)

Um século após, o esforço epistemológico de Carnap é analogamente imprescindível a qualquer trabalho sobre o tema. Uma das vantagens na seleção dos três autores é que, embora diverjam suas terminologias e seus critérios de classificação, há o entendimento comum do espaço físico enquanto “objeto de experiência” (empírico) e, por conseguinte, relacional. Compreendem que “o conceito de medição é um conceito de relação”, se o espaço físico é o “espaço das medições físicas” e toda medição é “relativa”, logo sustentam a perspectiva relacional: o espaço físico é o “sistema de relações fornecido pela experiência”, relações estas que dependem dos padrões de medida e das comparações entre os corpos físicos. Não admitem uma compreensão de tal conceito à margem da experiência e independente das relações materiais. Logo, denomina-se esta linhagem de interpretação “empírica e relacional”.

Deve-se salientar que a interpretação *empírica* do “espaço físico” não implica necessariamente em um posicionamento *empirista*; é no problema da fundamentação do conhecimento que encontramos o pomo da discórdia entre os autores – de um lado está o empirismo crítico de Mach e o empirismo lógico de Reichenbach (que negam às geometrias a possibilidade de um conhecimento independente da experiência), e do outro há a síntese neokantiana (atenuada e modificada) revigorada pelo “jovem Carnap”. Foi rico para o espectro de comparações deste artigo selecionar a tese de Carnap, não os trabalhos que sucederam ao positivista lógico posterior (do Carnap “maduro” e mais reconhecido), que em linhas gerais estariam em melhor acordo com o empirismo de Reichenbach.

Enquanto Mach focalizou melhor o tema do “espaço fisiológico” na sua defesa das “influências fisiológicas na geometria”, Carnap acrescentou a teoria do espaço formal e a teoria do espaço intuitivo, temas suplementares à abordagem de Reichenbach, cujo foco é o espaço físico. Uma característica em comum entre as classificações de Mach e Reichenbach é: para ambos há

“o espaço” (real / relacional), entretanto, Reichenbach o identifica diretamente com o espaço físico, enquanto Mach considera a abordagem física apenas uma das vias para a compreensão do que seja “o espaço” – em Reichenbach, esta é a abordagem que interessa. O “espaço fisiológico” de Mach é designado por Reichenbach como “espaço perceptivo” e, justificadamente, o autor defende que não deve ser considerado um tipo de espaço diferente:

Though we have used previously the concept of perceptual space, we cannot fail to mention that this term, though frequently employed, is rather unfortunate. Perceptual space is not a special space in addition to physical space, but physical space which endow with a *special subjective metric*. (Each sense has a different metric.) Once this fact is realized, our argument is easily understood. That perceptual space and physical space ought to be distinguished implies that physically equal distances in physical space are not always experienced as such. There is no third kind of space. (REICHENBACH, 1958, p.86)

Reichenbach entende o “espaço perceptivo” como a percepção sensorial do espaço físico por cada indivíduo através dos seus sentidos (visão, tato, audição); cada sentido apresenta assim uma “métrica especial subjetiva” – capacidade de perceber e estimar o espaço à volta que é relativa a cada sentido (“especial”) e pode variar de acordo com cada indivíduo (“subjetiva” neste sentido, termo empregado de maneira imprecisa, passível de correção)⁷. Podemos perceber as relações espaciais de diferentes maneiras, mas isto não implica que o *espaço* percebido seja um outro “tipo de espaço” a mais: trata-se da mesma natureza do espaço físico, porém, ao invés de ser abordado por medições físicas (“objetivas”), restringe-se à percepção sensorial de cada pessoa. No caso, Reichenbach e Mach não diferem tanto quanto parece, pois em ambos o

⁷ “*Special subjective metric*” – esta expressão é utilizada na obra uma única vez e podemos julgá-la equivocada à luz das pesquisas atuais em Ciências Cognitivas; a percepção espacial pode variar em cada indivíduo, mas não envolve aspectos puramente “psicológicos” – “subjetivos” – sim “fisiológicos”, conforme Mach abordou muito bem, pois não se trata da mera apreciação “subjetiva” de cada um. Reichenbach fez o emprego infeliz desta expressão e não tornou a repeti-la; o autor oferece uma melhor interpretação do significado da “percepção” no capítulo “5. Perception” do longo artigo “§48. The Aims and Methods of Physical Knowledge [1929]” (in REICHENBACH, 1978, II, pp.136-9) – neste texto ulterior, constata-se o quão o significado da “percepção” para Reichenbach está próximo da interpretação empirista do próprio Mach; o uso infeliz da expressão “métrica subjetiva” na citação anterior pode ser remediado se compreendermos que o “espaço perceptivo”, para o autor, pode variar de acordo com o indivíduo (não por razões “subjetivas / psicológicas”, mas sim fisiológicas).

“espaço fisiológico” e “perceptivo” conceitualmente se equivalem e englobam o visual e o tátil, dando maior ênfase ao espaço da visualização; divergem mais pela terminologia e pelo critério de classificação do que pela temática em si. O interessante acaba por ser a *unificação* que Reichenbach promove – o “espaço perceptivo / fisiológico” não é um *tipo* diferente do espaço físico; é o mesmo tipo, varia apenas a forma de abordá-lo (logo, o estudo da percepção espacial pelas Ciências Cognitivas, na distinção de Reichenbach, é classificado como estudo do tipo “físico”, trata-se de um campo empírico de investigação).

Já na tese neokantiana de Carnap, não é tão óbvio o motivo dele desconsiderar o “espaço perceptivo / fisiológico” diretamente na sua classificação. Aqui, arrisca-se uma modesta compreensão: em “Der Raum”, podemos inferir que o espaço fisiológico também se incorpora ao “tipo físico”, embora isto não esteja explicitado – na medida em que pertence à percepção sensorial, faz parte da experiência e, como todo tipo de “intuição externa”, seu conhecimento também é fundamentado a partir da “intuição pura”, subordinado ao espaço intuitivo, condição de possibilidade de todos os fenômenos. Inclusive no “Appendix II” da tese (CARNAP, 2019, p.151), encontramos uma nota que enfatiza a necessidade de distinguir o “espaço fisiológico da visão” do “espaço intuitivo” – obviamente não se deve confundir ambos (muito menos confundir o espaço “fisiológico” com o “formal”) – isto nos é claro.

Entretanto, quanto ao tipo “físico”, nesta mesma parte do apêndice é mencionado o contraste de Russell entre “espaço físico” e “espaço da visão”, e logo em seguida aponta para a distinção de Schlick entre “espaço visual” e “espaço físico-objetivo”; assim, tudo leva a crer que para o “jovem Carnap”, embora o “espaço fisiológico” fosse do tipo “físico”, ele restringe a sua abordagem da *teoria do espaço físico* a uma noção de “espaço físico experimental (objetivo)”, que se remete ao sistema de relações espaciais fornecido a partir dos padrões físicos de medida, não através da percepção sensorial de cada “indivíduo”.

A abordagem de Mach do espaço fisiológico tem um propósito mais amplo e diferenciado, do qual Carnap se abduz em sua tese: para Mach, importa sobretudo a questão da *origem do conhecimento* relacionada aos conceitos de espaço, daí a sua ênfase nas raízes “psico-

fisiológicas” desses conceitos, o que reforça a sua tese empirista – todo conhecimento tem origem na experiência. Já Carnap tem o interesse mais restrito no problema da justificação e das diferentes formas de conhecimento do espaço (sua abordagem neokantiana concorda que “todo conhecimento se inicia com a experiência”, mas “isso não prova que todo ele derive da experiência”). Convém sempre chamar atenção que esta é uma fase do “jovem Carnap” (da tese), pois nesta mesma edição dos seus “Early Writings” (2019) encontramos o importante trabalho – “Three-Dimensionality of Space and Causality” [1924a] – no qual Carnap já desenvolve muito melhor sua abordagem fisiológica com fortes teses que já transitam para uma compreensão mais lógica (“Russelliana”) da dita “I. Experience of First and Second Order. The Primary World of Sense Impressions and the Fictitious Secondary Worlds of Things and of Physics” (*ibid.*, p.251). Entretanto, trata-se de uma transição do autor que, apesar do trabalho distar apenas três anos do anterior, não deve ser lido de modo “complementar” ou “agregado” ao seu posicionamento em “Der Raum” (em [1924a], Carnap já começa a considerar certas críticas neopositivistas ao conceito kantiano de “experiência”).

Entre Mach e Reichenbach, encontramos maiores afinidades: outra similaridade notória entre os dois se dá na divisão das geometrias. Enquanto Mach distingue entre a “geometria prática” e as “geometrias teóricas”, Reichenbach também faz a dual distinção entre a “geometria física” e as “geometrias matemáticas” – não é errado aproximar a interpretação “física” de Reichenbach com a “prática” de Mach, assim como a aproximação entre as geometrias “teóricas” com as “matemáticas”, pois ambos defendem a interpretação empírica do espaço físico em radical oposição à concepção “ideal” dos espaços matemáticos: a raiz epistemológica da distinção deles é a mesma. O que diverge entre eles, neste tópico, é que Mach ainda não concebia uma aplicação prática das geometrias não euclidianas conveniente às teorias físicas da sua época, enquanto Reichenbach já se baseia na teoria da relatividade geral – tais sistemas não euclidianos possuem aplicação prática na geometria física – neste sentido, há vários “espaços métricos” possíveis.

Comparativamente, as classificações de Carnap e Reichenbach se aproximam pelo conteúdo científico que abarcam (ambas consideram o problema do relativismo geométrico e se baseiam na teoria da relatividade geral), mas se destoam completamente pelas epistemologias que defendem, no sentido de que suas teorias do conhecimento se opõem em importantes aspectos. Há na tese de Carnap a defesa neokantiana dos juízos sintéticos *a priori* aplicados ao espaço intuitivo e a subordinação do conhecimento do espaço físico ao intuitivo; já em Reichenbach tal tese é refutada, conseqüentemente a relação de subordinação não é admitida, pelo contrário, a ênfase é dada ao conhecimento empírico do espaço físico e os possíveis espaços matemáticos assumem um papel coordenativo, subordinado à experiência.

É possível comparar os espaços matemáticos referidos por Reichenbach aos espaços intuitivos de Carnap, pois tecnicamente ambos se referem às mesmas estruturas matemáticas, mas a epistemologia que cada um se baseia diverge suas classificações tanto na terminologia quanto na interpretação do conhecimento que se aplica a cada tipo: os axiomas da “geometria intuitiva”, segundo Carnap, expressam um conhecimento sintético *a priori*; enquanto os axiomas das geometrias matemáticas, para Reichenbach, não expressam conhecimento algum – são *relações estabelecidas arbitrariamente* – não são sintéticos, nem mesmo analíticos, pois não podem ser avaliados como “verdadeiros” ou “falsos”, são puras definições:

Therefore the question of the truth of an axiom does not arise in mathematical geometry. Axioms are arbitrarily fixed relations, the content of which can be expressed by certain combinations of logical concepts alone, and which can be replaced just as well by any other consistent combination of basic concepts.

If we wish to express our ideas in terms of the concepts synthetic and analytic, we would have to point out that these concepts are applicable only to sentences that can be either true or false, and not to definitions. The mathematical axioms are therefore neither synthetic nor analytic, but definitions. (*ibid.*, p.100)

Os axiomas matemáticos não são deduzidos de nenhuma sentença prévia, pelo contrário, seu conjunto é o ponto de partida do sistema lógico-dedutivo de cada geometria matemática e por isso não se aplica a eles o inquérito da verdade (um axioma pode ser aceito ou recusado,

possivelmente substituído por outro, mas jamais se pode julgá-lo como “falso” ou “verdadeiro”). As proposições deduzidas a partir deles sim (como nos teoremas), são consideradas “analíticas” porque abrangem o critério de consistência: podem ser provadas “falsas” ou “verdadeiras” mediante as regras de dedução. Embora analíticas, não constituem um “conhecimento *a priori*”, são “prévias ao conhecimento”, pois a validação de todo conhecimento é sempre *a posteriori*. Considerar uma proposição matemática como “analítica *a priori*” não é errado para Reichenbach, desde que não superestime o significado “*a priori*”.

Outro contraste importante é que Reichenbach não considera os espaços formais como um tipo de espaço a mais. A incorporação dos sistemas geométricos da matemática à lógica formal contribui ao tratamento analítico das geometrias, mas isto não fornece modelos de espaços diferentes dos anteriores; trata-se da mesma estrutura analítica e idealizada dos espaços matemáticos que pode ser aplicável à experiência ou não, através do método coordenativo. Carnap distinguia entre o espaço formal e o intuitivo pois pretendia defender os dois tipos como formas de conhecimentos diferentes: o primeiro analítico *a priori* e o segundo sintético *a priori*. Entretanto, Reichenbach já considera os sistemas geométricos dos espaços matemáticos (deduzidos a partir dos seus axiomas) como “analíticos”, portanto não há necessidade de distingui-los como um “tipo” de conhecimento diferente dos espaços formais.

Apesar das dissidências epistemológicas entre os dois autores, devemos ressaltar que acerca do espaço físico suas interpretações convergem em importantes aspectos: (i) ambos defendem a perspectiva relacional; (ii) consideram o conhecimento do espaço físico “sintético *a posteriori*”; (iii) distinguem a geometria física como o ramo de investigação experimental passível de aplicação dos diversos sistemas geométricos da matemática correspondentes à experiência (para Carnap, tal correspondência se dá pela relação de subordinação; para Reichenbach, dá-se através do método coordenativo); (iv) ambos admitem as relações relativistas entre o espaço físico e o tempo físico, mas não confundem os dois conceitos com o espaço-tempo (em Carnap, ‘espaço-tempo’ é um tipo de espaço intuitivo quadridimensional, ao qual o espaço físico

e o tempo físico, enquanto objetos de experiência, podem ser subordinados; em Reichenbach, é um tipo de espaço matemático quadridimensional).

Por fim, (v) sobre o relativismo geométrico, ambos aplicam o critério epistemológico de *simplicidade descritiva* ao problema da “escolha da geometria”. Porém, a interpretação de Carnap ainda é puramente convencionalista, pois atesta este como um critério final decisivo. Reichenbach se demarca melhor do convencionalismo tradicional por reformular o problema, aplicando o critério à escolha das definições coordenativas; assim deixa claro não ser este um critério para a verdade, que nenhuma geometria matemática é mais verdadeira do que a outra e, para a geometria física, é na associação entre as definições coordenativas e as coordenações verificáveis que assenta a possibilidade de um conhecimento objetivo sobre a “geometria do espaço real”. A obra de Reichenbach supera o trabalho do “jovem Carnap” em muitos quesitos, especialmente se o foco da investigação é centrado no tema do “espaço físico”; porém, devemos salientar que os dois advogam suas teses à luz de epistemologias distintas e, dentro dos seus diferentes ramos, ambos legaram contribuições dignas do mais belo esforço filosófico – o da clarificação das ideias e dos conceitos.

Considerações finais: este artigo propõe a demarcação do problema geral do espaço com base nos seus diferentes tipos. Por conseguinte, nosso problema específico adquire uma delimitação mais precisa: afunila-se a questão geral “o que é espaço?” (com seus múltiplos desdobramentos possíveis) na questão específica: “*o que é espaço físico?*” Não é objetivo deste artigo endossar nenhuma das respostas a tal questão, mas desde já podemos garantir que tal conceito não se trata dos demais tipos de espaço. Diferenciá-los não exclui as possíveis relações entre eles; seja a relação de *correspondência* de Mach, a de *subordinação* de Carnap, ou a de *coordenação* defendida por Reichenbach. Agora, *metodologicamente*, é possível estender e adaptar estas considerações aos tipos de espaço trabalhados nas obras de outros autores, desde que saibamos identificar em cada um (na sua classificação) o como se associa cada significado do ‘espaço’ com os tipos abordados nestas três classificações vigentes.

Retomando a questão da introdução – “Por que propor o estudo comparativo das classificações desses três autores específicos (e não de outros)? Quais são as vantagens?” – Apresentamos três fatores preponderantes na seleção deles que agora podem ser esclarecidos:

- a) *Relevância* da relação autor & obra: não há dúvida quanto à relevância dos trabalhos selecionados e dos próprios autores em questão, mas sobressai um fator histórico vantajoso ao selecioná-los – o período entre o advento das geometrias não euclidianas no século XIX até o advento da teoria da relatividade geral no século XX, é um período de transição com profundas transformações para a filosofia do espaço – daí a temática dos “tipos de espaço” ter se tornado extremamente acirrada e controvertida. Como justificativa maior, Mach, Carnap e Reichenbach são autores que debatem explicitamente suas classificações. São filósofos dessa transição que foram capazes de propor sínteses que repercutiram nas classificações sucessoras, ao mesmo tempo que estabelecem um elo esclarecedor com o passado, com as importantes questões que já haviam sido bem colocadas por Gauss, Riemann, Helmholtz, Poincaré, Couturat, entre outros.
- b) *Vigência* (conceitual, terminológica): este fator pode ser avaliado separadamente. No caso da classificação de Mach, o tipo “espaço fisiológico” conceitualmente está em vigência nas investigações atuais em Ciências Cognitivas, embora a terminologia aparentemente caiu em desuso (o termo ‘fisiológico’ é muitas vezes substituído por ‘perceptivo’, ou se utiliza diretamente a designação específica do ‘espaço visual’ ou ‘tátil’). Outro problema recai na terminologia do ‘espaço métrico’: hoje compreendemos o “espaço das experiências métricas” enquanto ‘espaço físico’, e a teoria da relatividade geral não propõe *um* único espaço métrico específico, propõe vários espaços métricos possíveis (consultar: Schutz, 2009). Até aqui, se compreendermos o “espaço métrico” de Mach não no sentido singular, mas no sentido plural e mais amplo de espaço das “experiências métricas”, felizmente não há defasagem conceitual, apenas terminológica. O problema é que sua defasagem terminológica pode gerar sérios danos à compreensão conceitual. No

mais, devemos ter cuidado para não confundir o possível significado puramente matemático de “espaço métrico”, com o significado físico de “espaço das experiências métricas”. As vantagens das classificações de Carnap e Reichenbach é que seus tipos permanecem em vigência tanto conceitual quanto terminológica, embora os tipos de *espaço formal e intuitivo* de Carnap sejam mais restritos aos campos da lógica e da filosofia – a distinção de Reichenbach entre *espaços matemáticos* e *espaço físico*, para além do rigor epistemológico do autor, é melhor compreendida no campo científico.

- c) *Objetivo* (propósito do estudo): por fim, a finalidade do estudo comparativo é o fator preponderante na seleção dos autores, ao mesmo tempo que evidencia a particularidade do estudo – ou seja, seus limites e alcance. Se o objetivo é se aprofundar no estudo do espaço físico, ao selecionar as classificações de Mach, Carnap e Reichenbach, estamos evidentemente favorecendo a interpretação *empírica e relacional*. Mas, afinal, o que nos motiva a propor uma releitura desses autores e ainda trabalhar com suas classificações? – Esta pergunta evidencia que o verdadeiro objetivo deste estudo não se encerra neste artigo; aqui, o estudo comparativo cumpre o propósito didático de enriquecer a literatura sobre o tema, podendo assim fornecer a base para *perspectivas futuras* de trabalho. Novos artigos na vastidão deste tema virão à luz...

Perspectivas futuras: aos leitores interessados em se aprofundar e cooperar nesta linha de pesquisa, aponto aqui algumas possibilidades de trabalhos que muito enriqueceriam o contraste das classificações. Em primeiro lugar, seria muito interessante um estudo comparativo análogo ao proposto neste artigo, mas analisando as classificações de autores defensores da perspectiva substantivista do espaço – como Sklar e John Earman (embora não debatam explicitamente suas classificações, é possível extrair das obras deles suas compreensões particulares dos diferentes tipos de espaço). Em segundo lugar, seria muito vantajoso estender este estudo a autores como Poincaré, Grünbaum e atualmente Lee Smolin (em prol da perspectiva relacional) – analisá-los sob a ótica deste tema complementaria positivamente o estudo

comparativo aqui apresentado (obviamente, outros autores que satisfaçam critérios de *relevância* e *vigência* também podem ser propostos). Esta preocupação assenta na máxima introdutória deste artigo: quão mais classificações pudessem ser incorporadas ao estudo, mais contrastes seriam avaliados e, por conseguinte, enriquecidas seriam as nossas conclusões.

Até aqui, limitamo-nos à “filosofia do espaço”. É importante que o leitor anteveja que é possível classificar também os diferentes tipos de “espaço-tempo”; a filosofia do tempo pode ser incorporada ao estudo comparativo, o que complexifica bastante as diferentes formas de classificação. Tim Maudlin (2012), por exemplo, apresenta uma abordagem detalhada para se compreender os diferentes tipos de *espaço-tempo*, tanto em seu significado puramente matemático, como também no moderno significado de “espaço-tempo físico”. Reichenbach defendeu que o *tempo físico* não pode ser confundido como “quarta dimensão” do *espaço físico* (assim como não se pode confundir a cronometria com a geometria física⁸) – isto não deixa de ser válido. Não se pode reduzir a filosofia do tempo (em sua vasta complexidade) a uma interpretação de mera “coordenada espacial matemática”. O tempo, embora *matematicamente* possa ser considerado a quarta dimensão do “espaço-tempo matemático (4D)”; *fisicamente* o seu debate se estende para muitas interpretações distintas (ver: Čapek, 1991; Unger & Smolin, 2014; Van Fraassen, 2015). Caso se trabalhe com o conceito de “espaço-tempo físico”, aí sim pode-se considerar o “tempo físico” como pertencente a essa estrutura conceitual, e o mesmo procede com o “espaço físico” (ver: MAUDLIN, 2012, págs.33; 63-65; 161).

No geral, a máxima que adverte – *não confundir o conceito de espaço físico diretamente com o de espaço-tempo* – é didaticamente prudente e válida, o que não significa excluir as possíveis representações que o espaço e o tempo físicos podem ter em tais estruturas conceituais propostas pelas teorias físicas. Smolin (et al., 2011), por exemplo, trabalha com o amplo conceito de “espaço de fase” [*phase space*] – um espaço matemático octo-dimensional (8D) que representa as quatro dimensões usuais do espaço-tempo, associadas ao chamado “espaço

⁸ Conforme Jammer já afirmava [1993]: “... a geometria, no sentido de uma ciência do espaço, ainda não foi logicamente subordinada à cronometria, a ciência do tempo e sua mensuração.” (JAMMER, 2010, p.28)

momentum”, que representa as três dimensões do momento linear associadas à energia (esta última expressa como oitava coordenada)⁹ – $(x, y, z, t; p_x, p_y, p_z, E)$.

Physics takes place in *phase space* and there is no invariant global projection that gives a description of processes in spacetime. From their measurements local observers can construct descriptions of particles moving and interacting in a spacetime, but different observers construct different spacetimes, which are observer-dependent slices of phase space.” (SMOLIN et al., 2011, p.2)

Este trabalho se baseia no chamado *princípio da localidade relativa*, no qual o próprio conceito de “espaço-tempo” passa a ser relativizado – “*diferentes observadores constroem diferentes espaço-tempos*” – mas todos esses processos ocorrem em uma estrutura mais geral, ou seja, “*são fatias do espaço de fase dependentes do observador*”. Por ora, focando no nosso tema específico, é importante perceber o como se pode aplicar as distintas classificações dos “tipos de espaço” abordadas: apesar de Smolin expor uma interpretação física mais ampla para o seu conceito teórico, o espaço físico corresponde apenas às três coordenadas usuais representadas nessa estrutura geral, que é o “espaço de fase” – em nenhum momento Smolin está a alegar que o “espaço físico” seja octo-dimensional (a má divulgação científica algumas vezes estimula os leigos a crerem que “há dimensões espaciais físicas a mais, que não enxergamos!”), pelo contrário, a tridimensionalidade do espaço físico é garantida neste *espaço de fase*. De acordo com a *classificação de Mach*, o espaço de fase é um tipo de *espaço geométrico octo-dimensional* (proposto pela geometria teórica) ao qual o “espaço das experiências métricas” da geometria prática é correspondido pelas três coordenadas espaciais (x, y, z) . Na *distinção de Reichenbach*, temos a estrutura do espaço físico tridimensional *coordenada* a um “espaço matemático octo-dimensional” (assim como o tempo físico também está ali representado, junto às demais coordenadas do momento e energia).

⁹ Como introdução ao tema, um ótimo artigo de divulgação científica foi escrito por Amanda Gefter (2011) – “Beyond space-time: Welcome to phase space” – *New Scientist* [3 August 2011].

Já na *classificação de Carnap*, diríamos que o espaço físico tridimensional está *subordinado* à estrutura do “espaço intuitivo topológico octo-dimensional”, neste caso representado pelo espaço de fase. A rigor, há diferenças entre o *método coordenativo*, defendido por Reichenbach, e o *método subordinativo*, defendido por Carnap, que levadas às suas últimas consequências podem acarretar interpretações diferentes sobre a natureza do espaço físico, como na questão da dimensionalidade: por exemplo – Carnap considera que *o que é* provado pela experiência é que o espaço físico tem *no mínimo* três dimensões (CARNAP, 2019, pp.125-7); já Reichenbach, em sua interpretação empirista, defende indelevelmente a tridimensionalidade do espaço físico (REICHENBACH, 1958, pp.275-9), assim como Mach, que embora se questionasse “*Why space is three-dimensional?*” (MACH, 1906, p.143), não levantava dúvidas sobre este fato. (As diferentes interpretações do problema da dimensionalidade do espaço que derivam do contraste entre o método *coordenativo* e o *subordinativo*, de Reichenbach e Carnap, também podem ser tema para um artigo específico.)

Nessas três classificações vigentes, o “espaço de fase” de Smolin não adquire uma interpretação física, apenas matemática – o que não significa que elas estejam defasadas; elas simplesmente compreendem à “filosofia do espaço” de modo estrito. Caso se proponha uma interpretação física do “*espaço de fase*”, conforme o próprio Smolin procura expor no seu trabalho, isto naturalmente deverá ser incorporado a outras classificações que não se restringem a classificar os tipos *de* espaço, mas sim os tipos de “espaço-tempo” (e neste caso específico, associados às coordenadas do “espaço momentum” – p_x, p_y, p_z, E). P.s.: espera-se que com esses breves comentários, dignos de serem melhor desenvolvidos em artigos vindouros, possamos ter lançado luz sobre uma série de questões e trabalhos promissores que podem vir a ser propostos na vastidão desta temática.

Nas duas últimas décadas, as tentativas de unificação dos domínios da mecânica quântica com a física relativística nas chamadas teorias da gravitação quântica, passaram a propor teorias “emergentes” do espaço-tempo, ou seja, espaço e tempo deixam de ser “conceitos fundamentais” e passam a ser interpretados como estruturas emergentes de processos físicos mais

fundamentais; tudo isso promoveu uma reascensão da perspectiva relacional que se remonta desde Leibniz, passando por Mach, Einstein, Reichenbach, Grünbaum e hoje temos sua defesa nos importantes trabalhos de Lee Smolin, além da interpretação realista e causal da mecânica quântica não-linear desenvolvida por José Croca e seu grupo, da Escola de Lisboa.

O estudo comparativo que foi proposto teve esta particularidade: ele assenta na perspectiva relacional do espaço físico. A atitude de colocar o tema dos “tipos de espaço” em evidência prevalece principalmente nos autores da tradição crítica do relacionismo, daí a importância do pioneirismo da abordagem de Ernst Mach que, por si só, já justificaria sua seleção ao nosso estudo. A importância de saber distinguir o conceito de espaço físico dos demais “tipos de espaço” é crucial para compreender os limites entre teoria e experiência, tendo por excelência o propósito de combater os excessos da idealização teórica, principalmente as tentativas insustentáveis de se confundir a natureza do espaço físico com as estruturas ideais dos espaços matemáticos; daí a vivacidade dos trabalhos de tais autores, pois ainda são capazes de lançar luz no debate contemporâneo e nos auxiliarem com o rigor das suas distinções.

Os motivos que favorecem adotar tais classificações vão além da sua vantajosa atualidade, trata-se de uma importante **ferramenta epistemológica**: o posicionamento crítico contra os excessos da idealização matemática é bem-vindo a toda análise empírica rigorosa, pois assenta nossos “pés no chão” da experiência, mira o enfoque da investigação primeiramente para a natureza do espaço físico e é contrária às tentativas de reduzir sua compreensão às limitações dos modelos matemáticos; em outras palavras, ajuda a não reduzir a compreensão da *physis* às idealizações teóricas. Eis o seu legado.

Do amor à physis, ao labor dos seus enigmas!

Agradecimentos: aos orientadores desta pesquisa, profs. José Croca, João Cordovil e Rui Moreira, que integram o corajoso grupo de filosofia das ciências da natureza do CFCUL.

Agradeço também ao Prof. Francisco Caruso (CBPF), que me introduziu ao estudo das teorias do espaço e segue sendo uma inspiração por suas contribuições ao tema. Um agradecimento especial à Prof^a. Olga Pombo, que me ajudou a progredir na escrita acadêmica ao longo dos difíceis anos doutorais. Ao astrônomo Diogo Belloni, pela contribuição, amizade e motivação.

À Maria Alves (mãe) e Lorena Pamplona (irmã), pelo *amor* e soberano apoio.

Ao promissor grupo *Physikós*, especialmente aos profs. Vinícius Carvalho, Augusto Vi-deira e Eduardo Simões, que apostam no desenvolvimento da filosofia da física no Brasil.

Por fim, agradeço ao processo de avaliação da Revista Perspectivas, que conduziu este artigo ao seu devido aperfeiçoamento. Esta pesquisa teve subsídio da Bolsa de Doutorado Pleno no Exterior da CAPES (Brasil). Ao longo dos anos de crise acentuada em nosso país, a CAPES se manteve adimplente, rigorosa e eficaz com o financiamento a tal pesquisa no exterior, o que permitiu equilíbrio e estrutura para atingir seus resultados ulteriores. Este trabalho se integra a uma *tese* mais ampla no âmbito do Programa Doutoral em Filosofia da Ciência, Tecnologia, Arte e Sociedade (PhD-FCTAS), da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa (FCUL), cujo nome é: “*Espaço & Meio Subquântico: a filosofia do espaço físico à luz da Hyperphysics*”.

Referências bibliográficas

- BIPM. *Le Système international d'unités / The International System of Units (SI)*. 9e édition. Paris: Bureau International des Poids et Mesures, 2019.
- BUNGE, Mario. *Física e Filosofia* (trad. G. K. Guinsburg). São Paulo: Ed. Perspectiva, 2000.
- _____. *La Investigación Científica. Su estrategia y su filosofía* (trad. Manuel Sacristán), Buenos Aires: Siglo XXI Editores (3ª Ed.), 2004 [1967].
- ČAPEK, Milič. *The New Aspects of Time. Its Continuity and Novelities*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1991.
- CARNAP, R. *Logical Syntax of Language*. Abingdon, Oxon: Routledge, 1937.
- _____. *Space: A Contribution to the Theory of Science*. In: CARUS, A.W. et al. (eds.). *The Collected Works of Rudolf Carnap, Vol. I: Early Writings*. N.Y.: Oxford U. Press, 2019.
- CROCA, J. R. *Eurhythmic Physics or Hyperphysics, the Unification of Physics*. Saarbrücken: Lap Lambert Academic Publishing, 2015.

- _____. *Beyond Space and Chronological Time. The Physics of Becoming*. Chisinau: Lambert Academic Publishing, 2021.
- DiSALLE, Robert. *Understanding Space-time. The Philosophical Development of Physics from Newton to Einstein*. Cambridge: at University Press, 2006.
- EARMAN, John. *World Enough and Space-Time: Absolute vs Relational Theories of Space and Time*. Cambridge, Massachusetts: The M.I.T. Press, 1989.
- EARMAN, John et al. (eds.). *Philosophical Problems of the Internal and External Worlds. Essays on the Philosophy of Adolf Grünbaum*. Pittsburgh: at University Press, 1993.
- FRIEDMAN, M. *Foundations of Space-Time Theories*. Princeton: at University Press, 1983.
- GRÜNBAUM, A. *Philosophical Problems of Space and Time*. 2nd Ed. Dordrecht: D. Reidel Publishing Company, 1973.
- HOFFMANN, Dieter. The Society for Empirical/Scientific Philosophy. In: Richardson & Uebel (eds.), *The Cambridge Companion to Logical Empiricism*, N.Y.: Cambridge University Press. (p.41-57), 2008.
- HUSSERL, E. *Ideas pertaining to a Pure Phenomenology and to a Phenomenological Philosophy* (trans. F. Kersten). The Hague (Netherlands): Martinus Nijhoff Publishers, 1983.
- JAMMER, M. *Conceitos de Espaço: A História das Teorias do Espaço na Física* (trad. Vera Ribeiro). Rio de Janeiro: Contraponto & Ed. PUC-Rio, 2010.
- JI, L. & PAPADOPOULOS, A. *Sophus Lie and Felix Klein: The Erlangen Program and Its Impact in Mathematics and Physics*. Zürich: European Mathematical Society, 2015.
- KANT, I. *Crítica da Razão Pura* (trad. A. Morujão). 8^a Ed. Lisboa: F. Cal. Gulbenkian, 2013.
- LORENTZ, H. A., EINSTEIN, A. e MINKOWSKI, H. *Textos Fundamentais da Física Moderna, Vol.I – O Princípio da Relatividade* (trad. M. J. Saraiva). 6^a Ed., Lisboa: F. Calouste Gulbenkian, 2014 [1958].
- MACH, E. *The Science of Mechanics. A critical and historical account of its development* (trans. T. McCormack). 4th Edition. Chicago: The Open Court Publishing Co., 1919.
- _____. *Space and Geometry in the Light of Physiological, Psychological and Physical Inquiry* (trans. T. McCormack). La Salle, Illinois: The Open Court Publishing Co., 1943.
- _____. *The Analysis of Sensations* (trans. C. Williams). New York: Dover, 1959.
- MAUDLIN, T. *Philosophy of Physics. Space and Time*. Princeton: at University Press, 2012.
- OBERDAN, T. The Synthesis of Logicism and Formalism in Carnap's Logical Syntax of Language. In: F. Stadler (ed.), *Scientific Philosophy*. Dordrecht: Kluwer (pp.157-168), 1993.
- PAZ, M. & DiSALLE, R. (eds.). *Poincaré, Philosopher of Science. Problems and Perspectives*. Dordrecht: Springer, 2014.
- POINCARÉ, Henri. *Science and Method* (trans. F. Maitland). London: Thomas N&S, 2003.
- REICHENBACH, H. *The Philosophy of Space & Time*. New York: Dover, 1958 [1927].
- _____. *Philosophic Foundations of Quantum Mechanics*. Berkeley and Los Angeles: University of California Press, 1944.
- _____. *The Theory of Probability. An Inquiry into the Logical and Mathematical Foundations of the Calculus of Probability*. 2nd Ed., Berkeley-L.A.: Univ. of California Press, 1949 [1935].

- ____ *Experience and Prediction. An analysis of the Foundations and the Structure of Knowledge.* Chicago: Phoenix Books, University of Chicago Press, 1961 [1938].
- ____ *The Theory of Relativity and a priori Knowledge.* Berkeley, L. A.: University of California Press, 1965 [1920].
- ____ *The Rise of Scientific Philosophy.* L. Angeles: Univ. of California Press, 1968 [1951].
- ____ *Axiomatization of the Theory of Relativity.* Berkeley and Los Angelis: University of California Press, 1969 [1924].
- ____ *The Direction of Time.* Berkeley and Los Angelis: California Library Print Series Edition, University of California Press, 1971 [1956].
- ____ *Hans Reichenbach: Selected Writings 1909-1953. Vol. I and Vol. II* (ed. by Maria Reichenbach & R. S. Cohen). Dordrecht: D. Reidel Pub. Co., 1978.
- ____ *Defending Einstein: Hans Reichenbach's Writings on Space, Time and Motion* (ed. by S. Gimbel & A. Walz). New York: Cambridge Univ. Press, 2006.
- SCHUTZ, Bernard. *A First Course in General Relativity.* 2nd Edition. New York: Cambridge University Press, 2009.
- SKLAR, L. *Space, Time and Spacetime.* Berkeley and L.A.: Univ. California Press, 1974.
- ____ *A Filosofia da Física* (trad. Pedro Galvão, Paula Mateus e Desidério Murcho). Rio de Janeiro: Contraponto, 2021.
- SMOLIN, Lee. *Three Roads to Quantum Gravity.* New York: Basic Books, 2001.
- ____ (et. al) *The Principle of Relativity Locality.* In ArXiv: 1101.0931v2 [31 Jan 2011]
- ____ *Einstein's Unfinished Revolution. The Search for What Lies Beyond the Quantum.* New York: Penguin Press, 2019.
- UNGER, R. & SMOLIN, Lee. *The Singular Universe and the Reality of Time. A Proposal in Natural Philosophy.* Cambridge: Cambridge Univ. Press, 2014.
- VAN FRAASSEN, B. C. *The Scientific Image.* New York: Oxford University Press, 1987.
- ____ *Quantum Mechanics: an Empirist View.* N.Y.: Oxford U. Press, 1991.
- ____ *An Introduction to the Philosophy of Time and Space.* Nousoul Digital Pub., 2015.

Recebido em: 05/05/2022

Aprovado em: 09/03/2023

Filipe Pamplona

Astrônomo, doutorando em *Lógica e Epistemologia* pelo PhD-FCTAS da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa (subsidiado pela CAPES). Membro integrado do Centro de Filosofia das Ciências da ULisboa (CFCUL).