

Filosofia das Ciências Físicas (Vol. 1)

Eduardo Simões & Osvaldo Pessoa Jr.
(Organizadores)

COLEÇÃO
ANPOF
XX
ENCONTRO



Entre os dias 30 de setembro e 4 de outubro de 2024, a cidade de Recife recebeu o XX Encontro de Filosofia da ANPOF, um evento que reuniu pesquisadores, docentes e estudantes em torno das mais diversas questões filosóficas. Com a participação de 73 Grupos de Trabalho, o encontro consolidou-se como um espaço essencial para o intercâmbio acadêmico, promovendo debates aprofundados sobre temas que atravessam a história da filosofia e suas interfaces com outras áreas do conhecimento.

Filosofia das Ciências Físicas

(Vol. 1)

Conselho Editorial

Antonio Augusto Passos Videira (UERJ)

Décio Krause (PPGLM\UFRJ)

Eduardo Simões (UFT)

Erickson Cristiano dos Santos (UFMS)

Jonas Rafael Becker Arenhart (UFSC)

Luciana Zaterka (UFABC)

Osvaldo Pessoa Jr. (USP)

Patrícia Maria Kauark Leite (UFMG)

Ronei Clecio Mocellin (UFPR)

Samuel José Simon (UnB)

Silvio Seno Chibeni (Unicamp)

Vinícius Carvalho da Silva (UFMS)

Filosofia das Ciências Físicas

(Vol. 1)

Eduardo Simões

Osvaldo Pessoa Jr.

Organizadores



Gerente Editorial

Junior Cunha

Conselho Editorial

Ana Karine Braggio

Gustavo Rohte de Oliveira

Jaqueline Thais de Souza

José Francisco de Assis Dias

Júlio da Silveira Moreira

Pietra Maria Gulak Welter

Reginaldo César Pinheiro

Ronaldo de Oliveira

Produção Editorial

Ammy Lee Vitória

Daniela Valentini

José Luiz G. Mariani

Medéia Lais Reis

Mônica Chiodi

Instituto Quero Saber

www.institutoquerosaber.org

editora@institutoquerosaber.org

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

F488

Filosofia das ciências físicas - vol.1 / organizadores
Eduardo Simões e Osvaldo Pessoa Jr. 1. ed. (ebook) -
Toledo, Pr.: Instituto Quero Saber, 2025.
180 p.: il. color (Coleção do XX Encontro Nacional de
Filosofia da ANPOF)

Modo de Acesso: World Wide Web:

www.institutoquerosaber.org

ISBN: 978-65-5121-229-1

DOI: <https://doi.org/10.58942/eqs.207>

1. Filosofia.

CDD 22. ed. 190

Rosimarizy Linaris Montanhano Astolphi – Bibliotecária CRB/9-1610

Este livro foi editado pelo Instituto Quero Saber em parceria com a ANPOF.

O teor da publicação é de responsabilidade exclusiva de seus respectivos autores.

ANPOF – Associação Nacional de Pós-Graduação em Filosofia

Diretoria 2025-2026

Janyne Sattler (UFSC), presidente

Eduardo Vicentini de Medeiros (UFSM), secretário-geral

Wanderson Flor do Nascimento (UnB), secretário-adjunto

Francisca Galiléia Pereira da Silva (UFC), tesoureira-geral

Ester Maria Dreher Heuser (Unioeste), tesoureira-adjunta

Halina Leal (PUCPR), diretora de comunicação

Mariana Claudia Broens (Unesp), diretora editorial

Conselho Fiscal

Érico Andrade (UFPE)

Susana de Castro (UFRJ)

Adriano Correia (UFG)

Diretoria 2023-2024

Érico Andrade Marques de Oliveira (UFPE), presidente

Eduardo Vicentini de Medeiros (UFSM), secretário-geral

Tessa Moura Lacerda (USP), secretária-adjunta

Judikael Castelo Branco (PROF-FILO/UFT), tesoureiro-geral

Francisca Galiléia Pereira da Silva (UFC), tesoureira-adjunta

Georgia Cristina Amitrano (UFU), diretora de comunicação

Solange Aparecida de Campos Costa (UESPI), diretora editorial

Conselho Fiscal

Taís Silva Pereira (PPFEN-CEFET/RJ)

Ester Maria Dreher Heuser (Unioeste)

Castor Bartolomé Ruiz (Unisinos)

Apresentação da Coleção do XX Encontro Nacional de Filosofia da ANPOF

Entre os dias 30 de setembro e 4 de outubro de 2024, a cidade de Recife recebeu o XX Encontro de Filosofia da ANPOF, um evento que reuniu pesquisadores, docentes e estudantes em torno das mais diversas questões filosóficas. Com a participação de 73 Grupos de Trabalho, o encontro consolidou-se como um espaço essencial para o intercâmbio acadêmico, promovendo debates aprofundados sobre temas que atravessam a história da filosofia e suas interfaces com outras áreas do conhecimento.

Os trabalhos apresentados neste encontro refletem a pluralidade da pesquisa filosófica no Brasil, abordando desde questões clássicas da metafísica e da epistemologia até discussões urgentes sobre raça, gênero, decolonialidade e filosofia da deficiência.

Os livros que agora publicamos reúnem os trabalhos apresentados no XX Encontro da ANPOF, preservando a riqueza das reflexões desenvolvidas durante o evento. Cada artigo representa uma contribuição valiosa para o avanço do debate filosófico e para o fortalecimento das comunidades acadêmicas que buscam compreender e transformar a realidade por meio do pensamento crítico. Mais do que um registro, estas publicações são um convite à continuidade das discussões iniciadas no encontro, abrindo caminho para novas investigações e diálogos.

Agradecemos a todos os participantes que contribuíram para a realização deste evento e para a produção deste material. Que estas publicações possam servir de inspiração e referência para pesquisadores, estudantes e interessados na filosofia, reafirmando o papel fundamental da ANPOF no fomento à pesquisa e à circulação do conhecimento filosófico no Brasil.

Solange Costa
Diretora editorial da ANPOF
Biênio 2023-2024

Sumário

Apresentação.....	11
Schrödinger e a desconstrução da imagem das partículas elementares: continuidade e visualização	15
Eduardo Simões	
Ernst Mach & André Assis: empirismo e relacionismo na Filosofia do Espaço.....	43
Filipe Pamplona	
A concepção russelliana de objeto físico	69
José Marcos Gomes de Luna	
A recepção do “jovem Carnap” à divergência de Kant e Einstein sobre o conhecimento do espaço	79
Lucas Rodrigues de Oliveira	
Henri Poincaré e Karl Popper: entre a verdade matemática e a verossimilitude.....	99
Onofre Crossi Filho	
Questões à “interpretação da consciência processual” da Mecânica Quântica	115
Raoni Arroyo, Lauro de Matos Nunes Filho & Frederik Moreira dos Santos	
Hume’s “hypotheses non fingo”	129
Silvio Seno Chibeni	
Problemas de testabilidade na Cosmologia Física	145
Teresa Seabra Antunes	
Realismo matemático e ontologia da Física na teoria dos três mundos de Roger Penrose	167
Vinícius Carvalho da Silva	

Apresentação

É com muita satisfação que apresentamos a seguir nove contribuições feitas no Grupo de Trabalho em Filosofia das Ciências Físicas, em 2 e 3 de outubro de 2024, no *XX Encontro da ANPOF* realizado em Recife.

Eduardo Simões explora a interpretação que Erwin Schrödinger desenvolveu para a Teoria Quântica ao longo de várias décadas, uma visão realista baseada na concepção de que os entes atômicos e subatômicos têm natureza ondulatória. Manteve um compromisso com a “visualização” dos átomos, concebidos como processos contínuos que se desdobram no espaço e no tempo, regidos pela causalidade. O autor examina as críticas feitas pelos físicos da interpretação ortodoxa, e como Schrödinger respondeu a elas.

Filipe Pamplona estuda a filosofia do espaço em Ernst Mach e em André Assis, ambos adotando uma perspectiva relacional. O autor mostra como a concepção do físico austríaco pode ser dividida em três tipos: os espaços fisiológico, geométrico e o métrico (ou físico). Faz então um resumo bem balanceado da Mecânica Relacional do físico brasileiro, que reformula a mecânica com base no paradigma relacional, no qual a soma de todas as forças é sempre zero em qualquer referencial. Para ambos os pensadores, embora o espaço seja relacional, as relações espaciais são apresentadas como relações fundamentais da matéria. O autor conclui com uma saudação poética às margens do Rio Capibaribe!

José Marcos Gomes de Luna analisa o tratamento conceitual dado pelo filósofo Bertrand Russell à noção de “objeto físico”. Para isso, apresenta a concepção russelliana de *acquaintance*, ou conhecimento por contato, que é desenvolvida pelo pensador inglês em termos de “dados dos sentidos”. Nesse nível, não se conhece um objeto físico, só objetos sensíveis. Para se chegar ao objeto físico, como uma partícula subatômica, é preciso fazer uma inferência a partir da experiência sensível, o que envolve a noção de “construção lógica”.

Lucas Rodrigues de Oliveira examina a proposta do jovem Rudolf Carnap, influenciado pela noção de espaço intuitivo de Edmund Husserl, de conciliar a filosofia de Immanuel Kant com a ontologia da teoria da relatividade geral de Albert Einstein. A ideia é garantir uma origem a priori para os axiomas da geometria pura, mas sem limitar tal conhecimento do espaço físico a uma determinada estrutura métrica. Ou seja, para este neokantismo, tanto a geometria euclidiana quanto as geometrias não euclidianas são consistentes com nossa intuição de espaço. Porém, o debate sobre essa posição foi prejudicado pelo abandono de Carnap de seus escritos do início da década de 1920.

Onofre Crossi Filho compara a noção de verdade matemática de Henri Poincaré com o conceito de verossimilitude de Karl Popper. Partindo da noção, vista acima com Russell, de que a ciência só tem acesso às relações entre as coisas, Poincaré desenvolve uma noção forte de verdade apenas na Matemática, por meio de princípios como o da indução completa. A verdade matemática seria aplicada à Física apenas por analogia. Com Popper, mesmo que a experiência não possa conferir veracidade a uma teoria física, ela pode falseá-la. Com isso, desenvolve a noção de verossimilitude, ou aproximação da verdade. O autor conclui que essas duas abordagens são complementares.

Raoni Arroyo, Lauro de Matos Nunes Filho & Frederik Moreira dos Santos exploram a “interpretação da consciência processual” da Mecânica Quântica, desenvolvida pelos próprios autores, que propõe uma ontologia de processos como solução ao problema da medição. Tal

interpretação parte da noção de que a consciência humana causa o colapso da onda quântica, mas quer evitar o dualismo de substância que é geralmente associado a essa ideia. Assim, inspiram-se em filosofias de processo como a de Alfred Whitehead para propor que a consciência é uma dinâmica integrada ao próprio tecido da realidade quântica. Em suma, o ato de observação consciente e o colapso da função de onda seriam dois aspectos de um mesmo processo. Após apresentarem sua interpretação, os autores respondem a alguns problemas levantados contra ela.

Silvio Seno Chibeni explora a postura aparentemente negativa que David Hume tinha com relação às hipóteses. Ao contrário da interpretação clássica, de que o filósofo escocês teria banido todo tipo de hipótese de seus escritos filosóficos, o autor analisa cinco passagens em que Hume faz uso de hipóteses como candidatas à verdade, e assim conclui que o que Hume queria dizer com seus enunciados negativos é que há uma prioridade epistêmica do nível empírico em comparação com a realidade para além da observação.

Teresa Seabra Antunes apresenta uma discussão sobre questões filosóficas relativas à Cosmologia Científica, sobretudo as que dizem respeito à testabilidade empírica das teorias. Argumenta que os cosmólogos reconhecem a relevância epistêmica da testabilidade, mas que muitas vezes essa ênfase é apenas retórica, concordando neste ponto com o historiador Helge Kragh. Examina também como isso é concatenado pelos cientistas com a noção de falseabilidade de Karl Popper. Dada a natureza filosófica de muitas das questões em Cosmologia, a autora defende que o campo poderia se beneficiar bastante de uma maior interação com a Filosofia da Ciência.

Vinícius Carvalho da Silva explora a teoria dos três mundos de Roger Penrose. A teoria dos três mundos postula a existência de um Mundo fundamental de formas matemáticas, como defendida por Platão, a partir do qual emerge o Mundo Físico, de natureza espaço-temporal, onde estruturas materiais se formam e tornam-se cada vez mais

complexas, até a emergência de formas vivas dotadas de consciência, que consiste do terceiro mundo, o Mundo Mental. O autor analisa esta teoria, discutindo o lugar que o realismo matemático (platonismo) ocupa nela e o “entrelaçamento ontológico” entre os mundos matemático, físico e mental.

Essas contribuições apresentam uma rica diversidade de abordagens filosóficas e científicas, refletindo a complexidade e a profundidade dos debates contemporâneos na Filosofia das Ciências Físicas. Ao explorar temas que vão desde as interpretações da Teoria Quântica até as questões filosóficas da Cosmologia, os autores não apenas ampliam nosso entendimento sobre as fronteiras entre a Ciência e a Filosofia, mas também desafiam os paradigmas tradicionais, propondo novas perspectivas que podem enriquecer o campo. A troca de ideias e o desenvolvimento dessas discussões são essenciais para o avanço do conhecimento científico e filosófico, reafirmando a importância da Filosofia das Ciências Físicas como um espaço de reflexão. A realização do *XX Encontro da ANPOF*, com o vigor de suas apresentações e a profundidade dos temas abordados, demonstra o contínuo potencial da Filosofia em contribuir para a compreensão das questões mais fundamentais das Ciências Físicas.

*Eduardo Simões
Oswaldo Pessoa Jr.*

Schrödinger e a desconstrução da imagem das partículas elementares: continuidade e visualização

Eduardo Simões¹

DOI: <https://doi.org/10.58942/eqs.207.01>

1 Introdução

Como se sabe, desde que Max Planck, em 1900, derivou uma equação que inaugurou a ideia de intercâmbio descontínuo de energia para explicar a distribuição da energia na radiação do corpo negro, a noção de indiscernibilidade, ou indistinguibilidade, tornou-se central na Teoria Quântica. Com as descobertas feitas por Albert Einstein, em 1905, de que massa (m) e energia (E) são equivalentes, e que a luz não é apenas uma onda, mas também se comporta como partículas de energia, sedimentou-se de vez a ideia do caráter material das partículas. Tais partículas passaram a ser tidas como quantidades ínfimas e minúsculas de matéria que compõem os objetos. Com isso, veio a possibilidade de se projetarem imagens, sustentadas por uma linguagem matemática manejável com precisão, que propiciou aos físicos criarem modelos adequados do que são e como se comportam tais partículas. Esse foi, por exemplo, o caso da Mecânica Quântica. Muitos aspectos de um

¹ Professor do curso de Filosofia da Universidade Federal do Tocantins (UFT). Coordenador do Programa de Pós-graduação em Filosofia da UFT. Coordenador do GT Filosofia das Ciências Físicas. E-mail: eduardosimoes@uft.edu.br

sistema quântico — como energia, momento angular e estados de partículas — são descritos por valores discretos, em contraste com a visão contínua dos sistemas clássicos. As descontinuidades observadas em experimentos são tradicionalmente associadas à imagem corpuscular, pois somente ao considerar que, por exemplo, a luz é composta por fótons (pacotes discretos de energia) e que partículas como elétrons também exibem comportamento corpuscular, podemos entender por que essas interações ocorrem de forma descontínua. Como Hendrik Lorentz (1927, p. 48) bem observou: “se decidirmos dissolver completamente o elétron, por assim dizer [...]”, isso traz uma desvantagem importante. A desvantagem é esta: “[...] como posso entender os fenômenos de fotoeletricidade e a emissão de elétrons de metais aquecidos? As partículas aparecem aqui de forma bastante clara e sem alteração; uma vez dissolvidas, como poderiam se condensar novamente?”.

Werner Heisenberg também defendeu que “o elemento de descontinuidade [está] sempre presente nos fenômenos atômicos; qualquer tela de cintilação ou contador Geiger exhibe imediatamente esse elemento” (Heisenberg, [1958] 1995, p. 109). E, segundo ele, “quando ouvirmos o velho adágio, *Natura non facit saltus*, como base para se criticar a teoria quântica, poderemos replicar que, certamente, nosso conhecimento pode mudar abruptamente e esse fato justifica o uso da expressão ‘salto quântico’” (Heisenberg, [1958] 1995, p. 46). Enfim, as descontinuidades estão associadas à imagem corpuscular na Mecânica Quântica porque, nessa teoria, muitas grandezas físicas não são contínuas, mas quantizadas, ou seja, ocorrem em pacotes discretos (*quanta*). E essa era a noção amplamente admitida e propagada pela Escola de Copenhague.

Mas, Erwin Schrödinger não se alinhava com esse pensamento e, como bem notou Michel Bitbol (1996, p. 68-69), para ele “a única razão pela qual seus colegas de Göttingen-Copenhague achavam que estavam obrigados a abandonar o sonho de moldar uma imagem dos processos físicos no espaço-tempo era que a representação corpuscular,

com suas trajetórias bem definidas de pontos materiais individuais, havia falhado”. Reforça Schrödinger ([1948] 1956, p. 196):

[...] a única razão para o clamor iconoclástico é a seguinte: o conceito de corpúsculo tornou-se, é verdade, a posse inquestionável e inalienável do físico, que o utiliza continuamente como um construto mental [...], mas [...] isso leva a um considerável constrangimento porque ainda não conseguimos fundi-lo com o conceito de onda.

A noção de Schrödinger era que a imagem idealizada do átomo era incoerente. Para que o elétron, que segundo a Física Clássica se move irradiando energia, não se precipitasse sobre o núcleo do átomo idealizado por Bohr, este o concebeu movendo-se em “órbitas estacionárias”. Um átomo não emite radiação quando do seu estado estacionário; isso só ocorre quando faz uma transição, dá um salto, de um estado para o outro. Dessa forma, os elétrons podem se mover entre órbitas subindo e descendo na escala, e esses movimentos são conhecidos como saltos quânticos. A diferença de energia entre os degraus é adquirida ou perdida com o elétron absorvendo ou emitindo luz de uma frequência correspondente. Tal energia se apresenta na forma de radiação eletromagnética que pode ser vista sob forma de luz. Em suma, o átomo não absorve nem emite radiação continuamente, somente por meio dos saltos quânticos.

A equação que rendeu o Prêmio Nobel de Física para Schrödinger, em 1933, entretanto, apresenta uma noção completamente diferente. Inspirada no trabalho de Louis de Broglie, a mecânica ondulatória de Schrödinger admitia explicar o mundo quântico de uma forma mais próxima da física tradicional, proporcionando uma solução mais rápida e intuitiva dos problemas físicos. Einstein a recebeu com muito entusiasmo e a reconheceu imediatamente como uma forte aliada. Em carta a Michel Besso, em 1^a de maio de 1926, Einstein escreveu: “Schrödinger publicou dois artigos maravilhosos sobre as regras

quânticas” (*apud* Pais, 1982, p. 442). A mecânica matricial tinha, finalmente, uma forte concorrente!

No formalismo de Schrödinger, as ondas descrevem uma perturbação do ambiente e não ocupam um lugar determinado. Se em de Broglie toda matéria tem uma onda associada a ela — as famosas ondas de matéria —, descritas por uma equação, em Schrödinger era a função de onda aquela que descrevia a forma da onda em um determinado momento. A função de onda, contudo, não podia ser medida, visto que consistia de uma parte real e uma parte imaginária (tratava-se de um número complexo), não tendo um significado físico. Esta dizia respeito a uma função inobservável, mas cujo quadrado era um número real que, enquanto tal, possuía um significado físico. Para Schrödinger, tal número era uma medida da densidade de carga elétrica do elétron no local por um instante.

Foi assim que Schrödinger introduziu a noção de “pacote de ondas”, com a qual desafiava a própria existência do elétron ou de qualquer partícula. Um pacote de ondas é uma combinação de várias ondas de diferentes comprimentos de onda e frequências. Essa combinação resulta em uma onda que é localizada no espaço, permitindo descrever a probabilidade de encontrar uma partícula em uma determinada região. O elétron parecia ser uma partícula, mas na realidade não era. Ao invés de tratar os elétrons como partículas com trajetórias definidas, Schrödinger os descreve por funções de onda que representam a probabilidade de sua localização. A visão corpuscular, nesse sentido, é uma ilusão. A única coisa que existe, na verdade, são as ondas: a superposição de um grupo delas “produz” a partícula. Desta forma, os saltos quânticos e descontinuidades se dissolvem e a noção de partícula morre de vez.

Aqueles que em seu desejo pela continuidade odiavam renunciar à máxima clássica *natura non facit saltus* aclamaram Schrödinger como o mensageiro de uma nova aurora. De fato, em poucos meses, a teoria de Schrödinger cativou o mundo da física, pois parecia prometer a

“realização daquele desejo irreprimível e por longo tempo malogrado” nas palavras de K. K. Darrow [...]. Planck declarou: “Estou lendo-a com a sensação de uma criança que monta um quebra-cabeças”, e Sommerfeld ficou exultante. Assim, naturalmente, estava Einstein que, em princípios de 1920, escrevera a Bohr, “Eu não acredito que alguém vai resolver os quanta abandonando o *continuum*” (Holt, 1984, p. 58)

2 Schrödinger e as críticas à Interpretação de Copenhague

Como se sabe, Schrödinger foi um dos críticos mais persistentes e eloquentes da interpretação padrão da Mecânica Quântica, a “interpretação de Copenhague”. Juntamente com Einstein (e o de Broglie de antes de 1928), sempre se colocou como oponente a essa interpretação, por eles chamada de atual “dogma”. E por que o dogma de Copenhague o incomodava? Seria em virtude do indeterminismo professado? Teria alguma relação com o positivismo ou antirrealismo de Copenhague? Eram noções como as de colapso da função de onda, criticado no experimento mental do gato, que o afligiam? Ou era a ideia de que a função de onda quântica representa uma probabilidade e só se torna “real” no ato da medição que lhe parecia incompleta e insatisfatória? Na verdade, todos estes itens fazem parte de uma crítica mais ampla que está envolvida com a cobrança de uma falta de um realismo objetivo na interpretação de Copenhague, feita por Schrödinger. Para ele, a realidade física deveria existir de maneira objetiva e concreta, representada por funções de onda que descrevem sistemas quânticos com propriedades reais e contínuas, independentemente da observação ou medição direta. A defesa intransigente de um ideal ondulatório é garantia da continuidade, assegurada pela possibilidade de visualização (*Anschaulichkeit*).

A interpretação de complementaridade, conhecida como interpretação de Copenhague, veio a público em setembro de 1927, em Como, na Itália, durante o *Congresso Internacional de Física* realizado em

comemoração ao centenário da morte de Alessandro Volta (1745-1827). Em uma palestra intitulada “O postulado quântico e o recente desenvolvimento da teoria atômica”, Niels Bohr faz, primeiramente, um apanhado do estado da arte da Teoria Quântica, tratando dos seus problemas contemporâneos — a exemplo do princípio da incerteza. Trata também do desenvolvimento da mecânica matricial, da mecânica ondulatória, dos problemas da interpretação de Schrödinger, dos estados estacionários de um átomo e sobre as perspectivas futuras da Teoria Quântica.

Em segundo lugar, Bohr aborda as diferenças básicas das descrições clássica e quântica da Física, discorrendo sobre a característica de descontinuidade dos processos quânticos, estranha às teorias clássicas; trata da renúncia que o postulado quântico faz a respeito da coordenação espaço-temporal de processos atômicos; versa sobre a interação entre o agente de observação e os fenômenos atômicos; expressa seu antirrealismo ao afirmar que não faz sentido atribuir realidade ao objeto físico independente de um observador; discute sobre a irracionalidade inerente ao postulado quântico quando da possibilidade do corte entre o sujeito e o objeto quântico em qualquer ponto da cadeia que une os dois; discorre sobre o sistema físico que requer a eliminação de todos os distúrbios externos, nesse caso, descrito pela equação de Schrödinger ou outro tipo de evolução unitária que se aplica a sistemas fechados; trata também do sistema em que há uma interação com o aparelho de medição, onde não se aplica uma equação determinista e sim um postulado de projeção. Enfim, introduz o primeiro enunciado da complementaridade, a saber, a complementaridade entre *coordenação espaço-temporal* e *causalidade* (determinismo) ou entre a *observação* e a *definição*. “De fato, na descrição de fenômenos atômicos, o postulado quântico nos apresenta a tarefa de desenvolver uma teoria da ‘complementaridade’, cuja consistência pode ser avaliada apenas pesando-se as possibilidades de definição e observação” (Bohr, [1928] 2000, p. 137).

Um segundo tipo de complementaridade é apresentado por Bohr e esse envolve a questão da complementaridade entre *partícula* e *onda*, que são elementos mutuamente excludentes na Física Clássica. Para Bohr, os aspectos ondulatórios (princípio de superposição na teoria ondulatória) e corpusculares (conservação de energia e momento) de um objeto quântico, embora mutuamente excludentes, são complementares. A definição pelo aspecto onda ou partícula dependerá do tipo de experimento levado a cabo pelo observador: se ele optar pela experiência da dupla fenda, por exemplo, evidenciará a natureza ondulatória; se a experiência for a do efeito fotoelétrico, por outro lado, a natureza se evidenciará corpuscular. Em suma, somente de acordo com o experimento podemos usar ou uma descrição corpuscular, ou uma ondulatória, mas nunca ambas ao mesmo tempo. Segundo Bohr, o uso de um quadro corpuscular ou ondulatório depende do experimento em questão, e um “fenômeno” é a descrição daquilo que deve ser observado e do equipamento usado para obter a observação.

O terceiro tipo de complementaridade, por fim, é entre *observáveis incompatíveis*, como é o caso da posição e do momento. Para esse caso, o princípio da incerteza de Heisenberg já preconizava a impossibilidade de conhecimento preciso e concomitante da posição e da quantidade de movimento de uma partícula no ato de uma medição. Esse tipo de complementaridade incorpora a física de Heisenberg como sinônimo de incerteza. Aqui a complementaridade se dá por meio da tese de que duas quantidades conjugadas são complementares entre si no sentido de que ambas são mutuamente exclusivas, uma vez que a determinação mais precisa do valor de uma delas resulta em maior incerteza com respeito à quantidade complementar, mas juntas exaurem a descrição do objeto atômico.

Os desdobramentos filosóficos da noção de complementaridade de Bohr encaminham-se por três vias: (1^o) professa um tipo de antirrealismo, onde palavras como “partícula” ou “onda” não designam nada a respeito de objetos materiais ou propriedades materiais de

tais objetos, isto é, não têm *status* ontológico, são apenas descrições probabilísticas de certos experimentos, cujos resultados são indeterminísticos; (2º) sacraliza os instrumentos de medição a ponto de fazer com que o ato de observação e a figura do observador se tornem parte integral do próprio instrumento, isto é, perverte a concepção dita científica da dissociação entre sujeito, objeto e instrumentos científicos, além de tornar a medição o alfa e o ômega do conhecimento, já que não há nada observado além da própria observação; (3º) compromete a noção de “objetividade científica”, já que o fundamento do conhecimento científico se desloca do protagonismo do “objeto” para aquele do “sujeito”. Assim, o ato de observar provoca o colapso da função de onda, fazendo com que apenas um dos autoestados seja escolhido aleatoriamente pelo processo de medição. A função de onda modifica-se instantaneamente para refletir essa escolha. Dessa forma, a distinção obsoleta entre sujeito e objeto já não é mais válida, na visão dos complementaristas.

Segundo Schrödinger ([1951] 2003a, p. 131), o que Bohr e Heisenberg “querem dizer é que as descobertas recentes na física fizeram avançar o limite misterioso entre o *sujeito* e o *objeto*, e que assim se verificou que esse limite não era, de todo, um limite preciso”. Bohr, por outro lado, salienta sua esperança de que “a ideia de complementaridade seja adequada para caracterizar a situação, que traz uma analogia profunda com a dificuldade geral na formação de ideias humanas, inerente na distinção entre sujeito e objeto” (Bohr, [1928] 2000, p. 159). Mesmo assim, a ideia de complementaridade não deixou de constituir em objeto de crítica de Schrödinger, e em muitos textos ele apresentou esta objeção. Em outubro de 1926, por exemplo, Schrödinger escreveu uma carta para Bohr expondo suas primeiras objeções às ideias precursoras da complementaridade, dizendo:

[...] não posso deduzir que estou justificado em continuar operando com afirmações contraditórias. É possível enfraquecer as afirmações, dizendo, por exemplo, que a coleção de átomos ‘em certos aspectos se comporta como se ...’ e ‘em certos aspectos, como se ...’, mas isso é, por

assim dizer, apenas um expediente jurídico que não pode ser convertido em um raciocínio claro (Schrödinger, [1926] 1985, p. 13).

Segundo Bitbol (1996), mesmo entre 1929 e 1935, Schrödinger continuava resistindo à ideia de complementaridade de Bohr.

Em 1930, ele admitiu que tanto o modo de pensar atomístico quanto o contínuo (ondulatório) “[...] coincidiam de maneira formalmente matemática” na mecânica quântica. Ele também aceitou provisoriamente considerar a descrição ondulatória como um reflexo do nosso conhecimento e como “[...] baseada no fato de que as observações se perturbam mutuamente”. Mas ele não sintetizou essas observações semelhantes às de Copenhague em nada parecido com o conceito de complementaridade de Bohr (Bitbol, 1996, p. 212).

E a postura não foi diferente entre as décadas de 1940 e 1950 onde em seus seminários em Dublin, por exemplo, Schrödinger registra que “as considerações filosóficas sobre a mecânica quântica saíram de moda. Há uma crença generalizada de que elas se tornaram gratuitas, que tudo está bem a esse respeito, pois nos foi dada a palavra maravilhosamente reconfortante da *complementaridade*” (Schrödinger, 1949, p. 103).

Para ele, “complementaridade” era apenas uma *palavra* que alguns físicos importantes usavam para mesclar e suavizar a variedade de problemas interpretativos associados à mecânica quântica. Ele desenvolveu essa crítica em uma carta a J. Synge escrita em 1959, na qual denunciou vigorosamente o “*slogan* impensado” da complementaridade: “Se eu não estivesse completamente convencido de que (Bohr) é honesto e realmente acredita na relevância de sua — não digo teoria, mas — palavra sonora, eu a chamaria de intelectualmente perversa. *‘Pois justamente quando os conceitos e a lógica estão no fim de suas amarras, você certamente encontrará uma palavra que o ajudará em seus problemas’*” (Fausto I). (Bitbol, 1996, p. 213)

Mas, não era só o emprego da palavra “complementaridade” como um subterfúgio dos físicos para “mesclar e suavizar a variedade de problemas interpretativos associados à mecânica quântica” que

provocava a rejeição de Schrödinger à interpretação de Copenhague. Ele estava, de fato, insatisfeito com a série de problemas que o antirrealismo manifesto desta interpretação levantava. O indeterminismo de fundo, aliado ao probabilismo, à sacralização do aparelho de medição, ao *status* privilegiado do sujeito, bem como às noções de colapso de onda quântica, foram temas recorrentes nos questionamentos de Schrödinger. Contudo, a noção de partícula figurando como uma espécie de indivíduo parece ter sido o carro chefe das críticas do físico austríaco. Diz Schrödinger:

[...] o atomismo tem demonstrado ser infinitamente fértil. Contudo, quanto mais se pensa nele, mais temos de nos perguntar até que ponto é que é uma teoria *verdadeira*. Será se alicerça exclusivamente sobre a estrutura objetiva e efetiva do “mundo real à nossa volta”? Será que não é, de alguma forma significativa, condicionado pela natureza da compreensão humana — que Kant designou por “*a priori*”? Julgo que nos compete manter um espírito extremamente aberto relativamente às provas palpáveis da existência de partículas únicas individuais, sem pôr em causa a nossa admiração profunda pelos gênios daqueles experimentadores que nos proporcionaram toda esta riqueza de conhecimentos (Schrödinger, [1954] 2003b, p. 82-83).

Nutrido o devido respeito pelos “gênios dos experimentadores”, ainda assim, temos que “manter um espírito extremamente aberto relativamente às provas palpáveis da existência de partículas únicas individuais”. Mas, por quê? Qual era o incômodo de Schrödinger com a noção da existência de “partículas únicas individuais”? Não havia ele mesmo afirmado que “durante os últimos cinquenta anos obtivemos provas experimentais da ‘existência real de corpúsculos distintos’”? (Schrödinger, [1954] 2003b, p. 81).

A noção geral de Schrödinger é a de que, na verdade, “não estamos *fazendo experimentos* com partículas individuais, assim como não podemos criar ictiossauros no zoológico. Estamos examinando registros de eventos muito tempo depois de terem acontecido” (Schrödinger, 1952, p. 241). E o que isso significa?

Classicamente, consideramos que os objetos que nos cercam são como que indivíduos, isto é, são vistos como unidades, têm individualidade, têm identidade, podem ser individualizados, isolados. Sugere-se, portanto, que eles possam ser identificados como sendo aqueles objetos com os quais já tivemos alguma experiência anterior. Schrödinger dá um exemplo:

Quando um objeto familiar entra novamente em nosso conhecimento, ele geralmente é reconhecido como uma continuação de aparições anteriores, como sendo a mesma coisa. A permanência relativa de peças individuais de matéria é a característica mais importante da vida cotidiana e da experiência científica. Se um artigo familiar, como uma jarra de barro, desaparece do seu quarto, você tem certeza de que alguém deve tê-lo levado embora. Se depois de algum tempo ele reaparecer, você pode duvidar que seja realmente o mesmo objeto — objetos quebráveis em tais circunstâncias geralmente não são. Talvez você não consiga decidir a questão, mas não terá dúvidas de que a semelhança duvidosa tem um significado indiscutível — que há uma resposta inequívoca para sua pergunta. Tão firme é nossa crença na continuidade das partes não observadas das cordas! (Schrödinger, [1950] 1999, p. 204).

Há quem defenda que o conceito de identidade dos objetos é essencial para toda e qualquer forma de expressão racional. Esse é o caso, por exemplo, de Bueno (2014), que sustenta que a identidade é pressuposta em todo sistema conceitual; é necessária para caracterizar um indivíduo; não pode ser definida; e é necessária para a quantificação, isto é, a inteligibilidade da quantificação pressupõe a identidade dos objetos que são quantificados. Para Bueno (2014), mesmo nos sistemas quânticos a identidade ainda é necessária para dar sentido aos indivíduos.

A identidade é um conceito tão fundamental que é muito difícil ver como se pode evitá-la. Se o melhor caso para a não aplicabilidade da identidade às partículas quânticas pressupõe, em última análise, a identidade desses objetos, talvez a identidade seja de fato uma noção lógica, afinal. É um conceito que tem a mesma (!) extensão em todas

as interpretações, como seria de se esperar de um conceito lógico (Bueno, 2014, p. 330).

Mas, Schrödinger não está de acordo com essa noção. Para ele, “somos obrigados a pôr de lado a ideia de que cada uma dessas partículas é uma entidade individual que, em princípio, conserva a sua ‘semelhança’ para sempre. [...] Quando se observa uma partícula de determinado gênero, por exemplo um elétron em determinado momento, deve-se considerar esse momento, por princípio, como um *acontecimento isolado*” (Schrödinger, [1951] 2003a, p. 108).

Em Mecânica Quântica o que acontece é que a permutação de elétrons, por exemplo, não altera os estados em que eles se encontram. Sendo assim, essa permutação não é observável. E não há como destacar e individualizar um determinado elétron, bem como não há semelhança entre eles. Como resultado, segundo Schrödinger, os elétrons (e outras partículas quânticas) são mais bem compreendidos como entidades não individuais, isto é, a partícula elementar não é um indivíduo, não pode ser identificada e não tem “semelhança”.

Mesmo que se observe uma partícula semelhante pouco tempo mais tarde num local muito próximo do primeiro, e mesmo que se tenham todas as razões para assumir uma *ligação causal* entre a primeira e a segunda observação, não existe qualquer significado verdadeiro e inequívoco no reconhecimento de que é esta a *mesma partícula* que se observou em ambos os casos (Schrödinger, [1951] 2003a, p. 108).

Segundo Schrödinger ([1950] 1999), se quisermos manter o atomismo, seremos forçados pelos fatos observados a negar aos constituintes finais da matéria o caráter de indivíduos identificáveis. Mas, se a matéria não é composta por elementos individuais, identificáveis, então, o que são estas partículas das quais trata a Mecânica Quântica? Segundo Schrödinger ([1950] 1999, p. 207), “alguns filósofos do passado, se o caso pudesse ser apresentado a eles, diriam que o átomo moderno não consiste em nenhum material, mas é pura forma”. A forma, em um

sentido mais amplo, é o que confere individualidade e identidade permanente às entidades. A forma é o que dá a essas entidades suas características distintivas e uma certa estabilidade. Quando a forma é inacessível a todo instante, ou quando não é suficiente para destacar um determinado objeto, esse objeto pode ser identificado com base na continuidade de sua trajetória, que é uma configuração espaço-temporal, ou seja, uma variedade histórica de forma (Bitbol, 1996, p. 207). “É evidentemente a *forma* ou *configuração* (*Gestalt*) que indubitavelmente invoca a identidade e não o conteúdo material” (Schrödinger, [1951] 2003a, p. 109). É por estas razões que Schrödinger rejeita a imagem da partícula e evoca a imagem da onda como sua substituta. A noção de onda estaria de acordo com as exigências clássicas do determinismo, apresentando-se de forma contínua no espaço e no tempo e podendo ainda ser descrita pelo método matemático de equações de campo.

3 Schrödinger e a imagem das ondas: continuidade e visualização

O objetivo de Schrödinger, desde o início, não era o de um retorno às descrições da Física Clássica e isso ele deixou claro em uma carta dirigida a Planck logo após a redação de seu segundo artigo em fevereiro de 1926. A imagem do espaço-tempo que ele buscava não poderia ser desenhada de forma puramente clássica. Segundo seu relato a Planck, em carta de 26 de fevereiro de 1926, “obviamente, não estou querendo dizer que essas oscilações ψ [da função de onda] talvez sejam oscilações de massa no sentido da mecânica comum. Pelo contrário. Elas ou algo semelhante a elas parecem estar na base de toda a mecânica e eletrodinâmica” (*apud* Wessels, 1983, p. 261-262, 276). Mas a manutenção de uma perspectiva ondulatória, segundo Linda Wessels, dava-se em virtude de uma visão específica que Schrödinger tinha do empreendimento científico.

Ele acreditava que, além de prever corretamente os resultados dos experimentos, uma teoria física deve incluir uma imagem espaço-temporal dos sistemas físicos que dão origem a esses resultados experimentais, e as leis matemáticas da teoria devem dar conta do comportamento desses sistemas no espaço e no tempo (Wessels, 1983, p. 269).

Tanto é que na primeira etapa de seu trabalho (1921-1924), Schrödinger tinha um *modelo* (imagem) dos microssistemas subjacentes aos fenômenos atômicos e moleculares. Já na segunda etapa (1925-1928), no trabalho sobre mecânica ondulatória, ele tentou desenvolver uma teoria baseada em sua equação de maneira a relacioná-la também a um modelo de microssistemas. O trabalho de Schrödinger foi baseado no recurso familiar das equações diferenciais, semelhante à mecânica clássica dos fluidos, de representação facilmente visível e sugestiva. A ideia central era que os microssistemas, como átomos e partículas subatômicas, poderiam ser descritos por uma função de onda, regida pela famosa equação de Schrödinger, que permitia prever seu comportamento probabilístico e evolutivo no tempo. A partir de 1928, impactado pelas diversas críticas recebidas, Schrödinger resignou-se a ensinar Mecânica Quântica “de acordo com a interpretação convencional de Copenhague” (Bitbol, 1996, p. 78).² Mas, em 1935, algumas semanas após a publicação do artigo de Einstein, Podolsky & Rosen, uma série de correspondências com Einstein marcou o retorno à sua perspectiva realista, resultando disso a publicação do artigo do “paradoxo do gato” (Schrödinger, [1935b] 1980), bem como de um artigo mais técnico sobre o “emaranhamento” de funções de onda (Schrödinger, 1935a). Ambas as publicações ficaram marcadas pela sua exigência de uma descrição espaço-temporal (uma imagem) que fosse intuitiva e matemática. Em 1952, em seu artigo “*Are there quantum jumps?*”, ainda o vemos na persistência em questionar a inconsistência de descrições

² “Schrödinger foi capaz de imitar essas posições com tanta plausibilidade que muitos autores pensaram que ele havia sido sinceramente convertido a elas” (Bitbol, 1996, p. 78).

ontológicas que lançam mão de entidades incapazes de serem individualizadas e cuja identidade ao longo do tempo é também duvidosa. Ali ele dá a resposta às dúvidas amplamente expressas sobre a capacidade do *modelo* de onda para substituir o de partículas. Diz ele, “estou ciente dessas questões. Elas não são mais tão embaraçosas quanto eram, antes de termos obtido o *insight* que obtivemos agora sobre o que uma partícula certamente *não é*; *não é* uma coisinha durável com individualidade” (Schrödinger, 1952, p. 241). Enfim, em um de seus últimos artigos, de 1958, intitulado “Poderá a energia ser apenas um conceito estatístico?”, Schrödinger ainda continua fiel às ideias iniciadas em 1922, ao afirmar que “enquanto o vetor de estado desempenhar o papel que desempenha, ele deve ser considerado como representante [modelo] do ‘mundo real no espaço e no tempo’” (Schrödinger, 1958, p. 169).

A questão que fica é: por que a persistência de Schrödinger nas ditas descrições espaço-temporais? Seria apenas para salvaguardar a descrição da evolução temporal de um sistema quântico de forma contínua e determinística? Ou haveria justificativas adicionais?

Bitbol (1996) nos apresenta uma interessante justificativa. Segundo ele, “essa associação de uma crítica minuciosa das imagens atomísticas com uma promoção da imagem ondulatória nos fornece um exemplo muito marcante da maneira como Schrödinger associava a influência positivista de Mach com a concepção de *Bild* [imagem] de Boltzmann das teorias físicas” (Bitbol, 1996, p. 69). Segundo o próprio Schrödinger ([1948] 1956, p. 196), “a imagem não é apenas uma ferramenta permitida, mas também um objetivo”.

De Mach, por exemplo, Schrödinger havia herdado a concepção de que o “mundo real à nossa volta” não é mais do que “percepções sensoriais, imagens da memória, imaginação, pensamento” (Schrödinger, [1951] 2003a, p. 88), e que “a ciência natural não oferece quaisquer explicações, que visa apenas apresentar — e é incapaz de atingir algo

mais do que — uma descrição econômica e completa dos fatos observados” (Schrödinger, 2003a, p. 86).

Schrödinger considerava que os átomos, as moléculas e outros elementos semelhantes são construções teóricas tão importantes quanto as funções de ondas. Segundo ele, as *coisas* macroscópicas não passam de construções da mente, feitas de puros “elementos” perceptuais e intelectuais machianos. Admitido isso, parece não haver razão para considerar que as funções de ondas são *menos* reais do que as partículas ou do que qualquer outra coisa cuja “realidade” nunca é posta em dúvida na vida cotidiana (Bitbol, 1996, p. 39).

Schrödinger considerava que a filosofia de Mach havia, de alguma forma, se aproximado mais do que qualquer outra de um fundamento metafísico adequado para a Física, pois aceitava que o mundo é essencialmente uma construção a partir de um conjunto enriquecido de “elementos machianos”.

Já de Boltzmann, Schrödinger herda a noção de que uma imagem que não foi libertada da necessidade de imitação estrita dos fatos experimentais está, portanto, em grande perigo de se tornar “obscura”. Segundo Boltzmann, “é precisamente a falta de clareza dos princípios da Mecânica que me parece derivar do fato de não se começar imediatamente com imagens mentais hipotéticas, mas de se tentar estabelecer uma ligação com a experiência desde o início” (Boltzmann, [1897] 1974, p. 225). A própria sugestão de Schrödinger, de que “a imagem não é apenas uma ferramenta permitida, mas também um objetivo”, parece-se muito com uma afirmação de Boltzmann que diz que “sou da opinião de que a tarefa da teoria consiste em construir uma imagem do mundo externo [...]. Pois sua estrela guia [de teóricos genuínos como Colombo, Mayer e Faraday] não era o ganho prático, mas a imagem da natureza dentro de seu intelecto” (Boltzmann, [1890] 1974, p. 33-34).

Essa associação de uma crítica minuciosa das imagens atomísticas com uma promoção da imagem ondulatória nos fornece um exemplo muito marcante da maneira como Schrödinger associava a

influência positivista de Mach com a concepção de *Bild* de Boltzmann das teorias físicas. Ele acreditava que a metafísica e os critérios metodológicos de Mach eram apenas uma etapa analítica antes de atender às exigências epistemológicas de Boltzmann. No fim das contas, Schrödinger acreditava que a *imagem* ondulatória fornecia mais subsídios lógicos, empíricos e epistemológicos do que o modelo atômico, porque o que está em jogo para uma boa interpretação dos fenômenos quânticos é seu poder de visualização de uma imagem.

A ênfase colocada na visualização (*Anschaulichkeit*) das imagens desempenhou um papel importante nas perspectivas de Schrödinger, ao levá-lo a propor uma mecânica ondulatória, apesar de estar perfeitamente ciente da mecânica matricial, a qual ele achava muito “abstrata e sem colorido”. Sobre a mecânica matricial, por exemplo, declara Schrödinger: “Eu naturalmente conhecia essa teoria, mas fiquei desencorajado [*abgeschreckt*], se não repugnado [*abgestoßen*] pelo que me pareceu um método bastante difícil de álgebra transcendental, desafiando qualquer visualização [*Anschaulichkeit*]” (Schrödinger, 1928b, p. 46).

Mas, em que se pautava a ideia de Schrödinger de que uma teoria física deve ser visualizável (*Anschaulich*)? Segundo De Regt (2014, p. 377, 386) “Schrödinger estava fortemente comprometido com a tese de que *Anschaulichkeit* é uma condição necessária para a inteligibilidade das teorias”. Ele valorizava a possibilidade de descrever fenômenos físicos de uma forma que fosse visualmente ou conceitualmente acessível, diferentemente da abstração matemática pura que não necessariamente se traduz em conceitos visuais. A mecânica matricial, por exemplo, não permitia nenhuma visualização da estrutura do átomo, restringindo-se a descrever relações entre quantidades mensuráveis, como frequências e intensidades de linhas espectrais. *Anschaulichkeit*, portanto, está profundamente ligada à ideia de que a teoria física deve ser compreensível em termos de imagens espaço-temporais ou conceitos familiares à intuição humana.

Vimos que Bohr havia proposto que realidades mutuamente excludentes na Mecânica Quântica, como é o caso da descrição dos fenômenos no espaço-tempo e da descrição causal, são “complementares”. A descrição dos fenômenos no espaço-tempo significa a tentativa de reconstituir as trajetórias das partículas a partir de sequências de medições submetidas ao princípio da incerteza. Já a descrição causal se refere à lei de evolução mecânica das ondas (determinística). Em Mecânica Quântica, estas duas noções não coexistem porque a corrente de causalidade é quebrada pelas medições, resultando numa física imprevisível e probabilística. “Se submetemos o ‘objeto’ a observações de espaço-tempo, ele não mais realizará sua própria sequência de causalidade probabilisticamente” (Holton, 1984, p. 50). O que Schrödinger pretendia era salvaguardar, na Mecânica Quântica, a coexistência destas duas realidades por meio da imagem da função de onda.

A função de onda para Schrödinger não era apenas uma ferramenta abstrata, deveria ser sim uma interpretação direta e visualizável. Sua inteligibilidade estava diretamente ligada à visualização dos processos atômicos, bem como dos fenômenos ondulatórios, no espaço e no tempo. E como bem dizia Schrödinger (1928a, p. 27), “não podemos realmente alterar nossa maneira de pensar no espaço e no tempo, e o que não podemos compreender dentro dele não podemos compreender de forma alguma”, e uma renúncia da descrição espaço-temporal deveria ser entendida como uma “rendição completa” (Schrödinger, 1928a, p. 27).

“Mas qual é a utilidade dessa descrição que, conforme já afirmei, não se acredita que descreva fatos observáveis ou o aspecto real da Natureza?”, pergunta Schrödinger ([1951] 2003a, p. 124). Na Mecânica Quântica, uma partícula não tem uma posição ou velocidade definidas de maneira absoluta, ao contrário da situação na Física Clássica. Em vez disso, o ente quântico é descrito por uma distribuição de probabilidade que pode ser obtida a partir da função de onda. O quadrado do módulo da função de onda, $|\psi(x, t)|^2$, representa a probabilidade

de encontrar a partícula em uma posição x no tempo t . De fato, a função de onda não é diretamente observável e, de acordo com a interpretação mais comum, a interpretação de Copenhague, a função de onda não descreve uma realidade física direta, mas sim uma descrição probabilística do sistema até que uma medida seja feita. O conceito de probabilidade na Mecânica Quântica envolve discretização do que seria uma variável contínua na Física Clássica. A probabilidade de observar um determinado valor para uma grandeza (como a posição de uma partícula) depende do estado quântico do sistema antes da medição. A evolução da função de onda é contínua e determinística até que uma medição seja feita, mas a observação efetiva do sistema não é contínua — ela consiste de um resultado aleatório, dentro de um conjunto de possibilidades, o que é uma violação do ideal clássico de continuidade.

Mas, Schrödinger não estava de acordo com isso e a sua ideia era a de apresentar uma “descrição completa e contínua no espaço e no tempo sem quaisquer lacunas, conforme o ideal clássico — uma descrição *de algo*” (Schrödinger, [1951] 2003a, p. 124) e, para tal, nada melhor do que a imagem da onda.

Não existe qualquer lacuna nesta imagem da mecânica ondulatória, tal como não existe qualquer lacuna no que diz respeito à causa. A imagem da onda está conforme com a exigência clássica do determinismo completo, o método matemático é o das equações de campo, apesar de por vezes serem uma espécie bastante generalizada de equações de campo (Schrödinger, [1951] 2003a, p. 124).

Mas a engenhosa descrição de Schrödinger tropeçou em grandes dificuldades. Ela não explicava adequadamente o efeito Compton, nem o efeito fotoelétrico, por uma razão fundamental: não incorporava o caráter particulado da luz, que é essencial para a compreensão desses fenômenos. No caso do efeito fotoelétrico, a descrição de Schrödinger não incorpora o caráter corpuscular da luz, conforme propôs Einstein em 1905. Na teoria de Schrödinger, a luz era tratada como uma onda contínua, como se fosse uma perturbação eletromagnética no espaço-

tempo (no sentido clássico), e não como partículas individuais chamadas fótons. E para o caso do efeito Compton, este exige que tratemos a luz como um fluxo de partículas (fótons) que interagem com partículas materiais (elétrons) de acordo com as leis da conservação de energia e momento linear, características das colisões entre partículas. Schrödinger, ao não incorporar a ideia de fótons e a interação entre partículas de luz e matéria de maneira discreta, não estava em posição de explicar o efeito Compton de forma satisfatória. O retorno ao ideal clássico na Mecânica Quântica parecia ter fracassado. Max Born certificaria seu fim, esboçando uma interpretação da função de onda que desafiava um princípio fundamental da Física: o determinismo. A função de onda, sem realidade física, só existe no mundo intangível do possível — é uma possibilidade abstrata. O quadrado da função de onda não nos indica a posição real do elétron, mas tão somente a probabilidade de encontrá-lo ali.

Eis que Schrödinger sofre seu grande revés. Mesmo assim, continua na defesa do contínuo até os seus últimos escritos.

4 A mecânica ondulatória e seus inimigos

Essa maneira de ver e descrever os fenômenos quânticos tornou, desde o início, o diálogo entre Schrödinger e os representantes da interpretação de Copenhague quase que insuportável. Max Born estava mais intimamente envolvido do que qualquer outra pessoa no debate com Schrödinger. O resumo das críticas de Born, feitas em torno de 1952, é encontrado em Bitbol (1996, p. 3) desta maneira:

- 1) É uma atitude essencialmente “conservadora em relação à mecânica quântica”; uma tentativa de recuperar a “física clássica de eventos claramente compreensíveis”,
- 2) Ela tende a descartar o “conceito estatístico da mecânica quântica” e a restabelecer o determinismo, em concordância com as opiniões de Einstein,

- 3) Leva ao descarte do próprio conceito de partícula, afirmando que “não há partículas e não há *quanta* de energia”,
- 4) Schrödinger considera que “as partículas são pacotes de ondas estreitas”,
- 5) Schrödinger “[...] insiste que *há* algo por trás dos fenômenos, das impressões sensoriais, a saber, ondas que se movem em um meio ainda pouco explorado”; ele tende a esquecer o caráter multidimensional das funções de onda e a insistir em ondas no espaço tridimensional comum, que supostamente resgatam a “*Anschaulichkeit*” (visualização) da descrição teórica; ele “acredita que suas ondas constituem a solução determinística final”.

É sabido que as posições de Born são conduzidas pelo seu envolvimento e comprometimento com a imagem da realidade das partículas. Isto é reforçado pela publicação do seu artigo de 1953, “Realidade física”, no qual defende: “Eu sustento que estamos justificados em considerar essas partículas como reais em um sentido não essencialmente diferente do significado usual da palavra” (Born, 1953, p. 146).

Por outro lado, Heisenberg, além da advertência de que o elemento de descontinuidade é evidenciado por “qualquer tela de cintilação ou contador Geiger”, ainda queixa que Schrödinger “[...] ignora o fato de que apenas as ondas no espaço de configuração [...] são ondas de probabilidade na interpretação usual, enquanto as ondas de matéria tridimensional ou ondas de radiação não são” (Heisenberg, [1958] 1995, p. 109).

Questionando o já mencionado artigo de Schrödinger, “*Are there quantum jumps?*”, no qual se nega a existência da descontinuidade (saltos quânticos) (Heisenberg, [1958] 1995, p. 109) afirma que nos argumentos de Schrödinger podem ser encontrados os seguintes equívocos:

- a) Ele passa por cima do fato de que somente as ondas no espaço de configuração são ondas de probabilidades;

b) Ignora o fato de que as ondas tridimensionais e de radiação não são ondas de probabilidade, conforme a interpretação de Copenhague;

c) Não percebe que a interpretação ondulatória não remove, por si só, o elemento da descontinuidade, presente nos fenômenos atômicos;

d) Não apresenta nenhuma contraposta de como pretende introduzir o elemento de descontinuidade, diversa daquela de Copenhague.

Pauli, por sua vez, ao adentrar na discussão, argumenta que inteligibilidade não precisa necessariamente ser equiparada à visualizabilidade, conforme exigido por Schrödinger. Com o seu costumeiro sarcasmo afirma, em carta para Bohr em 12 de dezembro de 1924:

Considero isso certo — apesar de nosso bom amigo Kramers e seus coloridos livros ilustrados — “E as crianças adoram ouvir isso”. Embora a demanda dessas crianças por *Anschaulichkeit* seja, em parte, legítima e saudável, essa demanda nunca deve ser considerada na Física como um argumento para a manutenção de sistemas conceituais fixos. Quando os novos sistemas conceituais forem estabelecidos, eles também serão *Anschaulich* (Pauli, 1979, p. 188).

Pauli acreditava que a abordagem de Schrödinger, que tratava os elétrons como ondas estacionárias tridimensionais, não era suficiente para explicar todos os fenômenos quânticos observados. Ele argumentava que a mecânica ondulatória não conseguia lidar adequadamente com sistemas que não eram periódicos e que faltava uma base matemática rigorosa comparável à mecânica matricial de Heisenberg. Pauli também destacou que a interpretação de Schrödinger não explicava satisfatoriamente o princípio da incerteza de Heisenberg, que é fundamental para a teoria quântica.

Por fim, Bohr, que era cético em relação à tentativa de Schrödinger de descrever a Física Quântica de maneira contínua, convidou-o para uma visita a Copenhague, em setembro de 1926, nada contente

com a imagem proposta por Schrödinger. Bohr submeteu seu convidado a um assédio implacável (conforme testemunhou Heisenberg, que presenciou o embate). Mas, Schrödinger não estava disposto a fazer a menor concessão. Para ele, o salto quântico era “mera fantasia”.

Em poucos dias de sabatina, Schrödinger adoeceu com uma forte gripe. E, enquanto a esposa de Bohr cuidava dele, o anfitrião permaneceu ao pé da cama para continuar a discussão. Nenhum dos dois se deixou convencer pelo outro. Mesmo assim, de acordo com Bohr, eles conseguiram convencer Schrödinger de que “[...] uma teoria da continuidade na forma indicada em seu último artigo, em vários pontos, leva a expectativas fundamentalmente diferentes daquelas da teoria da descontinuidade usual” (Mehra; Rechenberg, 1987, p. 826). Quando Schrödinger voltou para Zurique, sua impressão final foi que haviam tratado de temas mais filosóficos do que físicos.

Apesar da pausa de Schrödinger entre 1928-1934 onde, impactado por esta críticas recebidas, “resignou-se” a ensinar a Mecânica Quântica convencional de Copenhague, a partir de 1935, ele retomou os seus ideais originários e ainda na década de 1950 se colocava a seguinte questão: “a impossibilidade de uma descrição contínua, sem lacunas e ininterrupta, no espaço e no tempo, baseia-se efetivamente em fatos incontroversos?” (Schrödinger, [1951] 2003a, p. 130).

Se não se baseia, só a expectativa da continuidade no espaço-tempo nos garantirá uma “visualização” acerca do fato de que Schrödinger estava certo.

5 Considerações finais

O que pretendíamos com este capítulo era apresentar um Schrödinger que se colocou à frente do seu tempo e que não se curvou ante à ortodoxia firmada pelo prestígio e influência de Niels Bohr. Conforme se viu, o realismo de Schrödinger se manteve até o fim, desconstruindo-se assim uma imagem sua de antirrealista ou quase-realista,

conforme qualificou Bitbol (1996). Sua posição era clara e o seu compromisso com a visualização se manteve até o final da sua carreira. A justificativa deste compromisso, conforme se disse, se deu em virtude da necessidade da manutenção da perspectiva de se moldar uma imagem dos processos físicos no espaço-tempo, assegurando a continuidade e o determinismo. Para tal, nada melhor do que desconstruir a imagem das partículas elementares, visto que tal imagem não assegurava a conformidade com a exigência clássica do determinismo completo. A descontinuidade era para Schrödinger, portanto, algo a ser superado, uma limitação da Teoria Quântica que deveria ser trabalhada para se aproximar de uma descrição mais fiel da realidade.

A busca pela continuidade, em especial no que diz respeito à função de onda, foi uma das grandes motivações do trabalho de Schrödinger. Ele rejeitou a visão fragmentada e descontínua da Mecânica Quântica em favor de uma descrição mais integrada e coerente, que pudesse alinhar-se com os princípios do determinismo e da causalidade, pilares fundamentais da Física Clássica. Ao introduzir a equação de onda, Schrödinger visava não apenas fornecer uma solução matemática para o comportamento do objeto quântico, mas também propiciar uma visualização que fizesse sentido no contexto físico tradicional, rompendo com a ideia de uma natureza aleatória e descontínua proposta por Bohr e outros representantes da interpretação de Copenhague.

O realismo de Schrödinger, assim, se articula com a tentativa de unir as imagens da Física Clássica e da Quântica, propondo uma visão do mundo subatômico que ainda preservasse uma certa continuidade e previsibilidade. Sua crítica à abordagem de Bohr reflete um desejo profundo de restaurar a confiança em uma descrição que pudesse ser visualmente acessível e, ao mesmo tempo, verdadeira no sentido de corresponder à realidade objetiva dos fenômenos físicos. A insistência em manter uma “imagem” das ondas, portanto, está atrelada ao seu

compromisso com um mundo onde os processos são, de fato, contínuos e determinísticos.

Entretanto, como mostramos ao longo deste capítulo, as contribuições de Schrödinger não devem ser vistas como um simples retorno ao determinismo clássico. Elas revelam, antes, uma tentativa de integrar as descobertas da Mecânica Quântica a uma visão de mundo mais coesa, na qual a continuidade das funções de onda oferece uma ponte entre o invisível e o visível, entre o micro e o macro. A partir disso, a Física Quântica não se apresenta como uma ruptura completa com a realidade conhecida, mas como uma modificação da nossa maneira de conceber a natureza das entidades teóricas como a função de onda.

A desconstrução da imagem das partículas elementares proposta por Schrödinger, com o seu enfoque na continuidade e na visualização, abre um campo fértil para repensar as implicações filosóficas e metodológicas da Física Moderna. Ao contrário da visão ortodoxa que tende a encarar a Mecânica Quântica como uma área afastada da experiência cotidiana, a proposta de Schrödinger sugere que o mundo subatômico ainda pode ser acessado, de certa forma, pela nossa imaginação (“a imagem não é apenas uma ferramenta permitida, mas também um objetivo”), desde que adotemos uma nova forma de “ver” e entender a realidade.

Em suma, o legado de Schrödinger é o de um pensador que, ao contrário de se conformar com a interpretação oficial de sua época, procurou maneiras alternativas de compreender e representar o mundo quântico. Seu trabalho continua sendo uma referência vital para aqueles que, como ele, acreditam na possibilidade de uma Física que seja simultaneamente rigorosa, visualmente compreensível e, acima de tudo, fiel à realidade subjacente dos fenômenos.

Referências

- BITBOL, M. *Schrodinger's philosophy of quantum mechanics*. Dordrecht: Kluwer, 1996.
- BOHR, N. O postulado quântico e o recente desenvolvimento da teoria atômica. Trad. O. Pessoa Jr. In: PESSOA Jr., O. (org.). *Fundamentos de Física 1 – Simpósio David Bohm*. São Paulo: Livraria da Física, p. 135-159, 2000. Original em inglês: 1928.
- BOLTZMANN, L. *Theoretical physics and philosophical problems: selected writings*. Org. B. McGuinness. Trad. P. Foulkes. Vienna Circle Collection, v. 5. Dordrecht: Reidel, 1974.
- BORN, M. Physical reality. *Philosophical Quarterly*, v. 3, p. 139-149, 1953.
- BUENO, O. Why identity is fundamental. *American Philosophical Quarterly*, v. 51, n. 4, p. 325-332, 2014.
- DE REGT, H. W. Visualization as a tool for understanding. *Perspectives on Science*, v. 22, n. 3, p. 377-396, 2014.
- HEISENBERG, W. *Física e filosofia*. 3ª ed. Trad. de J. Leal Ferreira. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 1995. Original em inglês: 1958.
- HOLTON, G. As raízes da complementaridade. Trad. D. O. Mendes. *Humanidades*, Brasília, v. 2, n. 9, p. 49-71, 1984. Original em inglês: 1970.
- MEHRA, J.; RECHENBERG, H. *The historical development of quantum mechanics*. Vol. 5: *Erwin Schrödinger and the rise of wave mechanics*. Part 2: *The creation of wave mechanics: early response and applications 1925-1926*. New York: Springer, 1987.
- PAIS, Abraham. "Subtle is the Lord..." *The science and the life of Albert Einstein*. Oxford: Oxford University Press, 1982.
- PAULI, W. *Wissenschaftlicher Briefwechsel mit Bohr, Einstein, Heisenberg u.a., Band I: 1919-1929*. Ed. A. Hermann, K. von Meyenn; V. F. Weisskopf. New York: Springer, 1979.
- SCHRÖDINGER, E. Quantisation as a problem of proper values (Part II). In: *Collected papers on wave mechanics*. London: Blackie & Son, p. 13-40, 1928a. Original em alemão: fev. 1926.
- SCHRÖDINGER, E. On the relation between the quantum mechanics of Heisenberg, Born and Jordan, and that of Schrödinger. In: *Collected papers on wave mechanics*. London: Blackie & Son, p. 45-61, 1928b. Original em alemão: mar. 1926.

- SCHRÖDINGER, E. Letter to Bohr, October 23, 1926. In: BOHR, N. *Collected works*, v. 6, org. J. Kalckar. Amsterdam: North-Holland, 1985, p. 12-13. Versão original em alemão: p. 459-61, 1926.
- SCHRÖDINGER, E. Discussion of probability relations between separated systems. *Proceedings of the Cambridge Philosophical Society*, v. 31, p. 555-563, 1935a.
- SCHRÖDINGER, E. The present situation in quantum mechanics: a translation of Schrödinger's "Cat paradox" paper. Trad. J. D. Trimmer. *Proceedings of the American Philosophical Society*, v. 124, n. 5, p. 323-338, 1980. Original em alemão: 1935b.
- SCHRÖDINGER, E. On the peculiarity of the scientific world-view. In: SCHRÖDINGER, E. *What is life? and other scientific essays*. Garden City (NY): Doubleday Anchor, p. 178-228, 1956. Original em alemão: 1948.
- SCHRÖDINGER, E. Notes for 1949 seminar. In: SCHRÖDINGER, E. *The interpretation of quantum mechanics: Dublin seminars (1949-1955) and other unpublished essays*. Org. M. Bitbol. Woodbridge (CT): Ox Bow Press, p. 97-107, 2022. Original: 1949.
- SCHRÖDINGER, E. What is an elementary particle? In: CASTELLANI, E. (org.). *Interpreting bodies: classical and quantum objects in modern physics*. Princeton: Princeton University Press, 1999, p. 197-210. Original: 1950.
- SCHRÖDINGER, E. *Ciência e humanismo*. In: SCHRÖDINGER, E. *A natureza e os gregos, e Ciência e humanismo*. Trad. J. A. Pinho. Lisboa: Edições 70, p. 93-143, 2003a. Original em inglês: 1951.
- SCHRÖDINGER, E. Are there quantum jumps? Part II. *British Journal for the Philosophy of Science*, v. 3, p. 233-242, 1952.
- SCHRÖDINGER, E. *A natureza e os gregos*. In: SCHRÖDINGER, E. *A natureza e os gregos, e Ciência e humanismo*. Trad. J. A. Pinho. Lisboa: Edições 70, p. 15-92, 2003b. Original em inglês: 1954.
- SCHRÖDINGER, E. Might perhaps energy be merely a statistical concept? *Nuovo Cimento*, v. 9, p. 162-170, 1958.
- WESSELS, L. Erwin Schrodinger and the descriptive tradition. In: ARIS, R.; DAVIS, H. T.; STUEWER, R. H. (orgs.). *Springs of scientific creativity: essays on founders of modern science*. Minneapolis: University of Minnesota Press, 1983, p. 264-278.

Ernst Mach & André Assis: empirismo e relacionismo na Filosofia do Espaço

Filipe Pamplona¹

DOI: <https://doi.org/10.58942/eqs.207.02>

1 Introdução

Neste trabalho, após abordar a classificação feita por Ernst Mach dos tipos de espaço, a partir de sua obra *Space and geometry* ([1906] 1943), será apresentada uma possível atualização dela, explorando-se o modo com que podemos compreendê-la em face da dual distinção entre espaço físico e espaços matemáticos. Após transportar Mach para atualidade, o objetivo final é mapear os principais aspectos da filosofia do espaço relacional dele que estão em voga, por exemplo, no pensamento do físico brasileiro André K. T. Assis, da Universidade Estadual de Campinas, na sua contemporânea *Mecânica relacional* (2013).

Este capítulo estima ser uma modesta introdução ao tema que, em parte, foi desenvolvido no artigo “Espaço físico e outros tipos de espaço: classificações de Mach, Carnap e Reichenbach” (Pamplona, 2023a), com o diferencial de ampliar a abordagem específica sobre a obra de Mach ([1906] 1943) e conectá-la ao presente estudo da perspectiva relacional do espaço, através da obra do Prof. Assis. Em outubro

¹ Astrônomo, Doutor em Lógica e Filosofia da Ciência pela Universidade de Lisboa; atual pós-doutorando no Depto. de Filosofia da Universidade de São Paulo; membro do Grupo de Filosofia das Ciências Físicas (FiCiFi-USP). E-mail: pamplona@hcte.ufrj.br

de 2023, defendi a tese “Espaço & meio subquântico” na Universidade de Lisboa (nela, defende-se a perspectiva relacional do espaço físico), ocasião na qual foi sugerido, pelo Prof. Osvaldo Pessoa Jr., a escrita de um capítulo extra sobre “O experimento do balde de Newton, Mach e Assis”. Este texto, portanto, dá um pequenino passo nessa direção, cujo estudo se agregará à futura publicação do livro da tese (Vol. 2: Substantivismo *vs* Relacionismo).

Após o ano do centenário do grande físico César Lattes, pretende-se com este trabalho homenagear um dos nossos “Lattes vivos!” — André Assis, professor que ao longo da sua brilhante carreira na física teórica colheu todos os desafios da originalidade e do pensamento heterodoxo; enfim, este trabalho é também um tributo ao maestro da *Sinfonia Relacional* do nosso tempo. Sobre o seu “Ombro de Gigante”, todo relacionista deve se apoiar e ver adiante... Pois em Assis, Mach vive!

2 Classificação de Mach

Conforme o próprio nome da obra prediz, *Space and geometry in the light of physiological, psychological and physical inquiry* ([1906] 1943)², 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:

² O livro *Space and geometry* ([1906] 1943) reúne três ensaios que foram originalmente publicados em inglês na revista *The Monist*: (1º) “*On physiological, as distinguished from geometrical, space*” (abril, 1901); (2º) “*On the psychology and natural development of geometry*” (julho, 1902); e (3º) “*Space and geometry from the point of view of physical inquiry*” (outubro, 1903). Os originais do 2º e 3º, em alemão, foram editados depois como parte da obra *Erkenntnis und Irrtum* (1905), livro posteriormente traduzido para o inglês. Em 1906, os três textos da tradução inglesa foram editados como livro único pela Open Court, publicado nos EUA, onde cada ensaio é um dos três capítulos da obra. Nas citações, manteremos o ano da edição utilizada (1943) com a inclusão da data original de cada ensaio: [1901], [1902] ou [1903].

fisiológico, geométrico e métrico. Isso não significa alegar que existem “espaços” diferentes, mas sim que “o espaço” (real) pode ser abordado por essas três vias, constituindo assim três tipos de conceitos que se distinguem e se relacionam. Desta forma, o autor dá continuidade à análise crítica, empirista e sensorial, iniciada na sua obra predecessora, *Análise das sensações* ([1886] 1959), desta vez focando-se exclusivamente nos conceitos de espaço e sua relação com a geometria, reafirmando a experiência como a base de todo conhecimento científico, inclusive como a fonte dos conceitos geométricos.

O que é o espaço do ponto de vista fisiológico, físico, geométrico? A que devem ser atribuídas suas propriedades específicas, já que outras também são concebíveis? Por que o espaço é tridimensional, etc.?

Com perguntas como essas, embora não devamos esperar a resposta hoje ou amanhã, estamos diante de toda a profundidade do domínio a ser investigado (Mach, [1903] 1943, p. 143)³.

Embora reconheça que o problema do espaço envolve profundas questões em aberto (sem prever resoluções definitivas a seu tempo), Mach aspira ter a abordagem mais ampla possível ao analisar o problema por essas três vias relacionadas.

2.1 Espaço fisiológico, métrico e geométrico

Fisiologicamente”, na abordagem inicial da obra, Mach defende que nossas primeiras noções de espaço estão enraizadas em nosso organismo fisiológico, dando ênfase à visão e ao tato como sentidos pre-valetentes na percepção espacial: o espaço fisiológico é composto, portanto, por uma associação das sensações espaciais, que embora sejam relacionadas, não são idênticas, prevalecendo o *espaço visual* e secundariamente o *espaço háptico* (tátil), já os outros sentidos são mais

³ Todas as citações traduzidas neste trabalho são inéditas e foram feitas livremente, direto do inglês para o português. Embora os textos de Mach (1943) tenham sido publicados pela 1ª vez em inglês, um trabalho importante seria revisar nossa tradução com os originais de Mach em alemão — eis uma tarefa futura.

imprecisos para a percepção espacial. De acordo com Mach, 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:

O espaço tátil, ou o espaço do toque, tem tão pouco em comum com o espaço métrico quanto o espaço da visão. Assim como este último, ele também é anisotrópico e não homogêneo. As direções cardinais do organismo — “frente e trás”, “acima e abaixo”, “direita e esquerda” — são igualmente não equivalentes em ambos os espaços fisiológicos (Mach, [1901] 1943, p. 10).

O “espaço métrico” a que Mach se refere é o espaço das medições físicas, associado a um padrão material (ex.: o *metro*) e aos experimentos físicos de medição; portanto, é quantitativo, padronizado e subordinado à experimentação, não às sensações individuais (que são qualitativas, segundo o autor). As “direções cardinais do organismo” — frente e atrás, acima e abaixo, direita e esquerda — não são equivalentes no espaço fisiológico, pois a percepção difere a vertical da horizontal, a direita da esquerda, frente e atrás; por isso afirma que o espaço visual e o tátil são anisotrópicos, pois diferenciam as direções. Como o espaço geométrico (euclidiano) tem as mesmas propriedades em todas as direções (isotrópico), é homogêneo e infinito, Mach conclui: “O espaço fisiológico, portanto, tem apenas poucas qualidades em comum com o espaço geométrico” (*ibid.*, p. 11).

Destacadas as diferenças entre o espaço fisiológico e o geométrico, quais seriam essas “poucas qualidades em comum”? São em tais qualidades que o autor aponta algumas influências fisiológicas na geometria, a começar pelas “direções cardinais do organismo”, sendo estas a propriedade fisiológica que Mach associa à nossa familiaridade com as três dimensões geométricas: “Esta tríade de direções cardinais destacadamente marcadas pode, de fato, ser considerada como a base fisiológica para nossa familiaridade com as três dimensões do espaço geométrico” (*ibid.*, p. 18). Convém ressaltar que, para Mach, “o espaço” é

tridimensional, embora a “origem das três dimensões” seja um mistério, conforme ele se indagou, sem esperança de uma resposta tão cedo para a questão: “Por que o espaço é tridimensional?”

Na compreensão do autor, nossas 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 de o espaço fisiológico ter, por múltiplas razões biológicas de adaptação, três direções cardinais. Por fim, Mach considera que as três direções cardinais são a base fisiológica da nossa familiaridade com o espaço geométrico tridimensional (esta mesma “familiaridade” não é possível com espaços geométricos de mais dimensões). Outro “vestígio” de influência fisiológica na geometria, segundo Mach, se dá na convenção entre positivo e negativo nas coordenadas da geometria cartesiana:

A geometria cartesiana de coordenadas, de certa forma, liberou a geometria das influências fisiológicas, contudo, vestígios dessa dependência ainda permanecem na distinção entre coordenadas positivas e negativas, conforme sejam consideradas à direita ou à esquerda, para cima ou para baixo, e assim por diante. Isso é conveniente, mas não necessário (Mach, [1901] 1943, p. 36).

A geometria cartesiana e seu sistema de coordenadas “libera” o espaço geométrico das influências fisiológicas, pois o define como isotrópico, homogêneo e infinito (assim o diferencia das propriedades do espaço visual e tátil). Porém, ao estabelecer coordenadas numéricas que implicam diferenças entre os sentidos de cada direção (positivo e negativo) em relação a uma dada origem (ponto “zero” arbitrário, centro do sistema de coordenadas), tem-se uma escolha puramente convencional, pois, invertendo-se os sentidos ou trasladando-se a origem, as propriedades do espaço permanecem as mesmas. É por isso que Mach afirma ser um atributo conveniente, mas não necessário; um claro “vestígio”, a seu ver, das nossas influências fisiológicas (que nos impelem sempre a diferenciar as direções no espaço).

O espaço fisiológico é finito e limitado (nossa percepção espacial não tem alcance muito amplo nas escalas macroscópicas, menos ainda nas escalas microscópicas); diferenciamos naturalmente as direções e diversificamos qualitativamente as regiões; sendo assim, como foi possível conceber propriedades tão dissidentes da experiência sensível (como a infinitude, a isotropia e a homogeneidade) na representação geométrica do espaço? Diante desta questão, Mach persiste na defesa da influência fisiológica, afirmando que nós temos dois tipos de sensações espaciais: “Devemos designar as sensações primárias de espaço como distintas das sensações secundárias (de movimento)” (*ibid.*, p. 30). Segundo Mach, se um animal adquirisse a capacidade de se mover de maneira totalmente livre e sem limites, obteria assim um “espaço fisiológico infinito”; pois as sensações de movimento admitem ser produzidas de novo quando não são evitadas por obstáculos externos acidentais.

A translação desimpedida e a intercambialidade de todas as orientações associam ao espaço fisiológico a propriedade de igualdade em todas as direções. 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 daí sucede (embora nosso espaço fisiológico seja limitado, 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 e sua base na experiência: “Nossos conceitos geométricos foram alcançados, em grande parte, por meio de experiências proposições” (*ibid.*, p. 5). A necessidade de medir, de estabelecer padrões generalizados, e de desenvolver 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”:

As experiências físicas métricas, assim como todas as experiências que fundamentam as ciências experimentais, são conceitualizadas — idealizadas. A necessidade de representar os fatos por meio de conceitos simples e claros, sob fácil controle lógico, é a razão para isso. Corpos absolutamente rígidos e invariáveis no espaço, linhas e planos perfeitamente retos, não existem mais do que um gás perfeito ou um líquido perfeito (Mach, [1902] 1943, p. 84-85).

Destaca-se neste trecho a importante comparação de Mach entre os aspectos teóricos da Física com os da Geometria, ao declarar que os objetos geométricos (linhas retas, planos, etc.) são tão ideais quanto os objetos típicos da Física Teórica. Sabemos que na natureza não encontramos “gases perfeitos” ou “líquidos perfeitos”, nem movimentos inerciais sem nenhuma perturbação, nem corpos perfeitamente rígidos e invariáveis; no entanto, a Física Teórica se utiliza desses objetos nos seus modelos ideais, como aproximações para uma abordagem mais simples de suas leis; complexifica seus modelos na medida em que pretende atingir uma descrição mais acurada dos fenômenos naturais. Porém, não se nega que sólidos, gases e líquidos existam na natureza — eles só não existem na “perfeição” ideal proposta pelas teorias. Para Mach, o mesmo sucede com a Geometria.

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 provêm. 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:

A geometria teórica não precisa sequer considerar essas discrepâncias, na medida em que assume a existência de objetos que cumprem absolutamente os requisitos da teoria, assim como faz a física teórica. Contudo, na geometria prática, onde lidamos com objetos reais, somos obrigados, assim como na física prática, a levar em conta as divergências em relação às suposições teóricas (Mach, [1902] 1943, p. 85).

Após o advento das geometrias não euclidianas no século XIX, tornou-se claro a necessidade de distinguir qual sistema das geometrias teóricas teria aplicação prática na Física e corresponderia à geometria do espaço métrico (físico). Embora Mach fosse anterior à Teoria da Relatividade Geral, o autor tinha pleno conhecimento das geometrias não euclidianas e do possível papel que elas poderiam vir a desempenhar na investigação sobre a natureza do espaço. Além das contribuições de Janós Bolyai, Nicolai Lobachevsky, Carl Friedrich Gauss e Bernhard Riemann, Mach também cita os coevos matemáticos do seu tempo, como Sophus Lie e Felix Klein (Mach, [1903] 1943, 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 da “geometria projetiva”, 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 na Física de sua época.

Na sua concepção, assim como a Física Teórica pode propor teorias que não possuem aplicação prática no seu tempo, mas podem no futuro representar uma contribuição, do mesmo modo a Geometria Teórica pode propor modelos possíveis de espaços geométricos que não possuem aplicação na geometria prática do seu tempo, mas podem no futuro vir a ser um contributo a ela. É desta maneira que Mach avaliava as contribuições das geometrias não euclidianas; por ainda não apresentarem aplicação prática e confirmação experimental na

abordagem física do espaço (com base nas teorias da época), estavam sujeitas ao “erro” de serem consideradas como não correspondentes ao “espaço real”, mas ao abrirem novas possibilidades geométricas, era um “erro” incrivelmente frutífero e contribuidor — finalizando sua obra com um curioso elogio em defesa dos trabalhos de Gauss e Riemann: “É verdade que tais investigadores estão sujeitos a erros, mas mesmo os erros de alguns homens são frequentemente mais frutíferos em suas consequências do que as descobertas de outros” (Mach, [1903] 1943, p. 143).

Conclui-se que, para Mach, as noções de espaço possuem raízes no nosso organismo fisiológico que influenciaram e deixaram “vestígios” na geometria, mas os conceitos geométricos são resultantes principalmente da idealização de experiências físicas do espaço. Os sistemas da geometria, por fim, originam-se na classificação lógica do material conceitual daí obtido; para o autor, estes três fatores deixaram traços indubitáveis na geometria moderna:

A geometria, portanto, consiste na aplicação da matemática às experiências relacionadas ao espaço. Assim como a física matemática, ela só pode se tornar uma ciência exata e dedutiva sob a condição de representar os objetos da experiência por meio de conceitos esquemáticos e idealizados (Mach, [1903] 1943, p. 124).

A diferença entre a geometria teórica e a geometria prática é análoga à diferença entre a física matemática e a física experimental: 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, mas sim com as medições e as determinações físicas que possuem margens de erro e são todas relativas:

Todas as determinações físicas são relativas. Consequentemente, todas as determinações geométricas também possuem validade apenas

em relação à medição. O conceito de medição é um conceito de relação, que não contém nada além do que está contido na própria medição (Mach, [1903] 1943, p. 139).

Esta é a base do pensamento empirista e relacional de Ernst Mach. É possível sintetizá-la nas três máximas respaldadas pela citação anterior: (1) “todas as determinações físicas são relativas”; (2) “todas as determinações geométricas possuem validade apenas em relação à medição”; e (3) “o conceito de medição é um conceito de relação”. O espaço físico é definido por Mach como o *espaço métrico* — o espaço das “experiências métricas físicas” —, conseqüentemente este espaço é relativo, determinado pelas relações de medição (com base em padrões materiais), e a geometria válida é aquela que corresponde ao espaço métrico. Ou seja, não basta o critério de *coerência* dos sistemas da geometria teórica para validar uma geometria, na prática prevalece o critério de *correspondência* com os dados da experiência determinados pelas medições físicas.

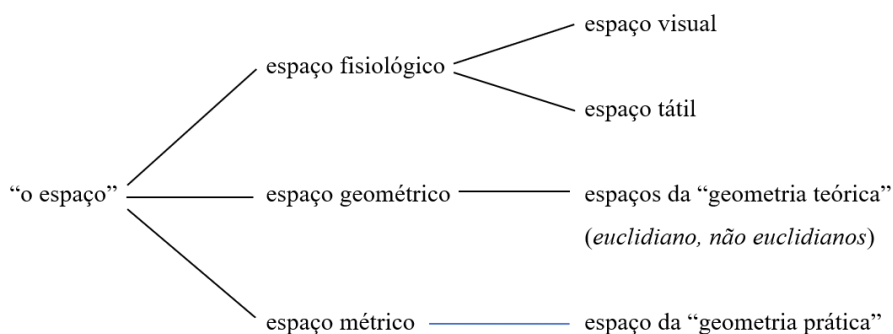
O espaço físico, portanto, jamais é absoluto ou existe independente das relações estabelecidas entre os corpos físicos; este é um dos fundamentos do seu ataque radical ao espaço absoluto newtoniano, conceito que Mach se esforçou para erradicar do sistema da física na sua *obra magna* anterior — *A ciência da mecânica* ([1883] 1919) —, onde se encontra a sua autêntica abordagem ao conceito de inércia (envolvendo o famoso “princípio de Mach”), a reinterpretação do experimento do “balde de Newton”, entre outros importantes tópicos inaugurais da *mecânica relacional*.

2.2 A classificação de Mach hoje: ternária ou dual?

Conclui-se que para Mach há “o espaço” (relacional), e este pode ser compreendido em três tipos que englobam outros conceitos mais específicos. O primeiro tipo, *espaço fisiológico*, engloba os conceitos de *espaço visual* e *tátil*; Mach dá ênfase aos dois, embora os demais sentidos também possam ser considerados, como o *espaço auditivo*, além da

influência diminuta do olfato (apesar de comparativamente ser muito mais impreciso em termos de “percepção espacial”). Conforme abordamos, o espaço fisiológico é composto por uma “associação das sensações espaciais” que não se limitam às sensações primárias oriundas da visão e do tato; estas, embora prevalecentes, associam-se às sensações primárias dos demais sentidos, além das sensações secundárias de movimento. O segundo tipo, *espaço geométrico*, engloba todos os modelos propostos pelos diferentes sistemas das geometrias teóricas, incluindo o espaço geométrico euclidiano, em sua forma teórica “idealizada”, além de todas as possibilidades de espaços métricos, projetivos e topológicos, n -dimensionais, das geometrias não euclidianas. Já o terceiro tipo, o *espaço métrico* (físico), engloba o espaço correspondente à geometria prática, ou seja, o “espaço físico experimental”, determinado pelas medições físicas. A Fig. 1 sintetiza esses tipos.

Figura 1 – Classificação de espaços, de acordo com Mach



Fonte: Pamplona, 2023a, p. 205).

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 medição. O período entre o advento das Geometrias Não Euclidianas no século XIX e 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. Mach foi capaz de propor uma síntese que repercutiu positivamente nas classificações sucessoras, ao mesmo tempo que estabelece um elo esclarecedor com o passado, com as importantes questões que já haviam sido bem colocadas por Gauss, Riemann, Hermann von Helmholtz, Henri Poincaré, entre outros.

O tipo “espaço fisiológico” está conceitualmente em vigência nas investigações atuais em Ciências Cognitivas (através dos estudos da “percepção espacial”)⁴, embora a terminologia tenha aparentemente caído em desuso — o termo ‘fisiológico’ é muitas vezes substituído por ‘perceptivo’, ou se utiliza diretamente as designações de espaço *visual*, *háptico* etc. Outro problema recai na terminologia do ‘espaço métrico’: hoje compreendemos o “espaço das experiências métricas” enquanto *espaço físico*, e a Teoria da Relatividade Geral (da qual Mach discordava, mas faz parte hoje da Física “ortodoxa”), não propõem *um* espaço métrico específico, mas sim vários “espaços métricos” possíveis (ver Schutz, 2009). Até aqui, se compreendermos o tipo ‘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 tal defasagem terminológica pode gerar sérios danos à compreensão conceitual.

Devemos ter cuidado para não confundir o possível significado puramente matemático de ‘espaço métrico’ (estipulado por uma “métrica espacial” específica, enquanto caso particular de *espaço matemático* da “geometria teórica”), com o significado físico / experimental de ‘espaço das experiências métricas’, o “espaço das medições físicas” (que

⁴ Uma excelente obra na interface entre a nossa abordagem e a das Ciências Cognitivas é *The geometries of visual space* (2006), de Mark Wagner. Ali se diferencia com rigor o espaço visual (perceptivo) do conceito de espaço físico. De modo complementar, para o estudo da percepção tátil (háptica), recomenda-se *Human haptic perceptions: basics and applications* (2008), organizado por Mark Grunwald.

condiz com o *sistema métrico* aplicado ao experimento). A classificação de Mach evidentemente favorece uma interpretação *empírica* e *relacional* do espaço físico, pois delimita tal conceito ao “espaço físico experimental”; neste sentido, enquanto objeto de experiência, o espaço físico é sempre relativo (depende das relações e dos padrões materiais de medição), como o próprio Mach assinalou.

Façamos aqui uma observação: uma interpretação ‘empírica’ não é necessariamente “empirista”. No caso de Mach (assim como em Hans Reichenbach, [1927] 1958; Adolf Grünbaum, 1963; e Bas van Fraassen, 1970) sim, mas na tese do “jovem Rudolf Carnap” ([1922] 2019), por exemplo, encontramos uma interpretação neokantiana e conciliadora; ele delimita o conceito de espaço físico enquanto “objeto de experiência” (portanto empírico), mas o subordina ao espaço intuitivo (“condição de possibilidade de todo objeto de experiência”). Apesar das diferenças, ambos os autores compreendem tal conceito enquanto um *sistema de relações da experiência*. Após o advento das geometrias não euclidianas (com o problema do *relativismo geométrico*), a atitude de colocar o tema dos “tipos de espaço” em evidência prevalece principalmente nos autores da tradição crítica do *relacionismo*, daí o pioneirismo da abordagem de Mach que, por si só, já justificaria sua seleção ao nosso estudo. No entanto, ao longo do século XX, classificações ternárias como a de Mach ou de Carnap (que classificava os tipos de espaço em *formal*, *intuitivo* e *físico*) caíram em desuso, e a dual distinção entre *espaço físico* e *espaços matemáticos*, defendida acirradamente por Reichenbach ([1927] 1958), prevaleceu principalmente na prática científica.

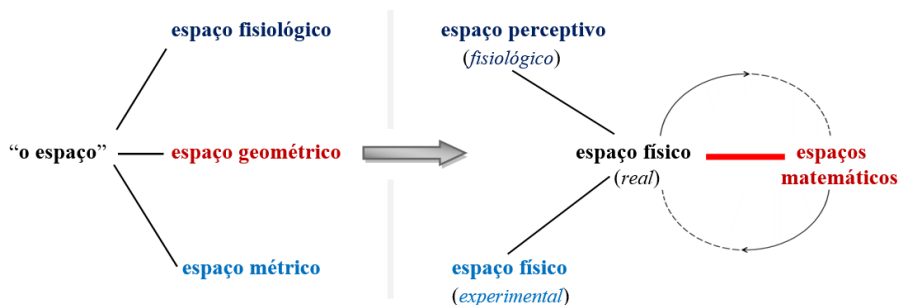
Como podemos compreender a classificação de Mach em face à dual distinção? Para isso, é preciso compreender que o *espaço perceptivo* também é do tipo ‘físico’: trata-se da percepção sensorial do espaço físico por cada indivíduo através dos seus sentidos — visão, tato, audição etc. —, sendo um campo empírico de investigação. Logo, os estudos da percepção espacial pelas Ciências Cognitivas e a abordagem experimental

da *geometria física* são abordagens diferentes que envolvem um objeto de investigação em comum, empírico. Para Reichenbach, por exemplo, considerar que o espaço perceptivo é um “tipo” diferente do espaço físico implicaria em aceitar que as relações espaciais da experiência não são “experienciadas” pelo indivíduo como tais, ou seja, que a percepção sensorial de cada um não está em relação direta com o próprio espaço físico, o que para o autor era um absurdo.

Neste ponto, Mach está em melhor consonância com as pesquisas atuais das Ciências Cognitivas, como a célebre abordagem de Mark Wagner em *The geometries of visual space* (2006). O autor defende com veemência que o espaço visual (*experiencial*) deve ser distinguido do espaço físico (*experimental*). Em uma primeira leitura, somos levados a crer (erroneamente) que há desacordo entre Reichenbach e a abordagem de Mach ou Wagner, mas isto consiste em uma má interpretação do significado da “unificação” proposta na dual distinção. Uma leitura mais atenta revela que não há contradição: pode-se compreender o espaço físico como o “espaço real” da experiência e suas relações podem ser *experienciadas* por cada indivíduo, ou *experimentadas* de acordo com os métodos padrões da geometria física: o que varia não é o tipo de espaço, sim o tipo de abordagem relacionada ao mesmo.

Para tornar este contraste evidente, podemos adaptar por um lado a classificação de Mach, que já continha uma compreensão do “espaço real” variando apenas os tipos de abordagens, dentre as quais dava primazia ao espaço fisiológico. Isto nos permite compreender o tipo geral ‘espaço físico’ através de duas abordagens: a *experimental* da geometria física e a *experiencial* do espaço perceptivo / fisiológico. Assim, tanto Wagner, quanto Mach e Reichenbach podem ser compreendidos de modo consistente na “reclassificação” a seguir. É interessante visualizar como a classificação de Mach apresentada em *Space and geometry* ([1906] 1943) pode ser incorporada à dual distinção, na Fig. 2.

Figura 2 – Adaptação da classificação de Mach à dual distinção



Fonte: Pamplona, 2023b, p. 92.

Uma mudança significativa é a ruptura radical que a dual distinção enfatiza entre o “espaço físico” (real) e os “espaços geométricos / matemáticos” (ideais). Mach estaria de acordo quanto à raiz epistemológica dessa distinção, de índole *empirista*, porém houve a mudança de enfoque de uma classificação para a outra: a ênfase de Mach era no problema da origem do conhecimento das geometrias, daí sua classificação não opor o conhecimento dos espaços geométricos aos demais tipos (embora também considerasse os conceitos da geometria teórica como “ideais”). Para Mach, tais conceitos possuem uma origem na nossa experiência do espaço, seja ela sensorial (fisiológica) ou de finalidade prática (experimental). Coordenar uma geometria matemática à experiência não encerra o problema da geometria física, simplesmente dá início à sua investigação (os espaços matemáticos assumem assim um papel puramente instrumental, acessório).

Ao nosso propósito classificatório, há um aspecto relevante da abordagem de Wagner que pode ser incorporado ao nosso estudo: ele trata a percepção espacial de modo mais amplo, ao utilizar o conceito de “espaço experiencial”, que corresponde ao *espaço perceptivo / fisiológico* de Mach, mas engloba uma maior variedade de sentidos nas diversas formas da percepção espacial:

Uma concepção mais geral do que o espaço visual é a de *espaço experiencial*. Com espaço experiencial, refiro-me à nossa experiência do espaço de qualquer tipo. Pela sua própria natureza, o termo espaço visual exclui percepções espaciais baseadas nos outros sentidos. No entanto, é claro que percebemos o espaço de maneiras extravisuais. Não apenas faz sentido falar de espaço visual, mas também se pode falar de forma significativa de espaço auditivo, espaço tátil, espaço gustativo, espaço cinestésico, espaço proprioceptivo e espaço olfativo (Wagner, 2006, p. 4).

Assim, o ‘espaço visual’ (tema central de sua obra) é apenas um “tipo especial” de *espaço experiencial*, que envolve também os espaços háptico, auditivo, olfativo, gustatório, cinestésico e proprioceptivo; todos estes conceitos que precisam ser demarcados, a rigor, da abordagem experimental do *espaço físico*. O espaço físico é definido “objetivamente”, mediante os padrões físicos de medição espacial e as metodologias experimentais que buscam ser precisas e acuradas, “objetivas”, generalizando a abordagem prática do espaço a todos os indivíduos. É tarefa da geometria física, enquanto ramo de investigação experimental, desenvolver metodologias e “sistemas métricos” padronizados, de forma que a comunidade científica possa aplicá-los e reproduzi-los em comum acordo (como no Sistema Internacional de Medidas; ver BIPM, 2019).

Para compatibilizarmos a obra de Wagner com a dual distinção em vigência, basta admitirmos que o espaço físico “real” (ou seja, as relações espaciais da experiência) pode ser estendido a duas abordagens diferentes: a abordagem da geometria física, que abrange o estudo do *espaço físico experimental* (designado diretamente como ‘espaço físico’ na obra de Wagner) e a abordagem experiencial do espaço perceptivo, que envolve as relações espaciais da experiência diante do complexo problema da percepção espacial pelos indivíduos. Esta última é um campo de investigação empírico e interdisciplinar por excelência, que abrange desde as áreas tradicionais da Física e Matemática à Biologia, Psicologia, Fisiologia, Epistemologia Genética, Ciências

Médicas etc.; atualmente envolve também os estudos da Robótica e da Inteligência Artificial, e todas essas áreas se entrecruzam no vastíssimo campo das Ciências Cognitivas.

Finalmente, se formos trabalhar com a classificação de Mach no contexto contemporâneo, podemos manter a significação conceitual dela, porém é mister atualizar as suas terminologias. Assim, compreende-se que o estudo do “espaço” pode se estender aos tipos *experien- cial* (perceptivo) e *experimental* (físico), enquanto ramos de investigação empírica; e, por outro lado, incluem-se as abordagens dos *espaços mate- máticos* (das geometrias métricas, projetivas e da topologia, em geral). Os tipos de espaços matemáticos também podem ser estendidos às abordagens da Lógica — o estudo dos espaços formais —, além das abordagens neokantianas do espaço intuitivo (como em Carnap, [1922] 2019; Baiasu *et al.*, 2012; e Friedman, 1992, 2013); porém, tais aborda- gens já extrapolam bastante o contexto da classificação de Mach. Aos propósitos deste trabalho, o importante é percebermos o respaldo que uma classificação contemporânea de Mach (adaptada e atualizada) pode oferecer aos estudos das Ciências Físicas em geral, e especial- mente à *Mecânica Relacional* trabalhada por André Assis.

3 Considerações finais: André Assis e o legado de Mach

Agora, com base no estudo anterior, podemos mapear alguns aspectos interessantes da filosofia do espaço de Mach que perseveram na obra de André Assis. Um estudo comparativo aprofundado exigiria, a rigor, adentrar à *magnum opus* de cada um deles: por um lado, *A ciência da mecânica*, de Mach ([1883] 1919) e, por outro, a *Mecânica Relacional e implementação do princípio de Mach com a força de Weber gravitacional*, de Assis (2013). No entanto, o nosso propósito aqui é bem mais modesto (e dirigido ao público maior da ANPOF): utilizaremos a síntese exposta por Assis no seu livro de divulgação científica *Uma nova Física* (2002), onde, com rigor e concisão, o autor expõe em nível conceitual o

essencial da sua perspectiva. Ficarei a dever uma abordagem minuciosa sobre o “experimento do balde de Newton”, crucial para se compreender o cerne tanto da Mecânica Clássica quanto da Mecânica Relacional. Portanto, como complemento a este texto, recomendamos a todos a leitura de Assis (2002) e, para facilitar, o acesso a pelo menos uma de suas aulas disponíveis online.⁵

Admitindo-se que o leitor já possui uma compreensão básica do experimento do balde, podemos seguir adiante com melhor concisão. *Afinal, o espaço existe independente dos objetos físicos, ou é um puro sistema de relações entre eles?* Por um lado, temos a interpretação substantivista, que defende o primeiro lado desta dicotômica questão: no contexto da Mecânica Clássica, a teoria do espaço absoluto deu base para justificar o comportamento da água no balde giratório, atribuindo uma razão à forma paraboloide da sua superfície devido à rotação em relação ao espaço absoluto (referencial inercial estacionário, identificado com o “vazio” ou “vácuo absoluto”). Já no contexto da Mecânica Relacional, não faz sentido atribuir a existência de forças centrífugas (que fazem com que a água suspenda sua concavidade no balde giratório) à sua rotação em relação ao “vazio”, mas sim com relação ao referencial das “estrelas fixas”, ou seja, à distribuição da matéria de todo o universo, especialmente a matéria distante.

Disso sucede a icônica experiência de pensamento proposta por Mach (na tradução de Assis): “Tente fixar o balde de Newton e girar o céu das estrelas fixas e então prove a ausência de forças centrífugas” (Mach, [1883] 1919 *apud* Assis, 2002, p. 71). Em seguida, Assis complementa: “Concordamos com Mach e não com Newton [...] A única coisa que Mach não sabia é que o agente responsável pela concavidade da

⁵ Dentre as muitas aulas, entrevistas e conferências do Prof. Assis disponíveis online, recomendo dois vídeos de minha predileção: a sua entrevista ao canal *History of Science* (das universidades de Coimbra e Aveiro, publicada em 14/10/2024): <https://www.youtube.com/watch?v=eTh6QoQxxzU> (duração: 24min); e o seminário oferecido ao *Centro de História da Ciência* da USP, mediado pelo Prof. Gildo Magalhães (em 12/03/2024): <https://www.youtube.com/watch?v=F0FptdW9U0I&t=1s> (1h23min).

superfície da água é a rotação da água em relação às galáxias distantes e não em relação às estrelas fixas” (*ibid.*, p. 72). Chama-se de “princípio de Mach” à ideia de que a inércia de qualquer corpo surge ou é causada por sua interação com o universo distante (ou seja, interação com a matéria distante no universo). O cerne destas ideias foi exposto na obra magna de Mach ([1883], 1919), mas é nosso dever aqui contextualizá-las com a abordagem de *Space and geometry* ([1906] 1943), que exploramos anteriormente.

Em primeiro lugar, é preciso compreender que o *relacionismo* de Mach deriva do seu *empirismo*. O interessante é que temos uma perspectiva ontológica do espaço (relacional) implicada por um posicionamento epistemológico radical. Ao delimitar o conceito de espaço físico à abordagem experimental, Mach não admitia uma compreensão deste conceito à margem da experiência. Retornemos às suas máximas:

- (1) Todas as determinações físicas são relativas.
- (2) Todas as determinações geométricas possuem validade apenas em relação à medição.
- (3) O conceito de medição é um conceito de relação.

No contexto da sua classificação (atualizada), podemos compreender “o espaço” referido por Mach dentro do seu significado ontológico (o “espaço real”); este conceito pode ser conduzido a três abordagens: experiencial, experimental e matemática (teórica). A obra de Assis não se aprofunda na abordagem experiencial do espaço perceptivo (da visão, tato etc.), embora tenha subjacente muitos dos fundamentos empiristas defendidos por Mach. As três máximas formam uma base epistemológica consistente com a Mecânica Relacional contemporânea, estão explícitas no pensamento de Mach e podemos considerá-las implícitas no trabalho de Assis. Disto sucede que o conceito de espaço físico será sempre relativo, pois enquanto objeto de experiência, não faz

sentido fazer referência a ele sem ser em relação aos objetos físicos e aos padrões materiais de medição.

A física teórica de Assis aprimora o estudo das relações do espaço físico e sua coordenação ao espaço matemático, cujo modelo teórico utilizado é basicamente euclidiano, tridimensional, mas este não é identificado diretamente com o espaço físico. Pelo contrário, embora a geometria matemática aplicada por Assis seja euclidiana, sua modelagem teórica consegue delimitar a geometria física ao espaço relativo, portanto o espaço euclidiano não tem implicações cosmológicas absolutas como na Mecânica Clássica, como se os objetos físicos existissem nele. De fato, as relações geométricas entre os objetos podem ser consideradas euclidianas por pura convenção (vale o critério de simplicidade descritiva). O grande salto é que Assis consegue implementar matematicamente o princípio de Mach, ao propor que a interação com a matéria distante do universo se deve essencialmente à interação gravitacional (ou seja, particulariza o princípio de Mach a um tipo de interação específica), baseada em uma teoria da gravitação modificada (com base na lei gravitacional “de Weber”, ou seja, que propõe uma lei matematicamente análoga à que Wilhelm E. Weber propôs para a teoria eletromagnética, em 1846). Deste modo, Assis consegue refundar os alicerces da Mecânica Relacional, conduzindo-lhe a resultados para além do mestre:

Em primeiro lugar, Mach não enfatizou que a inércia de um corpo é devido a uma interação gravitacional com os outros corpos no universo. Em princípio esta ligação entre a inércia de um corpo e os corpos celestes distantes poderia ser devida a qualquer tipo de interação conhecida (elétrica, magnética, elástica...) ou mesmo a um novo tipo de interação. Em nenhum lugar ele disse que a inércia de um corpo deveria vir de uma interação gravitacional com as estrelas fixas. Os primeiros a sugerirem isto parece ter sido os irmãos Friedlander em 1896 [...].

Ele também não derivou a proporcionalidade entre as massas inercial e gravitacional. [...] Mach deixou claro que a matéria distante como o conjunto das estrelas fixas estabelecem um excelente sistema inercial.

Mas ele também não explicou este fato, nem indicou como esta conexão entre as estrelas distantes e os referenciais inerciais determinados localmente poderia surgir. Ele colocou todos pensando na direção correta, embora não tenha fornecido a chave para desvendar o mistério. Um outro ponto é que ele não mostrou como o céu de estrelas pode gerar forças centrífugas ao girar. O mesmo pode ser dito de Leibniz, Berkeley e todos os outros. Isto é, Mach sugeriu que a natureza deve se comportar desta maneira, mas ele não propôs uma lei de força específica que tivesse esta propriedade. Com a lei de Newton da gravitação, uma casca esférica não exerce forças sobre corpos internos, quer a casca esteja em repouso ou girando, não importando a posição ou movimento dos corpos internos. Veremos que com uma lei de Weber para a gravitação pode-se mostrar que o conjunto das galáxias e estrelas gera forças centrífugas ao girar (Assis, 2002, p. 73-74).

Assis propõe como base da Mecânica Relacional que a lei de Newton da gravitação universal seja modificada para ficar nos moldes da lei de Weber. Em particular, o módulo da força gravitacional ($F_g = |\mathbf{F}_g|$) exercida por um objeto de massa gravitacional m_1 em outro m_2 (e vice-versa) pode ser dado por:

$$F_g = \frac{Gm_1m_2}{r^2} \left[1 - \frac{6}{c^2} \left(\frac{v^2}{2} - r \cdot a \right) \right].$$

Nesta equação, r é a distância relativa, v ($= dr/dt$) é a velocidade relativa e a ($= d^2r/dt^2$) é a aceleração relativa entre os corpos de massa gravitacional m_1 e m_2 ; G é a constante da gravitação universal e c a velocidade de propagação da luz no vácuo.⁶ O interessante é perceber que para $v/c \rightarrow 0$ (ou seja, $v \ll c$, ou simplesmente $c \rightarrow \infty$), a equação se reduz à lei da gravitação universal de Newton. Portanto, para efeitos de 1ª ordem, há uma correspondência direta entre a Mecânica

⁶ Ao expressarmos apenas o módulo da força gravitacional, adotamos uma notação mais simples do que a notação vetorial expressa por Assis nos livros, além de particularizar a equação geral (em Assis, 2002, p. 120) para o caso da constante adimensional $\xi = 6$. Consultar: “[...] veremos, para que se possa derivar a precessão do periélio dos planetas, como observado pelos astrônomos, que $\xi = 6''$ (*ibid.*, p. 121).

Relacional e a Mecânica Clássica. Para efeitos de ordem maior, a Mecânica Relacional conduz a resultados e previsões matematicamente diferentes. A aplicação desta “lei gravitacional de Assis-Weber” é antecedida por uma reformulação integral das três leis da mecânica, enfim, os três postulados da mecânica relacional:

- (I) Força é uma quantidade vetorial que descreve a interação entre corpos materiais.
- (II) A força que uma partícula pontual A exerce sobre uma partícula pontual B é igual e oposta à força que B exerce sobre A e é direcionada ao longo da linha reta conectando A até B.
- (III) A soma de todas as forças de qualquer natureza (gravitacional, elétrica, magnética, nuclear...) agindo sobre qualquer corpo é sempre nula em todos os sistemas de referência (Assis, 2002, p. 116; Assis, 2013, p. 273-74).

Em suma, o 1º postulado associa o conceito de força diretamente ao de *interação*, ou seja, não existe nenhum tipo de “força absoluta” capaz de atuar sobre um corpo; o conceito de força é sempre relativo. O 2º postulado pode ser lido como uma versão relacional similar à própria “lei de ação e reação” de Newton. Já o 3º postulado nos apresenta a principal mudança em relação à Mecânica Newtoniana, que Assis chama de *princípio de equilíbrio dinâmico*: “a soma de todas as forças é sempre nula, mesmo quando este corpo está em movimento e acelerado em relação a outros corpos, em relação a nós mesmos, ou a qualquer outro referencial” (Assis, 2002, p. 117).

Aqui encontramos uma nova forma interessante de se pensar a mecânica dos corpos. É natural no primeiro momento sentirmos alguma estranheza, afinal, estamos tão habituados com a Mecânica Clássica que este 3º postulado da Mecânica Relacional chega a parecer “contraintuitivo”, mas é ele que nos abre a fenda para uma nova física. A teoria da gravitação de Assis-Weber pode encontrar novas reformulações e aprimoramentos no futuro, afinal, ela se assenta no método indutivo e provavelmente a dinâmica do universo é muito mais complexa

do que as nossas “leis físicas” hoje preveem; porém, acredito que neste 3º postulado Assis atingiu uma compreensão universal.

Na Mecânica Newtoniana julgávamos haver força resultante “não nula” sobre um corpo acelerado porque esta era relativa ao “vazio”, ao “espaço absoluto”; já na Mecânica Relacional, o movimento é sempre relativo entre os corpos, portanto, se aceleramos, esta aceleração é sempre relativa a algo físico e é devido à presença de forças reais entre os corpos (jamais “fictícias” ou em relação ao “vazio”) cuja totalidade deve ser nula para a própria conservação de energia do sistema físico como um todo. Segundo Assis, se trabalharmos com energias ao invés de forças, estes três postulados podem ser substituídos por um único: “A soma de todas as energias de interação (gravitacional, elétrica, elástica...) entre qualquer corpo e todos os outros no universo é sempre nula em todos os sistemas de referência” (Assis, 2002, p. 118).

Enfim, salientamos a viva influência de Mach no pensamento de Assis, além de tópicos avançados onde discípulo vai além do mestre. Ontologicamente, ambos defendem *a perspectiva relacional-fundamental do espaço físico*. Ao adentrarmos no debate contemporâneo, podemos indagar se *o espaço é um conceito fundamental, ou uma estrutura emergente de processos físicos mais fundamentais?* Nos trabalhos de Mach e Assis, embora o espaço seja relacional, as relações espaciais da experiência são apresentadas como relações fundamentais da matéria (teoricamente, não colocam em questão como as relações espaciais surgem, ou se emergem de interações e estruturas mais fundamentais). Leibniz, pai da teoria relacional, tinha por base a *Monadologia* (naquela época, ele já concebia uma realidade para além do espaço e tempo). Dois caminhos possíveis de desenvolvimento para a Mecânica Relacional podem ser: desenvolvê-la como uma teoria emergente do espaço e tempo; e tentar implementar o conceito de tempo relacional (o que desafia bastante a abordagem matemática dos sistemas físicos).

Assis é um heterodoxo por excelência! Sua teoria compete com a Teoria da Relatividade Geral e se integra ao rol da “ciência

extraordinária” de nosso tempo. Uma certeza nos resta: estamos diante de um corajoso “mineiro das estrelas”, intelectualmente “Gigante”. Que os astrônomos e epistemólogos se atentem aos seus empenhos.

Agradecimentos

Agradeço ao Prof. Osvaldo Pessoa Jr., pela motivação à minha ida ao XX Encontro da ANPOF 2024, em Recife, e à Herminia Ferreira, a melhor anfitriã da cidade; ao Prof. Eduardo Simões, pela força motriz à publicação de todos neste livro; à Lorena Pamplona, pelo apoio na tradução das citações, e à Rachel Félix, pela amorosa viagem. Por fim, ao Prof. Assis, nossa saudação às margens do Capibaribe:

Ou com tua aula de física
querias mostrar que o tempo
não é um fio inteiriço
mas se desfia em fragmentos?

Em se mostrar como espaço
ou mostrar que o espaço tem
o tempo dentro de si,
que eles são dois e ninguém?

Prosas da Maré na Jaqueira [7.]
João Cabral De Melo Neto (1980)

Referências

- ASSIS, André K. T. *Uma nova Física*. São Paulo: Perspectiva, 2002.
- ASSIS, André K. T. *Mecânica relacional e implementação do princípio de Mach com a força de Weber gravitacional*. Montreal: Apeiron, 2013.
- ASSIS, André K. T. *Eletrodinâmica de Weber: teoria, aplicações e exercícios*. 2ª edição. Campinas: Ed. Unicamp, 2015.
- BAIASU, R.; BIRD, G.; MOORE, A. W. (orgs.). *Contemporary Kantian metaphysics: new essays on space and time*. Basingstoke (UK): Palgrave Macmillan, 2012.

- BIPM (Bureau International des Poids et Mesures). *Le système international d'unités / The international system of units (SI)*. 9ª edição, v1.08, 2019.
- CARNAP, R. Space: a contribution to the theory of science. Trad. M. Friedman; P. Heath. In: CREATH, R. (org.). *The collected works of Rudolf Carnap*. Vol. I: *Early Writings*. Orgs. A. W. CARUS et al. New York: Oxford University Press, p. 172-208, 2019. Original em alemão: 1922.
- CROCA, J. R. *Beyond space and chronological time: the physics of becoming*. Chisinau: Lambert, 2021.
- EARMAN, J. *World enough and space-time: absolute vs relational theories of space and time*. Cambridge (MA): MIT Press, 1989.
- FRIEDMAN, M. *Kant and the exact sciences*. Cambridge (MA): Harvard University Press, 1992.
- FRIEDMAN, M. *Kant's construction of nature: a reading of the Metaphysical Foundations of Natural Sciences*. New York: Cambridge University Press, 2013.
- GRÜNBAUM, A. *Philosophical problems of space and time*. New York: Knopf, 1963.
- GRUNWALD, M. (org.). *Human haptic perception: basics and applications*. Basel: Birkhäuser, 2008.
- JAMMER, M. *Conceitos de espaço: a história das teorias do espaço na física*. Trad. V. Ribeiro. Rio de Janeiro: Contraponto; Ed. PUC-Rio, 2010. Original em inglês: 1957.
- MACH, E. *The science of mechanics: a critical and historical account of its development*. Trad. T. J. McCormack. 4ª edição. Chicago: Open Court, 1919. Original em alemão: 1883.
- MACH, E. *The analysis of sensations, and the relation of the physical to the psychical*. Trad. C. M. Williams. New York: Dover, 1959. Original em alemão: 1886.
- MACH, E. On physiological, as distinguished from geometrical space. Trad. T. J. McCormack. *Monist*, v. 11, p. 321-38, 1901. Republicado em Mach ([1906] 1943), p. 5-37.
- MACH, E. On the psychology and natural development of geometry. Trad. T. J. McCormack. *Monist*, v. 12, p. 481-515, 1902. Republicado in Mach ([1905] 1976), p. 264-98, e Mach ([1906] 1943), p. 38-93.

- MACH, E. Space and geometry from the point of view of physical inquiry. Trad. T. J. McCormack. *Monist*, v. 14, p. 1-32, 1903. Republicado in Mach ([1905] 1976), p. 299-329, e Mach ([1906] 1943), p. 94-143.
- MACH, E. *Erkenntnis und Irrtum: Skizzen zur Psychologie der Forschung*. Leipzig: J. A. Barth, 1905. Em inglês: *Knowledge and error: sketches on the psychology of enquiry*. Trad. T. J. McCormack; P. Fouldes. Dordrecht: D. Reidel, 1976.
- MACH, E. *Space and geometry in the light of physiological, psychological and physical inquiry*. Trad. T. J. McCormack. La Salle (IL): Open Court, 1943. Original: 1906.
- MAUDLIN, T. *Philosophy of physics: space and time*. Princeton: Princeton University Press, 2012.
- MELO NETO, J. C. Prosas da maré na Jaqueira. In: *A escola de facas*. Rio de Janeiro: José Olympio, 1980.
- PAMPLONA, F. Espaço físico e outros tipos de espaço: classificações de Mach, Carnap e Reichenbach. *Perspectivas* (Palmas), v. 8, n. 1, p. 197-245, 2023a.
- PAMPLONA, F. *Espaço e meio subquântico: a filosofia do espaço físico à luz da hyperphysics*. Tese Doutoral em Lógica e Filosofia da Ciência, Universidade de Lisboa, 2023b. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10451/64194>.
- REICHENBACH, H. *The philosophy of space & time*. New York: Dover, 1958. Original em alemão: 1927.
- SCHUTZ, B. *A first course in general relativity*. 2ª edição. New York: Cambridge University Press, 2009.
- UNGER, R. M.; SMOLIN, L. *The singular universe and the reality of time: a proposal in natural philosophy*. Cambridge: Cambridge University Press, 2014.
- VAN FRAASSEN, B. C. *An introduction to the philosophy of time and space*. New York: Columbia University Press, 1970.
- WAGNER, M. *The geometries of visual space*. Mahwah (NJ): Lawrence E. A., 2006.

A concepção russelliana de objeto físico

José Marcos Gomes de Luna¹

DOI: <https://doi.org/10.58942/eqs.207.03>

1 Introdução

O tratamento conceitual dado por Bertrand Russell à noção de “objeto físico” é bastante interessante e temos nos ocupado com ele por um bom tempo. De fato, Russell produziu uma curiosa análise do uso ordinário dessa noção de “objeto físico”, deixando um legado radical sobre a abordagem lógica que fez dela, e causando certa influência na Teoria do Conhecimento, na Física e na Metafísica posteriores.

Visando facilitar a apresentação do que pretendemos aqui, vamos dividir nosso texto em quatro pontos breves e interconectados. O primeiro deles trata da concepção ordinária de “objetos” físicos, aos quais, de fato, podemos dizer que esta concepção se aplica. O segundo, por sua vez, apresenta a concepção russelliana de *acquaintance*, sua categorização deste nível de conhecimento e sua natureza. Já no terceiro ponto, consideramos o assunto dos dados dos sentidos e sua relação com os “objetos” físicos. E, finalmente, no quarto e último ponto, voltamo-nos para o conceito de construções lógicas e sua aplicação.

¹ Doutor em Filosofia pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Rio de Janeiro, RJ. Coordenador da graduação em Filosofia e Professor do Programa de Pós-graduação em Filosofia na Universidade Católica de Pernambuco (UNICAP), Recife, PE. E-mail: marcos.luna@unicap.br

2 Os “objetos” físicos ordinários

Russell chama atenção para o fato de que os denominados “objetos” físicos, tão presentes na Física e nas considerações do senso comum, não são conhecidos por nós de modo direto, mas inferidos a partir de nossas experiências. Realmente, a Física e o senso comum consideram “objetos” físicos coisas como mesas, montanhas, pessoas etc. Mas, o que a Física e o senso comum sabem, de fato, sobre esses “objetos” físicos? Com base em que essas duas formas de conhecimento tecem seus discursos e considerações sobre esses “objetos”?

Deixando a segunda dessas perguntas mais para a frente e considerando atentamente a primeira delas, seguindo as advertências de Russell, veremos que o que a Física e o senso comum afirmam de seus chamados “objetos” físicos, na verdade, resulta de inferências: inferências feitas a partir de suas experiências sensíveis. São afirmações que constituem um corpo de conhecimento indireto, asserido a partir de outra base. O alegado “objeto” físico, na verdade, nada mais é que uma série de particulares obtidos na experiência (Russell, [1918] 1978, p. 130).

Em consequência, insiste Russell, aqueles ditos “objetos” físicos, as mesas, as montanhas ou as pessoas são, na verdade, séries de classes de entidades materiais dadas na experiência imediata. E, como se sabe, “séries” e “classes” são conceitos que dizem respeito a ficções lógicas (Russell, [1918] 1978, p. 64).

Ora, isso impõe uma importante e necessária distinção, continua Russell, distinção entre o alegado “objeto” físico e aquilo que é dado na experiência imediata, o objeto “sensível”. Afinal de contas, aquele primeiro é inferido e este último é dado na sensação:

Quando eu falo de um “objeto sensível”, deve ser entendido que por essas palavras eu não quero expressar algo como, por exemplo, uma mesa, que é ao mesmo tempo visível e tátil, podendo ser vista ao mesmo tempo por várias pessoas, e apresentando maior ou menor

permanência. O que eu quero exprimir é apenas a mancha colorida vista momentaneamente quando olhamos a mesa, ou apenas aquela dureza particular que sentimos ao tocá-la, ou ainda, e apenas, o som peculiar que sentimos ao raspá-la (Russell, [1914] 1966, p. 57).

O objeto ordinário, o livro que pode ser visto e tocado por várias pessoas, resulta num objeto posto indiretamente, a partir do que é experimentado. E o que realmente é experimentado é o que é dado nos sentidos, o objeto sensível, a cor, a dureza, a forma etc, aquilo que, dado imediatamente na experiência sensorial, constitui um conhecimento direto e independente de toda e qualquer inferência. Por ele é que o livro, indiretamente, é inferido e conhecido.

3 O conhecimento por *acquaintance*

A análise russelliana dos denominados “objetos” físicos, que devem ser distinguidos dos objetos “sensíveis”, põe em relevo uma demanda fundamental tanto para a epistemologia quanto para a Física, a saber, a tarefa de distinguir o conhecimento obtido de modo direto daquele conhecimento obtido de modo indireto. Ambos são, sem dúvida, conhecimentos alcançáveis de modo bem sucedido, mas possuem *status* lógico e epistemológico diferentes.

Russell chama o conhecimento obtido de modo direto de conhecimento por *acquaintance*.² Trata-se de um conhecimento que consiste numa relação dual, entre o sujeito e o objeto do conhecimento, não mediada de forma alguma, que permite ao sujeito alcançar um conhecimento seguro e indubitável daquilo que tem diante de si. Significa dizer que, por meio da *acquaintance*, o sujeito ultrapassa os limites da

² A palavra inglesa *acquaintance* é traduzida para a língua portuguesa, normalmente, como “familiaridade”, “contato” ou “conhecimento”. Mas essas palavras da língua portuguesa usadas para traduzir o significado de *acquaintance* têm conotações que se distanciam do sentido que Russell lhe atribui de relação direta, imediata, e por isso preferimos mantê-la no original ao longo do texto.

mente e alcança o objeto fora dela sem lançar mão de nenhum pressuposto ou intermediário (Hylton, 1990, p. 111).

Assim, para Russell, um sujeito está numa relação de *acquaintance* quando ele está diretamente consciente do objeto que tem diante de si, sem a mediação de nenhum processo de inferência ou de nenhum conhecimento:

Digo que estou *acquainted* com um objeto quando eu tenho uma relação cognitiva direta com aquele objeto, isto é, quando eu estou diretamente ciente [*aware*] do próprio objeto. Quando eu falo aqui de uma relação cognitiva, eu não me refiro ao tipo de relação que constitui um juízo, mas o tipo que constitui uma apresentação. De fato, eu penso que a relação de sujeito e objeto que chamo de *acquaintance* é simplesmente a inversa da relação de objeto e sujeito que constitui a apresentação. Ou seja, dizer que S tem *acquaintance* com O é essencialmente a mesma coisa que dizer que O é apresentado a S (Russell, [1910] 1951, p. 152).

Como podemos ver nesta citação, Russell apresenta o conhecimento por *acquaintance* acentuando quatro aspectos muito importantes. Ele é, primeiramente, uma forma de consciência direta. Significa dizer que o objeto está apresentado diante do sujeito diretamente, sem nenhum intermediário. Trata-se da consciência que o sujeito tem do objeto de modo que não depende da consciência de outra coisa. Nela, o sujeito está a sós com o objeto e tem consciência dele sem precisar ter consciência de outra coisa.

Outra característica do conhecimento por *acquaintance* é que ele constitui uma relação cognitiva peculiar, uma relação diferente, por exemplo, de um juízo. Quando filósofos estão falando sobre conhecimento, normalmente falam de conhecimento de verdades ou conhecimento proposicional, conhecimento que envolve algum juízo ou crença sobre alguma proposição reivindicada como verdadeira. Contudo, não é esse o caso do conhecimento por *acquaintance* proposto por Russell. Ele está falando de um conhecimento direto que não envolve nenhum

tipo de juízo, não envolve nenhuma verdade e é independente logicamente:

[...] conhecimento por *acquaintance* é essencialmente mais simples do que qualquer conhecimento de verdades, e é logicamente independente do conhecimento de verdades, mas seria precipitado pressupor que os seres humanos alguma vez estão, de fato, em *acquaintance* com coisas sem ao mesmo tempo saber alguma verdade sobre elas (Russell, [1912] 2008, p. 107).

Isto indica que estar *acquainted* com alguma coisa é estar consciente dela de modo que não envolva estar consciente de que ela é tal-e-tal coisa.

Em decorrência, o conhecimento por *acquaintance* também se caracteriza por ser um conhecimento que não se coloca na forma de um juízo. Ele é uma forma de consciência não-conceitual e não-proposicional, ou seja, uma forma de consciência *não-inferencial*. É também uma forma de consciência que deixa um ganho fundamental para o sujeito construir seus pensamentos, formular seus juízos, fazendo uso daquilo que lhe é dado na *acquaintance*.

E, finalmente, o conhecimento por *acquaintance* é fruto de uma relação que implica na existência dos seus objetos. Russell sustenta que a *acquaintance* é uma relação genuína, pois ela é uma forma de consciência que não pode ser obtida sem os seus *relata*, isto é, não pode haver *acquaintance* com o que não existe. A ocorrência da experiência de *acquaintance* implica na existência dos seus objetos.³

A questão central, a esta altura da reflexão, consiste na pergunta pelos objetos da *acquaintance*. Segundo Russell, nós temos conhecimento por *acquaintance* na percepção e, por meio dela, estamos numa relação direta com um objeto sensível. Mas, se não tivermos clareza do verdadeiro objeto da percepção, podemos cair num engano, e a relação

³ Esta posição russelliana leva à análise de situações como as alucinações e as experiências ocorridas nos sonhos, assunto interessante e de grande importância, mas que não será enfrentado aqui, pois tratá-lo agora nos desviaria do nosso objetivo.

de *acquaintance*, como dissemos, deve ser certa, garantida, isenta de dúvida.

Ora, do ponto de vista da Física e do senso comum, por exemplo, parece que estamos relacionados com coisas como cadeiras, pássaros, pessoas, livros, sol e chuva, mas, “de tudo isto se pode razoavelmente duvidar” (Russell, [1912] 2008, p. 70). Mas que o critério russelliano de garantia da relação de *acquaintance* consiste em sustentar que ela, sendo uma relação imediata, não comporta dúvida, ou seja, ela é uma relação com objetos dos quais o sujeito não pode duvidar.

Apoiado neste critério, Russell sustenta que não é possível conhecer por *acquaintance* os “objetos” físicos ordinários, pois aquilo com que o sujeito está relacionado diretamente não é o “objeto” físico em sua totalidade, mas as propriedades sensíveis do “objeto” que constituem os dados dos sentidos no indivíduo. Desse modo, exemplifica ele, se eu olho a mesa que está diante de mim agora, percebo, por sua aparência, que se trata de algo com determinada forma, tamanho, cor e certa rigidez, mas, tudo isso que estou percebendo são dados dos sentidos dos quais estou imediatamente consciente e que correspondem a propriedades da mesa. O “objeto” físico chamado “mesa”, em sua totalidade, eu não sei o que é e até posso duvidar se ele existe, pois, “a mesa real, se existe, não é o mesmo de que temos experiência imediata pela visão ou pelo tato ou pela audição. A mesa real, se existe, não é de modo algum *imediatamente* conhecida por nós, tendo antes que ser uma inferência do que é imediatamente conhecido” (Russell, [1912] 2008, p. 73).

4 Os dados dos sentidos

Russell distingue a sensação daquilo que é apresentado nela e do “objeto” físico ordinário. De acordo com ele, a “sensação” consiste na experiência de termos consciência imediata daquilo que os sentidos nos apresentam e o que os sentidos nos apresentam são as

propriedades dos “objetos” físicos ordinários. Já os chamados “objetos” físicos ordinários, se existem, são portadores das propriedades que temos acesso na *acquaintance* e não são conhecidos diretamente (Russell, [1912] 2008, p. 168).

Devemos notar, contudo, que os dados dos sentidos são um complexo. Na experiência, o indivíduo não supõe que a causa dos dados é um complexo, ele constata isso nos próprios dados sensoriais:

Quando vejo uma cor ou ouço um ruído, tenho *acquaintance* direto da cor ou do ruído. Os dados dos sentidos com os quais sou *acquainted* nestes casos são geralmente, se não sempre, complexos. Isto é particularmente óbvio no caso da visão. Não quero dizer, é claro, apenas que o suposto objeto físico seja complexo, mas o objeto sensível direto é complexo e contém partes com relações espaciais (Russell, [1910] 1951, p. 153).

O “objeto” físico ordinário é assumido como um complexo porque os dados sensíveis que o apresentam são um complexo. Se retornarmos o exemplo da mesa, podemos nos aperceber de que os dados dos sentidos não nos apresentam uma cor, uma forma ou um volume isoladamente, como objetos simples, soltos, mas nos apresentam um objeto sensível complexo com todas essas propriedades juntas, como propriedades pertencendo a um determinado “objeto” físico ordinário. E, ainda mais, eles nos apresentam todas essas propriedades como um complexo com relações temporais e espaciais, onde se pode perceber um antes e um depois, ou uma quantidade e uma posição.

Desse modo, destacam-se duas interessantes tensões na tarefa de analisar os dados. A primeira delas diz que, por um lado, os dados dos sentidos são consistentes, eles, realmente, possuem as propriedades que revelam possuir (Russell, [1914] 1966, p. 85). E, por outro lado, eles são breves, nos atingem com uma saliente efemeridade, passam rápido tal qual um filme onde cada cena se apresenta por um breve instante. Este contraste, porém, não inviabiliza a busca do conhecimento. Pelo contrário, ele nos impede de cair nos extremos: nem

absolutizar os dados dos sentidos, nem os desprezar. Apenas, e seriamente, colhê-los com toda riqueza e pobreza epistêmicas que os constituem.

5 Perspectivas e construções lógicas

Em 1914, na obra intitulada *Nosso conhecimento do mundo exterior*, Russell passou a sustentar que os “objetos” ordinários da Física e do senso comum são construídos logicamente a partir da nossa relação direta com os dados dos sentidos. Trata-se de uma posição inovadora que, mesmo reconhecendo os limites da experiência sensorial, valoriza os dados dos sentidos, considerando-os uma base suficientemente consistente para apoiar o nosso conhecimento do mundo exterior.

As “construções lógicas” dos objetos físicos ordinários, sustenta Russell, são “símbolos incompletos”, e as pretensas entidades a que elas se referem são “ficções lógicas”. No contexto da filosofia da linguagem russelliana, símbolos incompletos são expressões cujo significado é alcançado por meio de uma definição contextual, competindo ao trabalho crítico-analítico revelar seu autêntico conteúdo lógico.

A fim de entendermos melhor como essas construções lógicas se constituem, podemos usar, mais uma vez, o exemplo da mesa. Quando uma pessoa olha a mesa, seus dados dos sentidos lhe apresentam uma percepção. Esta perspectiva é sua visão privada, um aspecto da cor da mesa, por exemplo, ou sua forma, ou sua dureza. Obviamente, outras pessoas poderão experimentar a mesa e alcançar muitas outras perspectivas que, quando relacionadas umas com as outras, terão consideráveis aspectos semelhantes e constituirão a base comum para inferir a existência do “objeto” chamado de “mesa” (Russell, [1914] 1966, p. 95-96).

Claro, muito rapidamente se pode objetar que por mais que possamos reunir perspectivas diferentes, o “objeto” mesa vai muito além das descrições destas perspectivas. Mas, sustenta Russell, nós não precisamos reduzir o “objeto” mesa às perspectivas já constatadas,

basta considerar a infinidade de perspectivas não conhecidas ainda. Essas perspectivas que ainda não se tornaram dados dos sentidos de ninguém, mas podem se tornar, são os *sensibilia*, isto é, são dados dos sentidos possíveis, mas ainda não percebidos.

Assim, continua Russell, podemos construir as coisas do senso comum e os “objetos” da Física considerando as classes de objetos sensíveis semelhantes que encontramos nos dados dos sentidos. A mesa ordinária, por exemplo, é o conjunto de seus aspectos ou perspectivas semelhantes que encontramos nos dados dos sentidos e nos *sensibilia*. Aquilo que de fato é real são os aspectos, a “coisa” é uma construção lógica. A mesa “é uma classe de particulares e o que vejo quando olho para ela é um membro dessa classe” (Russell, [1914] 1966, p. 102).

Continuando nesta senda, aberta pela análise de Russell, podemos verificar que a mesma posição se aplica aos “objetos” físicos subatômicos. De fato, uma partícula subatômica também é uma construção lógica nos moldes russellianos. Ela é inferida a partir daqueles objetos “sensíveis”, os dados dos sentidos, colhidos diretamente na experiência. Quando um cientista observa uma partícula subatômica, por exemplo, seja ela composta ou elementar, o que ele conhece por *acquaintance*, diretamente, são dados dos sentidos que constituem perspectivas, perspectivas de manifestações que revelam propriedades, comportamentos, daquela partícula e permitem certa classificação (átomo, próton, pentaquark, elétron, fóton, neutrino, quark, bóson etc). Essas perspectivas são séries, e séries são construções lógicas. E se vários cientistas observarem a partícula, eles terão séries de perspectivas, com semelhanças e dessemelhanças; a partícula mesma, porém, é uma função das perspectivas observadas e das possíveis observáveis. Ela é uma série de séries, uma ficção lógica.

6 Considerações finais

A análise russelliana põe às claras que tanto a Física Moderna quanto o senso comum trabalham com perspectivas e não com

“objetos” físicos, quando falam a respeito das coisas do mundo, os “objetos” ordinários. Os seus assim chamados “objetos” físicos são inferidos a partir das perspectivas dadas ou experimentadas na sensação. Mas a sua análise conceitual pode ser aplicada com o mesmo rigor aos “objetos” físicos do mundo subatômico.

Reconhecer e aceitar o modo como funciona o nosso conhecimento do mundo exterior é de fundamental importância para entender a real natureza do conhecimento apresentado pelos discursos da Física e do senso comum. Ela indica que tais discursos tratam de um conhecimento acerca de um conhecimento inferido e sustentado a partir do que é conhecido diretamente na experiência, os dados sensíveis, base da nossa construção lógica do mundo exterior.

Referências

- HYLTON, P. R. *Russell, idealism, and the emergence of analytic philosophy*. Oxford: Clarendon, 1990.
- LUNA, J. M. G. Construções lógicas e atitudes de crença: uma incursão na vanguarda da análise do discurso. In: CIRNE, A. O.; EFKEN, K. H.; MENEZES, A. A. (orgs.). *Estudos da linguagem e análise crítica do discurso*. Campinas: Pontes, 2023, p. 147-70.
- RUSSELL, B. *Os problemas da filosofia*. Trad. D. Murcho. Lisboa: Edições 70, 2008. Original em inglês: 1912.
- RUSSELL, B. Knowledge by acquaintance and knowledge by description. In: *RUSSELL, B. Mysticism and logic*. Totowa (NJ): Barnes & Noble, p. 152-167, 1951. Original: 1910.
- RUSSELL, B. Filosofia do atomismo lógico. In: *RUSSELL, B. Ensaios escolhidos*. Trad. P. R. Mariconda. Coleção Os Pensadores. 2ª ed. São Paulo: Abril Cultural, p. 53-135, 1978. Palestra original em inglês: 1918.
- RUSSELL, B. *Nosso mundo conhecimento do mundo exterior*. Trad. R. Haddock Lobo. São Paulo: Editora Nacional, 1966. Original em inglês: 1914.

A recepção do “jovem Carnap” à divergência de Kant e Einstein sobre o conhecimento do espaço

Lucas Rodrigues de Oliveira¹

DOI: <https://doi.org/10.58942/eqs.207.04>

1 Introdução

A relação intrínseca da relatividade geral de Albert Einstein com o continuum espaço-tempo de Hermann Minkowski, e sobretudo sua relação com a geometria riemanniana, de curvatura variável, demonstram o quão a formulação de sua estrutura teórica dependeu de esforços anteriores à formulação integral da física einsteiniana (Lorentz *et al.*, [1913] 2014; Einstein, [1920] 2023, [1921] 2005). O italiano Luciano Boi argumenta a favor desse ponto, ao salientar a relação de dependência da Teoria da Relatividade com as noções de métrica riemanniana, que serviram como fundamentação matemática à teoria:

A descoberta da teoria geral da relatividade por Einstein, em 1915-16, foi essencialmente fundamentada nas novas concepções sobre o espaço introduzidas pelas geometrias não euclidianas, inventadas na metade do século XIX por vários matemáticos notáveis, principal-

¹ Licenciado em Filosofia pela Universidade Federal de Santa Maria. Mestrado em andamento na mesma instituição, com subsídio CAPES, Brasil. Atual integrante do grupo de estudos Émilie (UFMS), com foco na inclusão de mulheres no cânone filosófico e do Grupo Physikós (UFMS) de História e Filosofia da Física e Cosmologia.

E-mail: lucas.rodrigues@acad.ufsm.br

mente por Lobatchewsky, Gauss e Riemann. [...] No entanto, ao escrever seu primeiro artigo em 1905, “Sobre a eletrodinâmica dos corpos em movimento”, Einstein não tinha ideia de que estava lidando com algo relacionado à geometria. Foi Hermann Minkowski quem percebeu e apontou, em 1908, que o Princípio da Relatividade de Einstein, com seu postulado da invariância da velocidade da luz, era, de fato, uma afirmação sobre a geometria de quatro dimensões do espaço-tempo [...]. O que é crucial, ao olhar para essas descobertas do ponto de vista da conexão entre geometria e física, é que, com a relatividade especial, surgiu a nova noção geométrica da *geometria do espaço-tempo de Minkowski*, que difere da geometria original de Euclides não apenas por ter quatro dimensões, em vez de três, mas por admitir uma métrica não definida como positiva — do tipo que agora chamamos de *lorentziana*. A relatividade geral mantém essa característica, mas agora a geometria é *curva*, de acordo com as ideias de Riemann e outros matemáticos. Além disso, a estrutura geométrica riemanniana subjacente à relatividade geral confere às equações de Einstein um caráter essencialmente não linear (Boi, 2006, p. 1066-1067).

Não obstante, o desenvolvimento paradigmático da Teoria da Relatividade inevitavelmente trouxe consigo a determinante discussão acerca da legitimidade das geometrias não euclidianas, uma vez que a geometria riemanniana passou a se firmar não apenas por sua solidez conceitual, mas por sua capacidade de representar a métrica do mundo físico, graças à fundamentação matemática dada à física de Einstein.

Historicamente, um dos entraves para a consagração imediata da geometria riemanniana foi a defesa kantiana da geometria euclidiana, já que o escopo filosófico dado por Immanuel Kant rendeu à geometria euclidiana, até o desenvolvimento da Teoria da Relatividade, a fundamentação necessária para seu estabelecimento como a métrica espacial que representa o mundo físico, munida de sua relação com a Mecânica Newtoniana. Era o arcabouço conceitual kantiano que reforçava a legitimidade da geometria euclidiana como métrica do mundo físico.

Um dos autores que surgiram nesse primeiro momento de provação, por assim dizer, da Física de Einstein, foi o jovem Rudolf Carnap, autor da tese doutoral intitulada *Der Raum: ein Beitrag zur*

Wissenschaftslehre (Carnap, [1922] 2019). Em *Der Raum*, Carnap reflete sobre o embaraço ocasionado na filosofia da geometria em função do surgimento das geometrias não euclidianas e da Relatividade Geral.

Sua tese doutoral representa mais do que uma mera tentativa de enquadrar o pensamento kantiano à geometria de Riemann: almeja desenvolver uma teoria neokantiana do espaço intuitivo que seja capaz não apenas de abarcar a geometria riemanniana, mas que se configure como uma tese do espaço matemático mais fundamental que se possa formular, e na qual todos os tipos de espaço estejam subordinados.

Ainda que o Carnap da *Logical syntax of language* ([1934] 1937) esteja distante do jovem Carnap, recentemente a tradução de seus primeiros textos no *The collected works of Rudolf Carnap* oferece uma oportunidade de retomada na investigação de seu pensamento, senão para a contribuição da problemática kantiana das geometrias não euclidianas, ao menos para o exame das metamorfoses que a filosofia de Carnap sofreu ao longo do tempo.

A primeira seção se preocupa em compreender as referências do jovem Carnap, a partir do *The Cambridge companion to Carnap* (Friedman; Creath, 2007). A segunda foca no desenvolvimento da teoria do espaço do jovem Carnap, que está inserida no contexto da recepção da Teoria da Relatividade. E, por fim, a terceira seção traça as relações do jovem Carnap com a filosofia transcendental.

2 Revisitando o jovem Carnap

Ainda que autores como Alberto Coffa (1991) argumentem a favor da influência neokantiana na filosofia do jovem Carnap, a discussão sobre as influências presentes na filosofia inicial do alemão ainda estão em aberto. O professor de filosofia e doutor em matemática Thomas Mormann, nos seus trabalhos sobre Carnap e o neokantismo, reconhece que autores como Henri Poincaré, Gottlob Frege, David Hilbert, Bertrand Russell, Edmund Husserl e Hugo Dingler também o

tenham influenciado (Mormann, 2007, p. 43). Em seu artigo para o *The Cambridge companion to Carnap*, intitulado “Leitmotivs geométricos na filosofia inicial de Carnap”, Mormann reconhece as relações da filosofia inicial de Carnap, sobretudo na tese *Der Raum*, com a filosofia kantiana e a fenomenologia husserliana, apontando essa última relação como a mais intrigante:

Certamente, o elemento mais intrigante da explicação de Carnap sobre a geometria é o componente husserliano do espaço intuitivo. Em uma primeira aproximação, o espaço intuitivo tem o papel de ser o intermédio entre o espaço formal e o espaço físico: “O conhecimento do espaço físico pressupõe o conhecimento do espaço intuitivo, e este [...] encontra a forma pura de sua estrutura prefigurada no espaço formal” [CARNAP, 1922 2019, p. 29]. Mais precisamente, ele sustentava que as três teorias do espaço estão relacionadas da seguinte forma: as teorias do espaço formal e do espaço intuitivo estão numa relação de especificação, e a relação entre as teorias do espaço intuitivo e do espaço físico em relação de subordinação. Na terminologia husserliana, diz-se que essa hierarquia corresponde às relações entre ontologia formal, ontologia regional e ciência factual [...] (Mormann, 2007, p. 46-47).

No *The Cambridge companion to Carnap*, Thomas Ryckman também discute tais influências. No artigo “Carnap e Husserl”, o autor aprofunda a discussão da associação das ideias husserlianas na filosofia de Carnap: “De uma perspectiva contemporânea, a conjunção pode parecer intrigante. O que Carnap — lógico anti-metafísico, aluno e ‘sucessor legítimo’ de Frege — *poderia* possivelmente ter em comum com o fundador da fenomenologia transcendental?” (Ryckman, 2007, p. 81).

O processo de desenvolvimento da fenomenologia, para Husserl, parte de uma “psicologia puramente descritiva” para a fenomenologia transcendental, na qual a experiência subjetiva de um determinado sujeito correlaciona-se ao objeto de conhecimento (Ryckman, 2007). Mas ele ainda aponta o seguinte:

Somente em trabalhos posteriores Husserl considerou estender a redução fenomenológica, a *epoché*, “à lógica formal e à *mathesis* em sua totalidade”. Ao tornar esses objetos “essencialmente evidentes ao observar a própria consciência em sua pura imanência”, a fenomenologia transcendental busca descobrir a “subjetividade transcendental” subjacente aos objetos da lógica e da matemática, “o outro lado *a priori* da objetividade genuína” [...]. Assim como em Kant, torna-se então tarefa de uma lógica *transcendental* buscar “na subjetividade, ou mais precisamente, na correlação entre a subjetividade e o objetivo, a determinação última do sentido da objetividade, tal como apreendida no conhecimento” [...]. Em particular, Husserl argumenta, de forma notória, que a geometria origina-se em atos de conferência de sentido, revelados por meio da investigação fenomenológica do mundo vivido [...] (Ryckman, 2007, p. 101-102).

Ainda que o próprio Ryckman reconheça que o Carnap maduro tenha seguido a tradição de uma lógica matemática, por assim dizer, autossuficiente e alheia aos elementos transcendentais², da qual Bertrand Russell fora percussor, existe também o reconhecimento de que, ao menos em *Der Raum*, Carnap tenha na verdade defendido uma estrutura *a priori* intuitiva do espaço que não apenas demarca sua relação com Husserl, mas representa uma defesa da estrutura intuitiva presente na matemática:

Sem dúvida, em “Der Raum” (1922), Carnap reconheceu um papel cognitivo necessário para a intuição (que ele até identificou com a *Wessensschauung* husserliana) no estabelecimento de certos “fatos” topológicos que compreendem a estrutura de ordem *a priori* do *espaço intuitivo*, pressuposta pela estrutura métrica empiricamente determinada do *espaço físico* (onde ambos são distintos dos *espaços formais abstratos* construídos dentro da lógica das relações). Mas isso foi uma

² Ryckman (2007, p. 102-103) acrescenta ainda que o próprio Husserl, em uma crítica a esse ponto de vista, parece ter Carnap em mente: “A lógica supostamente completamente autossuficiente que os lógicos matemáticos modernos [*Logistiker*] acreditam ser capazes de desenvolver, chegando a chamá-la de uma filosofia verdadeiramente científica, ou seja, como a ciência fundamental universal *a priori* para todas as ciências objetivas, não passa de uma ingenuidade” (Husserl, [1954] 2012, §36).

exuberância juvenil, e Carnap logo deixou isso para trás (Ryckman, 2007, p. 103).

O presente artigo, ao buscar defender que a posição de Carnap representa uma rica teoria neokantiana do espaço sob influência da fenomenologia de Husserl, se opõe à afirmação de Ryckman de que a discussão de Carnap em *Der Raum* representa apenas uma “exuberância juvenil”. Pretendo aqui demonstrar que ela constitui uma tentativa elegante de conciliação entre a filosofia kantiana e as geometrias não euclidianas, e, conseqüentemente, entre Kant e Einstein.

3 Espaço formal e espaço intuitivo topológico n-dimensional

Espaço *formal* é uma estrutura de ordem geral de um certo tipo. Por “estrutura de ordem geral” queremos dizer um sistema de relações — não entre certos objetos de domínio sensível ou não sensível, mas entre relata inteiramente indeterminados sobre os quais só precisamos saber que uma espécie de conexão implica um tipo diferente de conexão no mesmo domínio. Portanto, o espaço formal não lida com figuras usualmente consideradas espaciais, como triângulos ou círculos, mas com relata sem significado cujo lugar pode ser tomado por uma variedade enorme de coisas (números, cores, graus de parentesco, juízos, pessoas etc.) [...] (Carnap, [1922] 2019, p. 27).

Essa afirmação descreve as relações espaciais na sua esfera pura de objetos, na qual sua “estrutura de ordem geral” é definida puramente por suas relações. O espaço formal representa, portanto, a própria relação de dois ou mais domínios (“relata”) diferentes, independentemente quais sejam esses domínios, pois o que está em jogo são as relações entre eles, as quais resultam uma estrutura geral do espaço capaz de ser expressa nos termos da lógica formal.

Embora o autor introduza o “espaço formal” no sentido mais abrangente, seu interesse se volta aos fundamentos da geometria: o

sistema dedutivo de cada geometria define uma estrutura que é independente das “figuras” e dos “objetos geométricos”, como são entendidos intuitivamente. Segundo Carnap, embora Euclides (em *Os elementos*) tenha começado o 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 dos axiomas com nenhuma consideração ao significado intuitivo desses elementos, importam somente suas relações.

Se pensarmos em todos os teoremas colocados nesta forma mais geral, então, em vez da geometria propriamente dita (a dos pontos, linhas e planos), temos uma “*pura teoria das relações*” ou “*teoria das ordens*”, ou seja, uma teoria dos objetos indefinidos e das relações igualmente indefinidas que há entre eles. Para essa teoria, um número pequeno de axiomas é pressuposto e nessa base um número ilimitado de teoremas é derivado. O objeto dessa disciplina não é o espaço, *i.e.*, o sistema de pontos, linhas e planos determinado por axiomas *geométricos* (os quais nós chamamos de “espaço intuitivo” para distingui-los), mas o “sistema relacional ou estrutural” determinado por axiomas *formais*. Como isso representa a construção formal do sistema espacial, e se reconfigura no sistema espacial novamente quando os relata indeterminados são substituídas pelos elementos espaciais, ele também será chamado de “espaço”: “*espaço formal*” (Carnap, [1922] 2019, p. 31).

Essa afirmação demonstra que, para Carnap, a geometria é composta por dois domínios de conhecimento, de natureza distinta: o domínio do sistema formal de puras relações espaciais, e o domínio intuitivo, a qual abarca seus elementos. Cabe dizer que ambas as esferas de “espaço geométrico” são *a priori*. No espaço formal, as proposições são derivadas das leis básicas da lógica dedutiva e são independentes da experiência. Quanto às noções intuitivas dos axiomas e dos elementos básicos (pontos, linhas retas, planos, etc.), essas fazem parte da “geometria pura” e definem a teoria do “espaço intuitivo”.

A noção de Carnap do espaço formal parece fundamentar-se nas definições primárias de Kant, especificamente da “Segunda parte

da doutrina transcendental dos elementos”, da seção “Da lógica em geral” da *Crítica da razão pura*, na qual Kant estabelece que a lógica em geral possui duas esferas: a lógica do uso geral (lógica elementar) — regras necessárias do pensamento, sem as quais não pode haver uso do entendimento, e diz respeito ao último sem levar em conta os objetos nele relacionados — e a lógica do uso particular do entendimento — que diz respeito a objetos (Kant, [1787] 2001, B76). O que Carnap descreve como a face dedutiva da geometria, na qual as definições espaciais se dão por relações independentes dos objetos, pode ser enquadrada naquilo que Kant denominou de “lógica geral e pura”, às quais não se referem a objeto algum, mas dizem respeito apenas às regras formais do pensamento — ainda que o paralelo não seja estrito, já que em Kant a lógica geral e pura é completamente abstrata, e não constitui uma forma de conhecimento do espaço.

Já a esfera intuitiva da geometria, a que Carnap se refere, segue também as definições de Kant de uma geometria pura, a qual não contém princípios analíticos, e sim apenas proposições sintéticas, que requerem, portanto, o uso da intuição (Kant, [1787] 2001, B105).

Por espaço intuitivo, em contraste, queremos dizer o sistema de relações entre figuras “espaciais” no sentido usual, *i.e.*, segmentos de linha, áreas planares e volumes espaciais, cujo caráter particular nós apreendemos quando percebemos algo pelos sentidos ou imaginando-os. Não se trata ainda dos fatos espaciais evidentes na realidade experienciada, mas apenas da “essência” desses sistemas, os quais podem ser reconhecidos em quaisquer representativos particulares (Carnap, [1922] 2019, p. 27).

O espaço intuitivo, assim como o espaço formal, também constitui um sistema de relações, com a diferença de que suas relações se dão entre objetos determinados. Por objetos determinados, Carnap se refere às figuras e aos elementos que atribuímos usualmente à geometria, englobando também os objetos geométricos *n*-dimensionais. Por serem encontradas na percepção sensível ou na imaginação, o que está

em jogo não são os “fatos espaciais”, que constituem o espaço físico e são fornecidos pela experiência física, mas sim a apreensão da essência das formas geométricas através da intuição.

Investido na árdua tarefa de encontrar um fio condutor na qual todas as geometrias teóricas possuam um ponto de partida em comum na intuição, sua intenção é a de formular uma teoria do espaço intuitivo capaz de estender-se aos espaços métricos, projetivos e topológicos n -dimensionais a partir da consideração de uma fonte comum nos axiomas intuitivos. A possibilidade da fundamentação dessas geometrias a partir dos axiomas intuitivos se deve ao fato de eles não se originarem na experiência, sendo a apreensão imediata da essência das formas o único meio pelo qual podem ser acessados.

Embora os objetos geométricos com mais de três dimensões não sejam diretamente “visualizáveis” e graficamente “representáveis” da mesma maneira que os objetos com até três dimensões, isto não significa que eles não sejam “intuitivos”, pois os axiomas que os deduzem o são, logo eles se incorporam à teoria do espaço intuitivo da mesma maneira que os objetos euclidianos usuais.

Carnap atribui essa qualidade dos axiomas do espaço intuitivo, de unificar as geometrias teóricas, à sua independência da experiência, característica descrita por ele do seguinte modo:

A experiência não fornece a justificativa para eles; os axiomas são independentes da experiência. Mais precisamente, eles são independentes da “quantidade de experiência” (como coloca Driesch), ou seja, o conhecimento deles não se torna, como no caso das afirmações empíricas, progressivamente mais seguro com experiências repetidas. Pois, como Husserl demonstrou, isso não é uma questão sobre fatos, no sentido de uma realidade empírica, mas sim de uma questão da essência (“eidos”) de certos itens que nos são dados, uma essência que pode ser imediatamente apreendida em seu caráter particular, mesmo a partir de uma única ocorrência (Carnap, [1922] 2019, p. 55).

Quando Carnap menciona a apreensão imediata das essências, sua intenção não é apenas sinalizar uma característica da filosofia

husserliana. A afirmação demarca o traço fenomenológico de sua perspectiva, o que se torna ainda mais claro na seguinte afirmação, onde Carnap identifica o seu uso do conceito de intuição com a noção husserliana:

O fato particular não é o que estamos focados aqui, então não é, por exemplo, a tonalidade da cor vista aqui e agora que buscamos, mas apenas seu caráter atemporal, sua ‘essência’. Por isso, pode ser importante distinguir esse tipo de apreensão da intuição no sentido mais restrito, focada no fato em si, chamando o primeiro de “apreensão imediata das essências” (no sentido de Husserl) quando parecer possível haver confusão. De modo geral, contudo, o termo “intuição” pode incluir a apreensão imediata das essências, já que, desde Kant, é costume usá-lo nesse sentido mais amplo (*Ibid.*, p. 55).

Carnap utiliza metaforicamente a classificação entre gênero, espécie e subespécie para estabelecer uma relação de hierarquia entre os espaços da topologia, da geometria projetiva e das geometrias métricas. Ele define o “espaço topológico” como o sistema de ordem mais geral entre os diferentes modelos de espaços matemáticos, no qual o próprio “espaço projetivo” pode ser entendido como uma “espécie” particular: “[...] o espaço projetivo R_{np} e o espaço métrico R_{nm} surgem de R_{nt} (agora chamado de espaço topológico, para distingui-lo). Os espaços projetivo e métrico são ambos relacionados a R_{nt} como espécie e subespécie de um gênero (não como indivíduos de uma espécie)” (*Ibid.*, p. 41).

Considera assim o espaço topológico o principal “gênero”, sendo a base do conjunto unificado de axiomas compartilhados por todos os sistemas específicos; o espaço projetivo é intermediário, relaciona-se como “espécie” que engloba as diferentes “subespécies” de espaços métricos, estes diferenciados pelas estipulações métricas assumidas nos postulados:

O espaço topológico representa o que é comum a todos eles e, portanto, deve ser considerado como a forma do que pode ser compreendido por meio de uma apreensão imediata de essências espaciais. Os

espaços intuitivos métricos, por outro lado, dependem também da escolha desses postulados; eles, portanto, carecem da propriedade de validade incondicional que caracteriza o espaço intuitivo topológico, assim como [ele caracteriza] todo conhecimento que surge dessa fonte (*Ibid.*, p. 119).

Uma vez que todo sistema de relações do espaço intuitivo pode ser generalizado em um sistema de ordem correspondente no espaço formal, formula-se os respectivos sistemas de espaço formal métrico, projetivo e topológico — onde a forma mais geral também é expressa no espaço formal topológico n -dimensional.

As duas esferas da geometria correspondem, portanto, ao espaço formal e ao espaço intuitivo. O primeiro representa a própria relação de dois ou mais domínios diferentes, independentemente de quais sejam esses domínios, ou seja, é a relação espacial ainda sem relação com objetos e possui três domínios: espaço formal topológico n -dimensional; espaço formal projetivo n -dimensional; espaço formal métrico n -dimensional. Já o segundo constitui um sistema formal de relações de objetos determinados (figuras e elementos da geometria) representados pelos axiomas intuitivos do espaço, também possuindo três domínios: espaço intuitivo topológico n -dimensional; espaço intuitivo projetivo n -dimensional; espaço intuitivo métrico n -dimensional.

4 Espaço físico topológico 3-dimensional

O terceiro elemento central na tese de *Der Raum* de Carnap é conciliar as concepções de espaço intuitivo e formal, que são consideradas independentes da experiência, com o espaço físico, que se fundamenta na “base factual das relações espaciais”. A intenção é mostrar como esses três tipos de espaço estão interligados. Para isso, Carnap se baseia na teoria kantiana e reafirma que o espaço intuitivo é um pressuposto necessário para qualquer objeto de experiência. Nesse sentido,

o espaço intuitivo desempenha um papel epistemológico fundamental com relação ao espaço físico:

O conhecimento do espaço físico pressupõe o do espaço intuitivo, que por sua vez encontra a forma pura de sua estrutura prefigurada no espaço formal e, portanto, pressupõe-na no pensamento. Após a apresentação desses três significados de espaço e suas interconexões, também descobriremos em que se baseia o conhecimento do espaço, especialmente se, e em que medida, ele depende da experiência (Carnap, [1922] 2019, p. 29).

Carnap sustenta que o conhecimento do espaço físico depende das relações espaciais estabelecidas na intuição a priori, uma representação necessária que serve como a base para todas as nossas percepções externas. O espaço físico, em sua teoria, é visto como um conjunto de relações entre os “fatos espaciais” que a experiência nos oferece, e, por esse motivo, é classificado por Carnap como um “fenômeno externo”. Isso implica que o espaço físico, sendo um fenômeno abstraído da experiência externa, deve estar subordinado às regras do espaço intuitivo, o qual representa a condição prévia e fundamental da efetividade da experiência externa.

O espaço intuitivo é construído a partir de axiomas que não são derivados da experiência, o que o torna um sistema dedutivo exato e a priori. Em contraste, o espaço físico é formado por um conjunto de relações entre os “fatos espaciais” originados das experiências físicas. Esse espaço físico, portanto, segue um caráter indutivo, uma vez que sua estrutura geral é inferida das medições particulares, que sempre mantêm um grau de incerteza e aproximação. Por depender da experiência, o conhecimento do espaço físico é, portanto, a posteriori, ou, em termos neokantianos, sintético a posteriori.

Dada a diferença no tipo de conhecimento associado a cada um desses espaços, surge a questão: de que maneira o espaço físico ainda pressupõe o espaço intuitivo? Como se dá a subordinação do conhecimento de um em relação ao outro? Para preservar a base da tese

kantiana, Carnap propõe uma modificação importante: embora o espaço intuitivo continue a ser a condição necessária para a possibilidade de todo objeto de experiência, ele não se limita a uma única “representação a priori”, mas admite múltiplas representações, as quais fundamentam-se no espaço intuitivo topológico n -dimensional. A introdução das geometrias não euclidianas amplia a compreensão de que não há uma única forma de representar o espaço, mas diversas possibilidades, como a geometria euclidiana tridimensional, e a quadridimensional do espaço-tempo de Einstein-Minkowski. A escolha da representação mais adequada para o espaço físico depende, assim, tanto da experiência quanto da teoria física que se aplica a determinado contexto.³

O espaço físico, por sua vez, mantém uma relação de subordinação com o espaço intuitivo, e, de maneira indireta, com o espaço formal. Para Carnap, essa subordinação é crucial, pois permite que a base factual do espaço físico seja analisada a partir de modelos topológicos, projetivos e métricos, que são inicialmente formulados no espaço intuitivo e depois generalizados no espaço formal. No entanto, ao confrontar esses modelos com a experiência, impõem-se limitações que ajustam a modelagem matemática à representação mais precisa da base factual.

Uma primeira restrição é aplicada sobre o critério da dimensionalidade espacial: os espaços intuitivos e formais podem ter um número ilimitado de dimensões, porém, tratando-se do espaço físico, ainda que ele *não seja necessariamente tridimensional*, a base factual é fornecida, no mínimo, em três dimensões. Desse modo, os modelos aplicados ao espaço físico também podem ser topológicos, projetivos ou métricos, desde que tenham, no mínimo, três dimensões, conforme expõe:

³ 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. Neste aspecto, Carnap corrobora com o convencionalismo de Poincaré.

A questão muito disputada, de se a tridimensionalidade do espaço pertence entre essas características que são a condição de todo objeto de experiência, deve ser respondida negativamente. Como vimos em nossa construção do espaço intuitivo, surge como um dado da intuição que as figuras espaciais do reino intuitivo têm até três dimensões. No entanto, na extensão desse reino para o espaço global, verifica-se que, se tivermos uma figura de k dimensões, embora se possa concluir que a estrutura global à qual ela pertence tem pelo menos k dimensões, o limite superior para o número de dimensões do sistema global não pode ser inferido. Dessa descoberta da intuição, segue-se apenas que o espaço intuitivo global tem pelo menos três dimensões. Menos ainda se pode concluir com segurança — a partir do conhecimento do espaço físico, que não possui necessidade, mas apenas probabilidade experiencial, ou a partir do espaço formal, para o qual o número de dimensões obviamente não é limitado — que é uma condição da possibilidade de qualquer objeto de experiência ter, no máximo, três dimensões (Carnap, [1922] 2019, p. 125, 127).

5 A noção neokantiana de espaço intuitivo do jovem

Carnap

Carnap, ao se alinhar à tese kantiana, depara-se com obstáculos que não existiam no contexto histórico da *Crítica da razão pura*. Na época de Kant, a Mecânica Clássica de Newton dominava a física teórica, e o espaço absoluto dela era visto como coincidente com o espaço tridimensional euclidiano. Havia, portanto, uma correspondência direta entre a geometria e a descrição física do espaço. No entanto, essa correspondência foi desafiada com o advento das geometrias não euclidianas e das teorias relativistas, que introduziram o chamado relativismo geométrico: qual geometria, dentre as possíveis estruturas matemáticas, descreve efetivamente o espaço físico?

Carnap, ao contrário de Kant, reconhece que não é possível determinar de maneira a priori qual delas corresponde ao mundo físico. Para ele, o conhecimento do espaço físico só pode ser obtido de maneira a posteriori, não pertencendo a uma fundamentação universal e

necessária, mas configurando-se como uma teoria particular, informada pelo progresso das ciências naturais e constituindo assim uma teoria à parte.

Carnap assume, assim, uma tarefa conciliadora de grande complexidade: ele busca desenvolver uma defesa neokantiana — adaptada e revisada — que tenta harmonizar três abordagens conceitualmente desafiadoras. Sua proposta conecta a noção lógica de “espaço formal” com a visão empírica de “espaço físico” e, ao mesmo tempo, com uma perspectiva neokantiana de “espaço intuitivo”. Este último, agora reinterpretado, vai além da formulação kantiana original, incorporando os avanços trazidos pelas geometrias não euclidianas e pelos espaços topológicos de n dimensões.

Para Mormann, é a relação de subordinação do espaço físico ao espaço intuitivo, mencionada mais acima, que implica que o espaço intuitivo de Carnap está baseado em uma versão modificada da noção kantiana de espaço sintético a priori:

A relação de subordinação entre os espaços intuitivo e físico implica que a cognição do espaço físico se baseia em uma versão modificada de um sintético a priori kantiano que determina seu componente intuitivo. Em contraste com Kant, contudo, esse novo a priori não se refere mais à estrutura euclidiana completa do espaço, mas apenas com a estrutura topológica subjacente. [...] Com base nessas diferenciações e modificações da abordagem original de Kant, Carnap defendeu a dissolução da disputa tradicional sobre a doutrina kantiana de que a cognição do espaço se baseia no sintético a priori da intuição espacial pura (Mormann, 2007, p. 47).

Para compreendermos a versão modificada do sintético a priori kantiano a que Mormann, ainda que superficialmente, se refere, é preciso nos atermos aos aspectos da teoria que são mantidos ou modificados, e aqueles que são descartados. Os seguintes aspectos são preservados: (i) noção de uma forma geral do espaço intuitivo que abarca todos os objetos da experiência; (ii) origem na intuição a priori dos axiomas da geometria pura; (iii) experiência do espaço físico em três

dimensões (com a diferença de que em Carnap é possível que ele tenha mais, sendo três dimensões o mínimo); (iv) subordinação do espaço físico pela intuição a priori do espaço. E os seguintes aspectos são agregados: (v) a intuição a priori do espaço está ligada à noção husserliana de apreensão das essências; (vi) a geometria não está ligada a uma intuição pura e a uma necessidade e universalidade apodíticas e, portanto, o espaço físico comporta métricas espaciais dos mais variados tipos, no qual a métrica euclidiana é apenas um modelo possível; (vii) o espaço físico é um tipo de espaço distinto da intuição a priori do espaço, representando uma teoria à parte.

É preciso salientar que (i) e (ii) são dois pontos centrais da “Estética transcendental” kantiana, e é bastante intrigante o fato de Carnap tentar defendê-los sem o apelo à intuição pura (vi), isso porque sua interpretação da “Estética” parece ser a de que a natureza da intuição pura do espaço é indissociável da métrica euclidiana, como se Kant estivesse querendo fazer do espaço geométrico euclidiano a forma pura de todos os objetos do conhecimento.⁴ Em função dessa interpretação, Carnap não viu outro caminho a não ser o de assimilar à sua teoria o conceito husserliano de intuição, pois nesse caso, ao menos no que diz respeito à sua leitura, a intuição a priori do espaço intuitivo aparece como subordinando o espaço físico, mas sem limitar a expansão do conhecimento do espaço físico única e exclusivamente a um espaço métrico necessário e universal, possibilitando a via de construção de outros espaços métricos legítimos para além do euclidiano.

O problema que vejo nesse ponto é que não parece correto afirmar que, para Kant, a intuição pura possui uma natureza semelhante à do espaço geométrico euclidiano. Em Kant, o acesso a uma intuição pura depende de que, a partir de um exercício mental, eliminemos de um objeto os conceitos do entendimento relacionados a ele e os

⁴ Michel Fichant (1999) aponta que inúmeros comentadores de Kant interpretaram a passagem dessa maneira, leitura a que pretendeu se opor em seu artigo.

atributos das sensações (Kant, [1787] 2001, B34-35). Como o espaço geométrico tem em si relacionados os conceitos do entendimento e do que Kant chama de imaginação produtiva (Kant, [1787] 2001, B203-204), então uma interpretação que identifique a intuição pura com o espaço geométrico parece bastante problemática. No artigo “Espaço estético e espaço geométrico em Kant”, Michel Fichant (1999) discute os erros dessa interpretação, relatando que o espaço estético, ou intuição pura, possui uma natureza pré-geométrica e na verdade até mesmo antagônica ao espaço geométrico.

Ainda que Carnap descarte, por assim dizer, a possibilidade da independência da intuição pura kantiana do espaço geométrico, o que poderia ter impactado no resultado de seu trabalho — o que, inclusive, vale à pena se explorar mais a fundo — ele ainda defende, assim como Kant, que as geometrias são fundamentadas por axiomas intuitivos que não possuem origem na experiência, com a diferença que sua forma mais geral deixa de ser a intuição pura e passa a ser o espaço intuitivo topológico n -dimensional.

Em Kant, o aspecto da origem na intuição sensível para os axiomas da geometria é uma tese aprofundada na seção “Axiomas da intuição”, na *Crítica da razão pura*, em que Kant, a partir de um exemplo da produção das retas na imaginação produtiva, defende o uso irremissível da intuição:

Não posso ter a representação de uma linha, por pequena que seja, se não a traçar em pensamento, ou seja, sem produzir as suas partes, sucessivamente, a partir de um ponto e desse modo retraçar esta intuição. [...] Sobre esta síntese sucessiva da imaginação produtiva na produção das figuras se funda a matemática da extensão (geometria), com seus axiomas, que exprimem as condições da intuição sensível *a priori*, únicas que permitem que se estabeleça, subordinado a elas, o esquema de um conceito puro do fenômeno externo, como este, por exemplo: entre dois pontos só é possível uma linha reta; ou este: duas linhas retas não circunscrevem um espaço etc. Trata-se de axiomas que verdadeiramente se referem apenas a grandezas (*quanta*) como tais (Kant, [1787] 2001, B203-204).

6 Considerações finais

Visando garantir uma origem a priori para os axiomas da geometria pura, ou seja, da relação fundamental dos conhecimentos geométricos com a experiência do mundo físico, Carnap opta por revogar à geometria euclidiana o título de ciência apodítica dado por Kant, sem limitar, por conseguinte, o conhecimento do espaço físico a uma determinada estrutura métrica. Esse atributo da teoria neokantiana do espaço intuitivo possibilita que não apenas a geometria euclidiana tenha uma origem na intuição, mas também as geometrias não euclidianas, as quais, igualmente à geometria euclidiana, passam constituir a natureza do espaço intuitivo.

A título de curiosidade, seguindo essas definições, ainda que logicamente a geometria euclidiana necessariamente tenha de perder o posto de ciência apodítica, parece questionável impedir ao espaço intuitivo topológico n -dimensional sua ligação com a intuição pura kantiana, o que, se fosse possível, corresponderia a uma perda menos significativa para o inteiro fim da “Estética transcendental”.

Ainda que considere esse último ponto como uma questão em aberto, ao menos o aspecto das conciliações feitas por Carnap, que como vimos buscou organizar o debate sobre os tipos de espaço existentes, parece obter uma resposta mais sólida em direção a um consentimento quanto às suas referências primárias.

Em síntese, o que Mormann chama de “descrição kantiana-husserliana do espaço intuitivo”⁵, que aqui denomino teoria neokantiana do espaço intuitivo, parece dar novo vigor à teoria kantiana no campo da filosofia do espaço, além de representar uma tentativa interessante de conciliação entre Kant e o advento da Teoria da Relatividade Geral.

⁵ “Se essa explicação kantiana-husserliana do espaço intuitivo é realmente viável ou não, é difícil dizer, já que Carnap não é muito claro a esse respeito. Pode-se, com razão, duvidar se a *reine Anschauung* de Kant pode ser equiparada à *Wesenserschauung* de Husserl, como Carnap quer nos fazer acreditar” (Mormann, 2007, p. 47-48).

Sua análise poderia ter rendido um debate mais significativo na história recente, não fosse o abandono de Carnap de seus escritos iniciais no início de 1920.⁶

Referências

- BOI, L. From Riemannian geometry to Einstein's general relativity theory and beyond: space-time structures, geometrization and unification. In: Alimi, J.-M.; Füzfa, A. (orgs.). *Albert Einstein Century International Conference*. AIP Conference Proceedings v. 861. Melville (NY): American Institute of Physics, p. 1066-75, 2006.
- CARNAP, R. Space: a contribution to the theory of science. Trad. M. Friedman; P. Heath. In: CREATH, R. (org.). *The collected works of Rudolf Carnap*. Vol. I: *Early Writings*. Orgs. A. W. CARUS et al. New York: Oxford University Press, p. 172-208, 2019. Originalmente publicado nos cadernos adicionais da *Kant-Studien*, v. 56, 1922.
- CARNAP, R. *Logical syntax of language*. Trad. A. Smeaton. London: Routledge, 1937. Original em alemão: 1934.
- COFFA, A. *The semantic tradition from Kant to Carnap: to the Vienna station*. Org. L. Wessels. New York: Cambridge University Press, 1991.
- EINSTEIN, A. *A teoria da relatividade: sobre a teoria da relatividade especial e geral*. Trad. S. Levy. Porto Alegre: L&PM, 2023. Original em alemão: 1920.
- EINSTEIN, A. Geometria e experiência. Trad. V. A. Bezerra. *Scientiæ Studia*, São Paulo, v. 3, n. 4, p. 665-75, 2005. Original em alemão: 1921.
- FICHANT, M. Espaço estético e espaço geométrico em Kant. Trad. G. A. Almeida. *Analytica – Revista de Filosofia*, Rio de Janeiro, v. 4, n. 2, p. 11-32, 1999.
- FRIEDMAN, M.; CREATH, R. (orgs.). *The Cambridge companion to Carnap*. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.

⁶ O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001. Além disso, este capítulo faz parte da pesquisa da dissertação em andamento do autor.

- HUSSERL, E. *A crise das ciências europeias e a fenomenologia transcendental: uma introdução à filosofia fenomenológica*. Trad. D. F. Ferrer. Rio de Janeiro: Forense Universitária, 2012. Original em alemão: 1954.
- KANT, I. *Crítica da razão pura*. Trad. M. Santos; A. Morujão. 5ª ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 2001. Original da 2ª edição em alemão: 1787.
- LORENTZ, H. A.; EINSTEIN, A.; MINKOWSKI, H. *Textos fundamentais da Física Moderna*, vol. I: *O princípio da relatividade*. Trad. M. J. Saraiva. 6ª ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 2014. Original em alemão: 1913. (Texto de H. Weyl adicionado em 1921.)
- MORMANN, T. Geometrical leitmotifs in Carnap's early philosophy. In: FRIEDMAN, M.; CREATH, R. (orgs.). *The Cambridge companion to Carnap*. Cambridge: Cambridge University Press, p. 43-64, 2007.
- RYCKMAN, T. Carnap and Husserl. In: FRIEDMAN, M.; CREATH, R. (orgs.). *The Cambridge companion to Carnap*. Cambridge: Cambridge University Press, p. 81-105, 2007.

Henri Poincaré e Karl Popper: entre a verdade matemática e a verossimilitude¹

Onofre Crossi Filho²

DOI: <https://doi.org/10.58942/eqs.207.05>

1 Introdução

No presente capítulo, falamos sobre a verdade intrínseca às teorias físicas, adotando uma perspectiva inter-epistêmica ao comparar os conceitos de verdade presentes nas epistemologias da ciência de Henri Poincaré (1854-1912) e de Karl Popper (1902-1994), respectivamente, a Verdade Matemática (doravante VM) e a Verossimilitude (ou Verossimilhança).

Por um lado, a VM, segundo a concepção poincareana, é a única verdade possível nas teorias físicas e, embora seja exata, seu alcance empírico é limitado pelo discurso teórico explicativo que a originou; assim, o aprimoramento da teoria ou sua substituição por outra melhor tende a ampliar seu alcance empírico e sua precisão. Por outro lado, a tese associada ao conceito popperiano de Verossimilitude, diante do aprimoramento ou da sucessão entre teorias físicas, defende a condição permanente de aproximação à “verdade última”, enquanto meta ideal

¹ Este capítulo, do âmbito da Filosofia da Física, tem raízes no embasamento epistêmico do artigo Crossi & Nunes da Costa (2024), cujo objetivo original visou facilitar a compreensão da construção do conhecimento no Ensino de Ciências.

² Mestre em Filosofia (Epistemologia), Doutorando do Curso de Pós-Graduação em Ensino de Ciências do Instituto de Física na Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – PPGEI / INFI / UFMS. Bolsista CAPES/Brasil. E-mail: onofre.crossi@ufms.br

a ser perseguida. Para além do contexto filosófico em questão, Popper defende, ainda, a argumentação crítica racional na esfera do esforço coletivo em torno da avaliação da veracidade e credibilidade dos possíveis avanços científicos, como um aparente elemento social presente na Construção do Conhecimento na Física (doravante CCF).³

No presente capítulo, visamos explorar a CCF mediante a intersecção de perspectivas epistêmicas distintas confrontadas com a possível *verdade científica*⁴ presente: (1) nas teorias da Física; (2) na matemática inerente às teorias da Física.

Inicialmente, vamos expor como Popper e Poincaré concebem a possível verdade presente nas teorias científicas visando a CCF, segundo as convicções filosófico-científicas específicas de cada autor. Em seguida, faremos uma comparação crítica entre essas concepções de CCF, destacando suas consequências e características marcantes.

2 Poincaré e a verdade necessária à CCF

Segundo Henri Poincaré, não é possível alcançar racionalmente como as coisas do mundo *são*, pois, o entendimento humano está limitado às percepções de como elas *relacionam-se* (Poincaré, [1904] 1995, p. 167). Além disso, nossa percepção (órgãos dos sentidos) é limitada e imprecisa, motivo que nos obriga a construir ferramentas que aumentem nossa capacidade de mensurar, cada vez com maior precisão, as relações que se manifestam entre as coisas materiais externas ao

³ Adotamos a siglas específicas CCF, VM (Verdade Matemática) e VCH (Verdade Conceitual/Hipotética) por uma questão de conveniência, sem estabelecermos conexões com quaisquer outras referências acadêmicas anteriores.

⁴ Não adentramos à discussão filosófica sobre a essência da verdade, pois foge ao escopo deste ensaio. A verdade de que tratamos funda-se na lógica, na objetividade e na demonstração. Esses são os casos tanto da verdade matemática de Poincaré, quanto da verossimilitude pela via do falsificacionismo de Popper. A objetividade e os argumentos lógicos participam de ambas e, no caso de Poincaré, as demonstrações matemáticas são essenciais.

espírito racional (Poincaré, [1902] 1984, p. 36). Nesse contexto, o desenvolvimento científico-tecnológico exerce a função de melhorar o alcance de nossas percepções, aumentando a precisão experimental nas relações empíricas.

A matemática desempenha papel essencial nessa interminável aferição das relações naturais: a Verdade Matemática (VM) é a *única verdade que podemos alcançar* (Poincaré, [1904] 1995, p. 9). Historicamente, a matematização das teorias científicas ganha contornos demarcatórios a partir de Galileu Galilei (1564-1642), e definitivos a partir de Isaac Newton (1643-1727). Antes disso, a prevalência de argumentos qualitativos, nos estudos dos fenômenos da natureza, limitava a elaboração conceitual acurada. A VM representou um ganho significativo na aferição e na previsão de resultados experimentais. A incorporação definitiva da VM nas teorias da Física agregou a precisão às percepções, até então limitadas aos aspectos qualitativos da natureza.

Porém, não é possível transferir a íntegra da exatidão e certeza das relações matemáticas para as relações empíricas. Da perspectiva de Poincaré, a verdade nas teorias da Física depende da solução de dois problemas: (1) a fundamentação da VM e (2) como transferir a VM a tais teorias.

Quanto aos fundamentos da VM (1), os princípios racionais (de recorrência e não-contradição) garantem a verdade das operações aritméticas, pois são juízos sintéticos *a priori* (conceito kantiano interpretado sob um contexto poincareano), ou seja, são verdades anteriores a qualquer experiência, mas que a *intuição*⁵ do espírito racional

⁵ Pode-se argumentar, num contexto acadêmico, que Kurt Gödel provou que qualquer conjunto de axiomas da aritmética que seja consistente não será completo, ou seja, haverá sempre proposições que não podem ser demonstradas (nem como sendo verdadeiras, nem falsas). Tal incompletude da aritmética não invalida a VM, mas limita sua prova lógica, tornando-a inconclusiva, porquanto incompleta. Contudo, segundo o *Dicionário de Filosofia de Cambridge* (Posy, 2006, p. 364-365), o próprio Gödel propôs a existência de uma faculdade não-sensória especial da *intuição matemática* responsável por proposições formalmente independentes de outros ramos da matemática (como a

reconhece como verdadeiras (Poincaré, [1902] 1984, p. 21-29). Além disso, por meio do *raciocínio por recorrência*, essa mesma intuição apropriou-se das verdades aritméticas (propriedades das operações) para criar e propagar a construção da matemática sobre suas próprias bases, ao passo que o *princípio racional de não-contradição* verifica cada etapa, garantindo a certeza de sua veracidade (Poincaré, [1902] 1984, p. 28-29).

Nesse infindável percurso, de criação (intuitiva) e verificação (lógica), a intuição é a faculdade humana responsável pela criação de novas relações com base nas anteriores — o *princípio de recorrência* —, enquanto a lógica é a faculdade responsável pela constante verificação silogística de cada nova etapa da construção matemática, por meio da *não-contradição*.

Os procedimentos da *indução*, segundo Poincaré, estão presentes tanto na *indução completa* (também chamada de *indução matemática* ou *demonstração por recorrência*) quanto na *indução física* (empírica). Entretanto, a indução matemática é uma verdade conquistada e reconhecida pelo espírito racional de modo permanente, enquanto a indução física “é sempre incerta porque se baseia na *crença* de uma ordem geral do Universo, ordem que está fora de nós” (Poincaré, [1902] 1984, p. 29, *italico* nosso).

Chegamos, assim, ao problema (2) da transferência da VM à Física. Essencialmente, isso se dá por meio de sucessivas *analogias*. Inicialmente, criamos o *contínuo matemático n-dimensional* (Poincaré, [1902] 1984, p. 33-42), que analogamente pode representar quaisquer relações do contínuo físico. O passo seguinte é a criação de *geometrias* (euclidianas e não-euclidianas) analiticamente intrínsecas ao contínuo matemático (Poincaré, [1902] 1984, p. 45-67). Essa construção matemática

lógica, por exemplo). Nesse sentido, Schultz (2014, p. 49-54) aborda a perspectiva de Gödel sobre a *intuição matemática enquanto percepção racional*. Ou seja, por essa via argumentativa, somente a intuição pode sustentar a VM, lembrando que Poincaré foi um matemático intuicionista.

permite que quaisquer movimentos de corpos físicos (idealizados e geometrizados) tornem-se matematizáveis, conservando o rigor e a exatidão próprios da Matemática e estabelecendo uma ligação efetiva com a Física. Os *princípios físicos*, enquanto definições (Poincaré, [1902] 1984, p. 90) matematizáveis, consolidam os vínculos entre tais ciências.

Nesse percurso racional atemporal fundamentamos a VM, construímos *relações matemáticas análogas às relações da Física*, criamos condições para matematizar as regularidades empíricas e transferimos a verdade do âmbito racional (abstrato e exato) para o âmbito material (empírico e incerto). Contudo, a *exatidão* é uma característica matemática (Poincaré, [1908] 1914, p. 32) que é inalcançável na Física. Entretanto, quanto melhores forem as analogias entre as relações matemáticas e as relações da Física, maior a *precisão* empírica de uma teoria física.

Segundo Poincaré, quando relações matemáticas são aplicadas às teorias da Física e constatadas nas regularidades naturais, encontramos impressa na realidade objetiva uma harmonia universal. Nesse contexto, a VM inerente ao espírito racional pode ser percebida e constatada nas relações materiais (empíricas) do universo que o cerca (Poincaré, [1904] 1995, p. 170).

Dessa perspectiva, uma teoria física mostra-se bem-sucedida quando é capaz de correlacionar regularidades naturais (constatadas por meio da indução física) e relações matemáticas (construídas por meio da indução completa), tornando possível explicar e prever, tanto no âmbito *discursivo* quanto *matematicamente*, a ocorrência de eventos naturais regulares. Deve haver, portanto, uma coesão entre duas linguagens objetivas necessárias à elaboração de teorias da Física: (1) o *discurso* inteligível que organiza a interpretação das percepções advindas das relações materiais experimentais e (2) a *matemática* enquanto linguagem abstrata que expressa relações racionais verdadeiras (Poincaré, [1904] 1995, p. 164-70). O discurso elenca os elementos conceituais/hipotéticos das teorias da física, e a matemática mensura e ordena suas relações.

A elaboração de relações matemáticas (e geométricas) “*sob medida*” para as relações empíricas regulares pretende transferir a VM à teoria física, condicionando a primeira à segunda. Desse modo, embora as relações matemáticas sejam exatas e verdadeiras, elas estão sempre circunscritas aos limites impostos pela interpretação das relações empíricas que as originaram. Ou seja, as relações matemáticas de uma teoria física são moldadas sobre uma *base interpretativa* obtida de percepções (sempre limitadas) e usadas para organizar um conjunto de relações naturais regulares. Logo, ao aprimorarmos as interpretações das regularidades naturais é, também, possível *ampliar a VM*. Isso explica, por exemplo, continuarmos utilizando a equação gravitacional de Newton, mesmo que a Física Relativista de Einstein tenha uma abrangência maior, seja mais precisa e melhor aceita pela comunidade científica atual.

Ocorre que, segundo de Meneses (2008, p. 149),

[...] gnoseologicamente, existe uma complementaridade entre as noções de ‘gravitação’, sendo a mais geral e universal enumerada por Einstein, porque a equação de Newton se encontra englobada na formulação gravítica moderna, expressa pelo cálculo tensorial”.

Assim, mesmo que seus elementos ontológicos discursivos sejam incompatíveis, a VM de Newton permanece como um caso limitado e específico da VM de Einstein, cuja *abrangência* e *precisão* são bem maiores. John Worrall (1989) vai além e defende um modelo recorrente entre teorias que se sucedem por ampliação da VM, cujo “padrão mais comum é que as equações anteriores reapareçam como casos limitados da nova teoria” e, desse modo, “as equações antigas e novas são estritamente inconsistentes, mas a nova tende para a antiga como uma grandeza tende a um limite” (Worrall, 1989, p. 120). Por esse viés, a CCF se dá por *ampliação*, tanto conceitual/hipotética quanto das relações matemáticas, aumentando também a *precisão* das teorias da Física a cada nova etapa. Quando novas condições experimentais ampliam as

anteriores, novas relações podem ser observadas e medidas, aumentando o detalhamento do discurso conceitual/hipotético que, por sua vez, exige a criação de relações matemáticas ainda mais abrangentes e, consequentemente, ampliando também a VM entre teorias.

3 Karl Popper e a verdade como meta ideal para a CCF

A solução que Karl Popper propõe para o *problema da indução*, analisado da perspectiva de David Hume (1711-1776), fornece a origem e a base lógica para o *conceito popperiano de verdade científica*. Para desenvolver seu principal argumento, Popper se apoia sobre o problema lógico inerente ao argumento de Hume ([1748] 1972), questionando: “Pode a alegação de que uma teoria universal explicativa é verdadeira ser justificada por ‘razões empíricas’; isto é, admitindo a verdade de certas asserções de teste ou asserções de observação (que, pode-se dizer, são ‘baseadas em experiência’)?” (Popper, [1972] 1975, p. 18). Popper confirma que sua resposta a essa questão é a mesma de Hume: “Não, não pode. Nenhuma quantidade de asserções de teste verdadeiras justificaria a alegação de que uma teoria universal explicativa é verdadeira”. Entretanto, na sequência, Popper amplia essa generalização: “Pode a alegação de que uma teoria universal explicativa é verdadeira, ou é falsa, ser justificada por ‘razões empíricas’; isto é, pode a admissão da verdade de asserções de teste justificar a alegação de que uma teoria universal é verdadeira, ou a alegação de que é falsa?” (Popper, [1972] 1975, p. 18, *itálicos nossos*).

Nesse contexto a resposta de Popper assume outra posição: “Sim, a admissão da verdade de asserções de teste às vezes nos permite justificar a alegação de que uma teoria universal explicativa é falsa” (idem). Ou seja, segundo Popper, *podem ocorrer resultados obtidos da experiência que negam uma teoria científica*. Assim, se a experiência não pode conferir veracidade à teoria, por outro lado, ela pode *falseá-la*.

Esse é o argumento lógico do *falsificacionismo popperiano* que fundamenta a *verdade científica como meta ideal*. É a partir deste argumento que Popper estabelecerá os critérios necessários para a verdade científica:

- Se não podemos confirmar teorias como definitivamente verdadeiras, somente refutá-las, logo, “o critério que define o campo da ciência é a *falseabilidade*” (Popper, [1934] 1974, p. 82, *itálicos nossos*).

- A ideia de verdade ocupa a função de um objetivo ideal a ser perseguido e, portanto, os esforços devem concentrar-se na busca de uma *aproximação cada vez maior da verdade*. A ciência visa à verdade no sentido de correspondência: com fatos (1) *ou* com a realidade (2); em ambos os casos, por exemplo, a Teoria da Relatividade é melhor aproximação da verdade do que a teoria de Newton, tal como esta última é melhor aproximação da verdade que a teoria de Kepler (Popper, [1972] 1975, p. 65). Este é o conceito da proximidade da verdade ou *Verossimilitude*.⁶

- O autor defende que a ideia de verdade como correspondência com os fatos⁷ tornou possível a crítica racional em torno da verdade na ciência. Porém, o que nos permite explicar o crescimento integrativo da árvore do conhecimento (Popper, [1972] 1975, p. 240-41) é o objetivo de chegar mais perto da verdade (por Verossimilitude) e, conseqüentemente, ampliá-la.

- As teorias são transferidas, não como dogmas, mas, acompanhadas por um desafio para que sejam discutidas e, se possível, aperfeiçoadas (Popper, [1963] 1972, p. 80).

- Afirmar uma teoria é, simplesmente, emitir uma opinião. Assim, *não há uma irrefutabilidade* perene da teoria que a torne verdadeira para sempre. Logo, devemos encarar “todas as leis ou teorias como

⁶ Popper ([1998] 2014) resgata, nos tópicos 5 e 6 do Ensaio 2, uma abordagem sobre as origens históricas do conceito de verossimilitude na Grécia Antiga.

⁷ Presente no Livro Gama da *Metafísica* de Aristóteles (2007) e também trabalhada por Tarski (2007).

hipotéticas ou conjecturais, isto é, como suposições” (Popper, [1972] 1975, p. 20).

- É por meio de conjecturas e refutações, transitando de velhos problemas para novos problemas, que ocorre o crescimento do conhecimento, seja científico ou geral. Logo, a *objetividade na ciência* é resultado de um *esforço coletivo*, da *discussão intersubjetiva* das teorias e do debate crítico, aberto e rigoroso. Essa ideia, que tem origem na Grécia Antiga, fundamenta a tradição racionalista ocidental, é uma *tradição de discussão crítica* — o exame e o teste de proposições ou teorias, na tentativa de refutá-las (Popper, [1963] 1972, p. 384).

- A ciência como busca da verdade permite-nos afirmar que, apesar da nossa falibilidade, esperamos aprender com os erros no pleno exercício da crítica racional, possibilitando a *discussão racional* — a procura por erros com a intenção séria de eliminá-los ao máximo, para que possamos nos aproximar da verdade. A *falibilidade* implica uma *verdade objetiva*, considerada como padrão que podemos não atingir (Popper, [1963] 1972, p. 255).

- *A teoria de Newton é uma aproximação da verdade, ainda que seja falsa*, por causa do tremendo número de consequências verdadeiras interessantes e informativas que contém: *seu conteúdo de verdade é muito grande* (Popper, [1972] 1975, p. 61).

Popper evidencia o caráter provisório que as teorias assumem, visando a interminável aproximação da verdade para a CCF. O reconhecimento da falibilidade teórica implica diretamente no empenho pela busca de testes rigorosos e, conseqüentemente, na ampliação das condições de realização dos experimentos. Nesse sentido, o falseamento da teoria, enquanto critério objetivo, é a própria condição necessária para o crescimento da ciência, já que, encontrada uma falha, se abrem novas possibilidades teóricas, tanto no sentido do aperfeiçoamento, quanto no contexto da substituição integral da teoria.

Além disso, adentrando a um aspecto de debate social, Popper enfatiza a atitude que deve nortear a comunidade científica, atribuindo

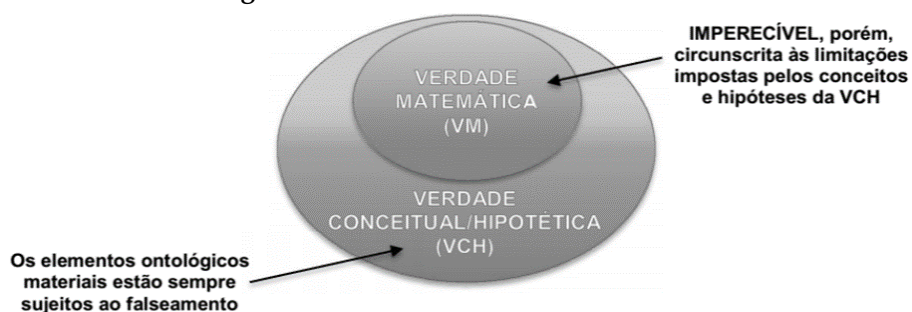
as conquistas da ciência a essa predisposição histórica em torno da discussão racional. Segundo o autor, essa se mostra uma iniciativa espontânea que visa a escolha entre as melhores teorias e, simultaneamente, a elaboração e execução de testes experimentais, constantes e rigorosos, que coloquem à prova as teorias reconhecidas como melhores.

4 Poincaré & Popper: comparando concepções da verdade científica

A VM é o conceito poincareano de verdade única, presente em cada teoria física e que tende a expandir-se com a sucessão entre teorias. Já o conceito popperiano de Verossimilitude, diante da sucessão entre teorias da Física, defende a condição permanente de aproximação da verdade última, enquanto meta ideal. Assim, por exemplo, na visão poincareana, a VM de Einstein é mais ampla que a VM de Newton e isso é perfeitamente normal, pois a equação de Newton é um “subconjunto” do cálculo tensorial de Einstein (*cf.* De Meneses, 2008, p. 149). Além disso, do ponto de vista popperiano, a verdade da teoria de Einstein está mais próxima da “verdade ideal” do que a de Newton (que foi falseada). Qual é a relação entre estes conceitos?

Entendemos que a Verossimilitude de Popper explora uma visão oposta complementar da VM poincareana, pois, o discurso conceitual/hipotético contido nas teorias da Física, quando falseado, pode ser aprimorado ou substituído, podendo, então, se aproximar da verdade através de um discurso melhor. Sob essa perspectiva, a Verdade Conceitual/Hipotética (daqui por diante VCH) contém uma parte inevitavelmente perecível, enquanto a VM poincareana, que também integra a VCH, é necessariamente perene e imperecível (veja a Fig. 1).

Figura 1 – A Teoria Científica: VM e VCH



Fonte: autoria própria, 2024.

A VM está contida na VCH porque o conjunto da teoria física abrange tanto a base interpretativa das relações empíricas no discurso conceitual/hipotético, quanto as relações matemáticas que as ordenam. Na VCH sempre estarão presentes, além da VM, elementos da pretensão humana em descrever o mundo empírico como ele *é*, ou seja, seus *elementos ontológicos*. Tais elementos, segundo Poincaré, são hipóteses indiferentes de frágil sustentação teórica (Poincaré, [1902] 1984, p. 123-24; Heinzmann, 2009, p. 173-74; Crossi Filho, 2012, p. 55-57).

Como vimos, embora a VM seja permanente, só pode ser expandida por meio da ampliação (aprimoramento ou substituição) da VCH, pois a VM está condicionada às relações empíricas descritas na base interpretativa da teoria, devendo refleti-las de modo fiel. Assim, para expandir a VM é necessário ampliar a VCH. Da perspectiva de Popper, a VCH é uma pseudoverdade, um degrau perecível na escada da CCF, cujo falseamento possibilita a construção de um novo degrau para a Verossimilitude. Logo, se para Poincaré, a VM é permanente e limitada, para Popper, a Verossimilitude é uma meta ideal inalcançável, porém, cada vez mais próxima. A condição comum que permite tanto a Verossimilitude de Popper quanto a expansão da VM de Poincaré é a ampliação da VCH. Contudo, somente a versão epistêmica de Poincaré constrói a coesão necessária entre as ciências presentes nas teorias da Física para justificar a CCF.

Além disso, observando por um viés sociológico, se por um lado encontramos em Poincaré a construção racional coletiva e atemporal da VM (já que se desenvolveu em diferentes locais, épocas e culturas, estando presente em todo ser humano⁸), por outro lado, se nos afixarmos ao contexto da escolha entre teorias, ao aprimoramento ou à substituição de uma dada teoria, encontramos um componente social presente e ativo na construção da VCH em Popper. O argumento popperiano do esforço coletivo, da discussão intersubjetiva das teorias e do debate crítico, aberto e rigoroso, enaltece a tradição racionalista ocidental da discussão crítica e a ideia de que nossas melhores teorias podem, no máximo, se aproximar da verdade, impulsionando a crítica racional para o aprimoramento das possibilidades experimentais e teóricas. Logo, a VCH (segundo a visão de Popper) está essencialmente ligada à iniciativa do debate racional pela via da busca consensual, tanto no contexto científico quanto no meio social, uma clara valorização do debate social ativo e participativo no interior das sociedades.

5 Considerações finais

Em função da amplitude do tema, embora este ensaio teórico seja excessivamente sintético, acreditamos ter ilustrado de modo introdutório o poder explicativo que essa e outras combinações epistêmicas podem proporcionar ao estabelecer conexões que justifiquem a CCF. Nesse sentido, visando indicar fontes fidedignas que possam aprofundar e fundamentar as bases epistêmicas de Henri Poincaré e de Karl Popper, bem como a intersecção que aqui propusemos, indicamos a leitura de Crossi Filho (2012, 2013, 2020), Rufatto (2008), Heinzmann (2009), Poincaré ([1902] 1984, [1904] 1995, [1908] 1914, 2008) e Popper ([1934] 1974, [1970] 1979, 1978, [1998] 2014).

⁸ Em *Tópicos*, VI, 142b, Aristóteles (1973) caracteriza o ser humano como “a criatura que sabe contar”.

Pensando especificamente no vínculo que a Física mantém com a Matemática, entendemos que o intuicionismo matemático poincareano oferece a justificativa racional da VM que contorna com habilidade o obstáculo lógico interposto por Gödel com seus Teoremas da Incompletude (ver nota de rodapé nº 5). Além disso, o uso recorrente da VM nas demais ciências naturais enfatiza a importância do desenvolvimento matemático para o pesquisador da Física e no contexto do próprio desenvolvimento do conhecimento humano. Nesse sentido, para um aprofundamento no tema, indicamos a leitura de Crossi Filho (2012, p. 11-29; 2020), Poincaré ([1902] 1984, [1908] 1914), Granger (1993) e Schultz (2014).

Agradecimentos

Somos gratos à CAPES, cujo apoio financeiro de bolsa de doutorado tornou possível este trabalho de pesquisa.

Referências

- ARISTÓTELES. *Tópicos*. In: Os Pensadores. Trad. L. Vallandro; G. Bornheim. São Paulo: Abril Cultural, p. 7-158, 1973.
- ARISTÓTELES. *Metafísica. Livros IV e VI*. Trad. L. Angioni. Clássicos de Filosofia: Cadernos de Tradução, nº 14. Campinas: IFCH/Unicamp, 2007.
- CROSSI FILHO, O. A matemática como propedêutica e epistemologia nas filosofias de Platão e Poincaré. In: SUÑOL, V.; BERRÓN, M. (orgs.). *Educación, Arte y Política en la Filosofía Antigua: Actas del IV Simposio Nacional de la AAFA*. Santa Fe: Asociación Argentina de Filosofía Antigua, p. 185-192, 2020. Disponível em: <https://aafa.org.ar/archivos/4simpaafa-actas.pdf>
- CROSSI FILHO, O. O convencionalismo de Poincaré e a preservação da continuidade na evolução das teorias científicas. In: CARVALHO, M.; FIGUEIREDO, V. (orgs.). *Filosofia contemporânea: lógica, linguagem e ciência*. São Paulo: Associação Nacional de Pós-Graduação em Filosofia, p. 631-639, 2013. Disponível em: <https://anpof.org/wlib/arqs/publicacoes/75.pdf>
- CROSSI FILHO, O. *A epistemologia da ciência de Henri Poincaré: para além do convencionalismo e do realismo estrutural*. 2013. Dissertação de Mestrado em

Filosofia – Faculdade de Filosofia, Universidade São Judas Tadeu, São Paulo, 2012. Disponível em: <https://pergamum.animaeducacao.com.br/pergamumweb58/vinculos/00000a/00000a0e.pdf>.

CROSSI FILHO, O.; NUNES DA COSTA, M. R. A. Poincaré e Popper no Ensino de Física: a construção do conhecimento na Física e a Verdade Matemática. In: *II Congresso de Ensino de Ciências, Educação Ambiental e Saúde: Anais*. Dourados: UEMS, p. 1-12, 2024. Disponível em: <https://static.even3.com/anais/822359.pdf?v=638931495274747202>.

DE MENESES, R. D. B. Significado ontológico da gravitação segundo Einstein: entre a métrica e a filosofia. *Eikasia: Revista de Filosofia*, Oviedo, n. 16, 2008, p. 119-49.

GRANGER, G.-G. Intuicionismo e verificação. *Discurso*, São Paulo, n. 20, 1993, p. 7-17.

HEINZMANN, G. Hypotheses and conventions in Poincaré. In: HEIDELBERGER, M.; SCHIEMANN, G. (orgs.). *The significance of the hypothetical in the natural sciences*. Berlin: Walter de Gruyter, p. 169-92, 2009.

HUME, D. *Investigação acerca do entendimento humano*. Trad. A. Aiex. São Paulo: Nacional/Edusp, 1972. Original em inglês: 1748.

POINCARÉ, Henri. *A ciência e a hipótese*. Trad. M. A. Kneipp. Brasília: Ed. da UnB, 1984. Original em francês: 1902.

POINCARÉ, Henri. *O valor da ciência*. Trad. M. H. F. Martins. Rio de Janeiro: Contraponto, 1995. Original em francês: 1904.

POINCARÉ, Henri. *Science and method*. Trad. F. Maitland. New York: Dover, 1914. Original em francês: 1908.

POINCARÉ, Henri. *Ensaios fundamentais*. Trad. V. Ribeiro. Rio de Janeiro: Contraponto, 2008.

POPPER, K. R. *A lógica da pesquisa científica*. 2ª ed. Trad. L. Hegenberg; O. S. Mota. São Paulo: Cultrix, 1974. Original em alemão: 1934.

POPPER, K. R. *Conjecturas e refutações: o progresso do conhecimento científico*. Trad. S. Barth. Brasília: Ed. da UnB, 1972. Original em inglês: 1963.

POPPER, K. R. A ciência normal e seus perigos. In: LAKATOS, I.; MUSGRAVE, A. *A crítica e o desenvolvimento do conhecimento*. Trad. O. M. Cajado. São Paulo: Cultrix / Edusp, 1979, p. 63-71. Original em inglês: 1970.

- POPPER, K. R. *Conhecimento objetivo: uma abordagem evolutiva*. Trad. B. M. Santos. Belo Horizonte: Itatiaia; São Paulo: Edusp, 1975. Original em inglês: 1972.
- POPPER, K. R. *Lógica das ciências sociais*. Trad. E. R. Martins, A. C. M. Acquarone F.; V. O. M. Silva. Biblioteca Tempo Brasileiro, v. 50. Brasília: Editora da UnB, 1978.
- POPPER, K. R. *O mundo de Parmênides: ensaios sobre o iluminismo pré-socrático*. Trad. R. Leal Ferreira. São Paulo: Ed. Unesp, 2014. Original em inglês: 1998.
- POSY, C. J. Filosofia da matemática. In: Audi R. (org.). *Dicionário de Filosofia de Cambridge*. 2ª ed. Trad. E. A. Royer et al. São Paulo: Paulus, 2006, p. 362-65.
- RUFATTO, C. A. *A crítica do conceito de verdade na filosofia da ciência de Karl Popper e o ensino de ciências*. 2008. Tese de Doutorado em Ensino de Ciências e Matemática – Faculdade de Ciências, Universidade Estadual Paulista (Unesp), Bauru, 2008. Disponível em: https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/102031/rufatto_ca_dr_bauru.pdf?sequence=1.
- SCHULTZ, S. Gödel, percepção racional e compreensão de conceitos. *Revista Latinoamericana de Filosofia*, Buenos Aires, v. 40, n. 1, p. 47-65, 2014.
- TARSKI, A. *A concepção semântica da verdade: textos clássicos de Tarski*. Trad. C. R. Baida, C. A. Mortari, J. P. Assis; L. H. A. Dutra. São Paulo: Ed. Unesp, 2007.
- WORRALL, J. Structural realism: the best of both worlds? *Dialectica*, London, v. 43, p. 99-124, 1989.

Questões à “interpretação da consciência processual” da Mecânica Quântica

Raoni Arroyo¹, Lauro de Matos Nunes Filho²

& Frederik Moreira dos Santos³

DOI: <https://doi.org/10.58942/eqs.207.06>

“Between the potency
And the existence
[...]
Falls the Shadow”

T. S. ELIOT, 1925, *The Hollow Men*, p. 128

1 Introdução

A *interpretação da consciência processual* (ICP), conforme desenvolvida em Arroyo (2024, cap. 5) e Arroyo, Nunes Filho & Moreira dos Santos (2024), propõe uma ontologia de processos como solução ao problema da medição da Mecânica Quântica. Este capítulo apresenta a interpretação padrão levada às últimas consequências ontológicas (§2),

¹ Docente do Programa de Pós-Graduação em Filosofia (PPGFil) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis-SC, e pesquisador associado do Centro de Lógica, Epistemologia e História da Ciência (CLE), Campinas-SP.

E-mail: rwarroyo@unicamp.br

² Pós-doutor no PPGFIL, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Professor de Filosofia da Universidade Aberta do Brasil (UAB/UFSC). E-mail: lmnf23@gmail.com

³ Pós-doutor CLE/Unicamp. Professor adjunto de Física e Filosofia no Centro de Ciência e Tecnologia em Energia e Sustentabilidade (CETENS), Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), Feira de Santana, BA. E-mail: fredsantos@gmail.com

apresenta a ICP (§3), e propõe reflexões a partir das questões levantadas à IPC na ocasião do XX Encontro da ANPOF, na sessão do GT de Filosofia das Ciências Físicas (§4).

2 A interpretação da consciência causal

O notório “problema da medição” representa um desafio significativo nos fundamentos da Mecânica Quântica, e não há consenso na literatura sobre se ele deve ser classificado como um problema científico ou filosófico (Albert, 1992). Grosso modo, o problema da medição se refere à dificuldade em explicar como o estado quântico, tendo como uma de suas características centrais o princípio da sobreposição (ou superposição), resulta em um estado definido após uma medição. Na Mecânica Quântica padrão, uma função de onda pode representar uma variedade de resultados potenciais, mas ao representar diversos estados possíveis, o processo pelo qual um desses resultados se concretiza, na prática, ao observarmos o sistema, permanece controverso. Esse processo é chamado de “colapso”, e questões acerca da sua causa têm sido matéria de debate por quase um século. A interpretação padrão assume que um estado definitivo surge apenas no momento da medição, sugerindo que o ato de observar tem uma participação direta na determinação da realidade do sistema. Esse fenômeno, no entanto, desafia explicações que buscam um entendimento claro do papel causal da observação no comportamento físico.

Levada às últimas consequências ontológicas, a Mecânica Quântica padrão afirma que o colapso ocorre por uma ação causal da consciência do observador (Wigner, [1961] 1983). Em outras palavras, no momento em que uma mente consciente realiza a observação, a superposição de estados é substituída por um único estado objetivo. Essa abordagem tenta fornecer uma solução ao problema da medição ao situar a consciência como o catalisador de um evento físico mensurável, atribuindo ao observador um papel essencial na determinação do

estado final. Seguindo Arroyo (2004, cap. 4), chamamos essa interpretação de “interpretação da consciência causal” (ICC).

A ICC, por sua vez, enfrenta uma séria crítica relacionada a uma questão clássica da metafísica e filosofia da mente, a saber, o dualismo mente-corpo. O dualismo tradicionalmente implica que a mente e o corpo são entidades fundamentalmente distintas, com a mente possuindo características não físicas que desafiam uma explicação causal nos termos da Física. Para que a consciência afete o estado físico de um sistema quântico, a ICC pressupõe, em certa medida, que a mente exerce um tipo de causalidade que transcende o que se pode reduzir a processos físicos (para detalhes, ver Arroyo; Arenhart, 2019). Essa posição, que adota uma perspectiva dualista, desafia a integração entre o que é mental e o que é físico, levando a perguntas sobre a natureza da causalidade e a interação entre diferentes níveis de realidade. De acordo com o diagnóstico traçado em Arroyo (2024, cap. 5) e Arroyo, Nunes Filho & Moreira dos Santos (2024), a raiz do problema da ICC está em considerar a consciência dentro do *tipo ontológico*⁴ de “substância”, no qual o problema do dualismo emerge.

3 A interpretação da consciência processual

Nossa proposta defende que uma interpretação da consciência baseada na categoria ontológica de processos fornece alternativa à ICC no que diz respeito ao papel da consciência no processo do colapso. Crucialmente, ela contorna as dificuldades associadas ao dualismo mente-corpo enfrentadas pela ICC. Nesse cenário alternativo, todos os processos se manifestam de modo inter-relacionado, eliminando a necessidade de um agente consciente externo e independente para iniciar o colapso quântico. Chamemos essa interpretação de “interpretação da

⁴ Ver Arroyo & Arenhart (2024) para uma discussão sobre tipos ontológicos.

consciência processual” (ICP), cuja significância deve ser ressaltada em oposição ao uso da categoria de substância.

A categoria ontológica de processos é um elemento amplamente utilizado por Johanna Seibt (2009) em sua crítica ao substancialismo. De acordo com a filósofa, a persistência da categoria de substância deve-se a certo apego histórico que temos à própria categoria.

A popularidade da ontologia da substância, por exemplo, não se deve às suas (bastante pobres) realizações explicativas, mas principalmente ao fato de que o termo técnico substância é a categorização de um termo-gênero do raciocínio de senso comum que entendemos agentivamente particularmente bem: coisas (Seibt, 2002, p. 60).

Seibt (2002) define o conceito de um processo a partir da perspectiva de que a realidade não precisa ser interpretada como uma sala repleta de entidades particulares esperando passivamente para serem descritas. Na verdade, a cruzada de Seibt contra o conceito de substância impulsiona sua ontologia em direção a uma ontologia descentralizada do substancialismo e seu parente imediato, o particularismo. O principal desafio que ela enfrenta é deixar de lado o particularismo sem perder o individualismo. Além disso, ela precisa superar outras dificuldades, como definir um processo como uma categoria bem fundamentada. Assim, Seibt propõe uma ontologia de processo na qual não há espaço para o conceito de substância, nem para o de particular. Por sua vez, ela defende que os processos são indivíduos concretos contáveis ou incontáveis. Com isso em mente, precisamos entender como é possível construir indivíduos que não são particulares, e como os indivíduos podem ser contáveis ou incontáveis.

Em primeiro lugar, Seibt (2009) defende que a individualização não pode ser reduzida à particularização. Por particularização, pode-se entender duas coisas; uma entidade definida em termos de alguma alocação no espaço e no tempo; ou uma entidade definida em termos de uma relação sujeito-predicado com propriedades bem determi-

nadas. Diferentemente dessa visão, ela sustenta que os indivíduos não precisam ser reduzidos nem à sua localização no espaço e no tempo nem à relação de dependência entre um sujeito e seus predicados (substancialismo). Ela argumenta que a concepção de que os indivíduos são individualizados por alguma *ecceidade* é incorreta.

Dessa forma, os particulares concretos são entidades semelhantes a coisas definidas principalmente na linguagem; por assim dizer, são entidades compactadas com limites e caracterizações bem conhecidas. Por outro lado, a ideia com processos é preservar a individualidade de vários tipos de entidades sem recorrer à particularidade. Por exemplo, um casamento é um processo contável individual que não é um particular como uma casa. Um casamento é algo que ocorre durante um intervalo de tempo em uma região do espaço, no entanto, não pode ser acumulado a ponto de ser considerado uma entidade única e pontualmente definida.

Assim como a ICP, a ICC é uma interpretação *ontológica* da Mecânica Quântica (em oposição às interpretações *epistêmicas*), segundo a qual os estados quânticos representam estados de coisas *no mundo*. A vantagem da ICP em relação à ICC é que ela permite um entendimento da consciência não como uma “substância” distinta, mas como uma dinâmica integrada ao próprio tecido da realidade quântica. Dessa forma, o ato de observação consciente e o colapso da função de onda seriam dois aspectos de um mesmo processo, coexistindo e interagindo sem exigir uma separação categórica entre mente e matéria. Em vez de recorrer ao dualismo, essa abordagem sustenta que o colapso da função de onda emerge naturalmente de interações que envolvem tanto o observador quanto o sistema observado, ambos compreendidos como partes de uma rede de processos em constante transformação.

Essa perspectiva processual oferece, portanto, uma solução mais parcimoniosa e ontologicamente unificada ao problema da medição, ao situar o papel da consciência dentro do fluxo da realidade física. Enquadrando a consciência como parte de uma estrutura dinâmica,

nossa proposta reduz a necessidade de um elemento externo à Mecânica Quântica para explicar o colapso, unificando a causalidade em um esquema contínuo que abrange ambos os fenômenos quânticos e a experiência consciente. Historicamente, uma interpretação desse tipo foi idealizada e sugerida por Abner Shimony e Shimon Malin,⁵ ainda que nenhum desses autores — nem qualquer outra pessoa, segundo nosso melhor conhecimento — levou a cabo a tarefa de especificar os detalhes de como seria uma interpretação desse tipo. Isso começou a ser feito em Arroyo (2024, cap. 5; ver também Arenhart, 2024) e Arroyo, Nunes Filho & Moreira dos Santos (2024).

4 Questões à IPC

A IPC foi apresentada para o GT de Filosofia das Ciências Físicas, na ocasião do XX encontro da ANPOF (2024), por Frederik Moreira dos Santos, e algumas questões foram levantadas. Nesta seção, as questões serão abordadas coletivamente.

Questão 1: Como se dá a relação entre o espaço e a atualização? O processo de atualização é a própria emergência do espaço? São sinônimos?

Questão 2: Estamos trocando o papel da consciência pelo papel do espaço como causa, ou não há sentido em dizer que o espaço é o causador do colapso?

Questão 3: Poderíamos descrever o surgimento dos padrões de interferência como uma relação entre as potencialidades e seus nexos? A interrelação entre propensidades com seus nexos criaria restrições para o espectro de possibilidades?

A ICP coloca como central a ideia de potencialidades e atualizações. De fato, na ICP, o problema da medição é traduzido para o problema da atualização das potencialidades. Se argumentássemos que a

⁵ Shimony (1961), Shimony & Malin (2006); ver a lista de referências em Arroyo (2024) e Arroyo, Nunes Filho & Moreira dos Santos (2024).

consciência é a *causa* da atualização das potencialidades, isso causaria (*sic!*), de imediato, uma tensão bastante conhecida: o retorno a uma ideia central da ICC, segundo a qual há um mecanismo pelo qual a consciência age causalmente. O problema dessa ideia, como apontado por Shimony e Hilary Putnam,⁶ é que esse mecanismo deve ser especificado — e, no entanto, não o é. Por esse motivo, a ICP traça outra rota, afastando-se da ideia de causalidade descendente ao tratar a consciência como um dos polos das entidades processuais, interdependente do polo físico, no *continuum* da experiência.

Visando escapar aos tradicionais dualismos ligados à dicotomia mente-corpo ou percepção e percebido, a ICP sustenta que a assim chamada “consciência” não é um polo separado ou superior ao ato de percepção. A consciência não se opõe a qualquer entidade, mas é, na verdade, um polo que emerge da própria atualização das entidades. Nesse sentido, a consciência não está sendo substituída, mas relida sobre uma nova perspectiva teórica alinhada à teoria de processos⁷.

A ICP soluciona, portanto, o problema da medição por outra via. Reminiscente da filosofia processual de Alfred N. Whitehead (1928), potencialidades não possuem existência espaço-temporal, ao passo que entidades atuais — que constituem a base ontológica da filosofia whiteheadiana — se atualizam por atos de autocriação. De acordo com a ICP, quanto maior for o grau de liberdade do sistema em questão, maior a tendência de esse sistema — outrora meramente potencial/superposto — colapsar/autocriar-se enquanto uma entidade atual. Essa característica faz com que a ICP se assemelhe às teorias de colapso espontâneo,⁸ o que a afasta da Mecânica Quântica padrão.

⁶ Para um estudo detalhado da controvérsia, ver Moreira dos Santos & Pessoa (2011).

⁷ Para o “novo” *locus classicus* da concepção fenomenológica no contexto quântico, ver French (2023); para um contraponto crítico, ver Arroyo & Nunes Filho (2018).

⁸ Ver Allori *et al.* (2021) para perspectivas contemporâneas sobre esse programa de pesquisa nos fundamentos da Mecânica Quântica.

Assim, pode-se dizer que o colapso, entendido como o ato de autocriação de entidades atuais, o que significa uma transição entre o potencial (não espaço-temporal) para a espaço-temporalidade, é análogo à emergência do espaço-tempo. De fato, ao considerar os graus de liberdade de um sistema, o que estamos assumindo, a depender da formulação — espaço de configuração ou espaço de fases — são as potencialidades do sistema, e não aquilo que é obtido no momento na medição. Formalmente, podemos tratar da medição apenas ao considerar a estrutura matemática (em geral uma variedade riemanniana) na qual o espaço e o tempo são caracterizados em dada teoria. A estrutura do espaço-temporal é o que caracteriza a atualização do dado dos fenômenos (ver Castellani, 1998).

Isso, no entanto, traz consigo uma séria dificuldade, não antecipada por nós em Arroyo (2024) e Arroyo, Nunes Filho & Moreira dos Santos (2024), que diz respeito à indeterminação metafísica quântica (*quantum metaphysical indeterminacy*).⁹ Suponha que eventos não-colapsados sejam meramente potenciais. Como parte da interpretação tardia de Heisenberg ([1958] 1995), estão em “*potentia*”. Como é bem conhecido, Heisenberg, em seus escritos tardios, introduz, nas palavras de Shimony (1983, p. 212) “[...] uma modalidade que se encontra entre a possibilidade lógica e a atualidade, que ele chama de ‘potentia’”. Como parte da interpretação whiteheadiana, não são entidades espaço-temporais; em suas próprias palavras: “as entidades atuais [...] tornam real o que anteriormente era apenas potencial” (Whitehead, 1928, p. 72). A ICP une ambos os aspectos. O problema disso está em explicar fenômenos de interferência. Notavelmente, como se observa em diversos fenômenos quânticos, como o experimento da fenda dupla (ver Pessoa, 2019, cap. 1), franjas de interferência são observadas nos anteparos de

⁹ Para uma discussão panorâmica sobre esse assunto, e uma lista com as referências fundamentais sobre o debate, ver Calosi & Mariani (2021).

detecção após uma série de detecções, mesmo havendo apenas uma entidade quântica (*e.g.*, um elétron) de cada vez no aparato.

A seguinte questão segue-se naturalmente: *por qual das fendas cada elétron passou individualmente?* Nossas quatro inferências básicas são falsas. É falso supor que o elétron passou por uma das fendas, por outra, por ambas, e por nenhuma delas (Albert, 1992). Diz-se então que o elétron passa *pela superposição das duas fendas*. Atribuir sentido físico a essa inferência ocupa grande parte da tarefa interpretativa nos fundamentos da Mecânica Quântica. No entanto, se entendermos, como a ICP parece sugerir, que a superposição é um evento fora do espaço-tempo, a interpretação carrega consigo o ônus de explicar como o fenômeno de interferência ocorre. De outro modo, é uma interpretação empiricamente inadequada.

Esse é um problema análogo às interpretações do tipo “*sparse view*” ou “*gappy*” acerca da indeterminação metafísica quântica, já que devemos supor que o elétron está *em algum lugar do espaço-tempo* para explicar o fenômeno de interferência. A *sparse view* é a interpretação segundo a qual, em situações de indeterminação (como de superposição, no caso de questões do tipo “qual fenda?”) os objetos simplesmente não possuem a propriedade; nesse caso, de localização. Não é que os objetos não possuam o valor da propriedade; o caso é que eles não possuem *a propriedade* em si (*e.g.*, não possuem posição). Já a abordagem “*gappy*” da indeterminação metafísica quântica diz que os objetos não possuem o valor (nesse caso, possui posição mas nenhum *valor* de posição). Ambas as interpretações enfrentam dificuldades de explicar o fenômeno — bem documentado — da interferência, e por isso são severamente criticadas. Ao que parece, a ICP deve ser criticada sob os mesmos critérios, caso queira-se manter uma visão ontológica dos estados quânticos.

Uma possível resposta está em considerar que a interação entre potencialidades poderia ter efeitos espaço-temporais, sem que, no entanto, sejam atualizadas. Isso requer uma modificação na ICP no que

diz respeito à estrita não-espaco-temporalidade do domínio ontológico das potencialidades. Nessa versão modificada, pode-se entender que uma entidade atual é não apenas espaço-temporal, mas *determinada*, ao passo que a indeterminação metafísica, característica da superposição, possa ser entendida em termos “*glutty*”, isto é, instanciando *mais de um valor* da propriedade (no caso, localização). Isso nos levaria fundo na metafísica da mereologia de multilocalização (Kleinschmidt, 2011; Calosi, 2022), sendo um campo aberto para futuras investigações da ICP. A relação entre teoria de processos e mereologia apresenta-se muito promissora, pois coaduna com vários aspectos formais do domínio quântico (Seibt, 2002). Por hora, essa indicação deve ser suficiente.

5 Considerações finais

Notavelmente, as respostas às questões levantadas nos levam para além daquilo que foi desenvolvido nos primórdios da ICP (Arroyo, 2024; Arroyo; Nunes Filho; Moreira dos Santos, 2024) — o que é de se esperar, já que se trata de uma interpretação (ou programa de pesquisa) em construção.

Agradecimentos

Pelas questões levantadas à IPC, na ocasião do XX Encontro da ANPOF, sessão P. 97, do GT de Filosofia das Ciências Físicas, agradecemos a Filipe Pamplona Nascimento Gonçalves, Eduardo Simões e Arthur Loiola Saraiva. Raoni Arroyo obteve financiamento dos processos nº 315067/2025-0 e nº 446478/2024-5, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), e do processo nº 2021/11381-1, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP).

Declaração de Contribuição dos Autores

As contribuições dos autores neste trabalho são descritas com base na taxonomia CRediT (*Contributor Roles Taxonomy*), conforme detalhado a seguir. Raoni Arroyo contribuiu com a Conceituação, a Metodologia, a Investigação e a Redação do Rascunho Original. Lauro de Matos Nunes Filho contribuiu com a Investigação e a Redação do Rascunho Original. Frederik Moreira dos Santos contribuiu com a Redação da Revisão e com a Edição.

Referências

- ALBERT, D. Z. *Quantum mechanics and experience*. Cambridge: Harvard University Press, 1992.
- ALLORI, V.; BASSI, A.; DÜRR, D.; ZANGHÌ, N. (orgs.). *Do wave functions jump? perspectives on the work of GianCarlo Ghirardi*. Cham: Springer, 2021.
- ARENHART, J. R. B. Resenha de “Consciência e mecânica quântica: uma abordagem filosófica”. *Princípios*, Natal, v. 31, n. 66, p. 293-304, 2024.
- ARROYO, R. *Consciência e Mecânica Quântica: uma abordagem filosófica*. São Paulo: Livraria da Física, 2024.
- ARROYO, R.; ARENHART, J. R. B. Between physics and metaphysics: a discussion of the status of mind in quantum mechanics. In: DE BARROS, J. A.; MONTEMAYOR, C. (orgs.). *Quanta and mind: essays on the connection between quantum mechanics and consciousness*. Cham: Springer, p. 31-42, 2019.
- ARROYO, R.; ARENHART, J. R. B. Quantum ontology de-naturalized: what we can't learn from quantum mechanics. *Theoria: an International Journal for Theory, History and Foundations of Science*, Espanha, v. 39, n. 2, p. 193-218, 2024.
- ARROYO, R.; NUNES FILHO, L. M. Underdeterminations of consciousness in quantum mechanics. *Principia*, Florianópolis, v. 22, p. 321-37, 2018.
- ARROYO, R.; NUNES FILHO, L. M.; MOREIRA DOS SANTOS, F. Towards a process-based approach to consciousness and collapse in quantum mechanics. *Manuscrito*, Campinas, v. 44, n. 1, e-2023-0047-R1, p. 1-40, 2024.

- CALOSI, C. There are no saints, or: quantum multilocation. *Grazer Philosophische Studien*, v. 99, n. 1, p. 30-49, 2022.
- CALOSI, C.; MARIANI, C. Quantum indeterminacy. *Philosophy Compass*, v. 14, n. 4, e12731, p. 1-15, 2021.
- CASTELLANI, E. Galilean particles: an example of constitution of objects. In: CASTELLANI, E. (org.). *Interpreting bodies: classical and quantum objects in modern physics*. Princeton: Princeton University Press, p. 181-94, 1998.
- ELIOT, T. S. The hollow men. In: *Poems, 1909-1925*. London: Faber & Faber, p. 121-28, 1925.
- FRENCH, S. *A phenomenological approach to quantum mechanics: cutting the chain of correlations*. Oxford: Oxford University Press, 2023.
- HEISENBERG, W. *Física e filosofia*. 3ª ed. Trad. de J. Leal Ferreira. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 1995. Original em inglês: 1958.
- KLEINSCHMIDT, S. Multilocation and mereology. *Philosophical Perspectives*, v. 25, p. 253-76, 2011.
- MOREIRA DOS SANTOS, F.; PESSOA Jr., O. Delineando o problema da medição na Mecânica Quântica: o debate de Margenau e Wigner versus Putnam. *Scientiae Studia*, v. 9, n. 3, p. 625-44, 2011.
- WHITEHEAD, A. N. *Process and reality: an essay in cosmology*. New York: Free Press, 1928.
- PESSOA Jr., O. *Conceitos de Física Quântica*. Vol. I. 4ª ed. São Paulo: Livraria da Física, 2019.
- SEIBT, J. Forms of emergent interaction in General Process Theory. *Synthese*, v. 166, p. 479-512, 2009.
- SEIBT, J. Quanta, tropes, or processes: ontologies for QFT beyond the myth of substance. In: KUHLMANN, M.; LYRE, H.; WAYNE, A. (orgs.). *Ontological aspects of quantum field theory*. Singapore: World Scientific, p. 53-97, 2002.
- SHIMONY, A. Shimony to Wigner on May 31, 1961. In: *Eugene Paul Wigner Papers*, Collection C0742, Box 83, Folder 7, Manuscripts Division, Department of Special Collections. Princeton: Princeton University Library, 1961.
- SHIMONY, A. Reflections on the philosophy of Bohr, Heisenberg, and Schrodinger. In: COHEN, R. S.; LAUDAN, L. (orgs.). *Physics, philosophy and psychoanalysis: essays in honor of Adolf Grunbaum*. Dordrecht: Reidel, p. 209-21, 1983.

- SHIMONY, A.; MALIN, S. Dialogue Abner Shimony – Shimon Malin. *Quantum Information Processing*, v. 5, n. 4, p. 261-76, 2006.
- WIGNER, E. Remarks on the mind-body question. In: WHEELER, J. A.; ZUREK, W. H. (orgs.). *Quantum theory and measurement*. Princeton: Princeton University Press, p. 168-181, 1983. Original: 1961.

Hume's "hypotheses non fingo"

Silvio Seno Chibeni¹

DOI: <https://doi.org/10.58942/eqs.207.07>

1 Introduction

In a deliberate effort to distance themselves from the mediaeval quibbles over apparently unsolvable issues, British modern philosophers promoted a general movement going from unfathomable metaphysical depths to the empirical surface. Thus, for instance, in an influential passage of the *Essay's* Introduction, John Locke says that in the book he declined to "meddle with the Physical Consideration of the Mind" and to trouble himself "to examine, wherein its Essence consists". He proposed, instead, to follow a "Historical, plain Method" by which "the discerning Faculties of a Man" are considered "as they are employed about the Objects, which they have to do with" (*Essay*, I.i.2). The same strategy of restricting the study of the mind to the empirical, phenomenological level is clearly adopted by Hume, being nicely expressed in two metaphors involving anatomy and geography:

He [the author of the *Treatise*] proposes to *anatomize human nature* in a regular manner, and promises to draw no conclusions but where he is authorized by experience. He talks with contempt of hypotheses; and insinuates, that such of our countrymen as have banished them from moral philosophy, have done a more signal service to the world, than

¹ Professor of the Departamento de Filosofia, Instituto de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Estadual de Campinas (Unicamp). E-mail: chibeni@unicamp.br

my Lord Bacon, whom he considers as the father of experimental physics. He mentions, on this occasion, Mr. Locke, my Lord Shaftesbury, Dr. Mandeville, Mr. Hutcheson, Dr. Butler, who, tho' they differ in many points among themselves, seem all to agree in founding their accurate disquisitions of human nature entirely upon experience (*Abstract*, 2).

'Tis now time to return to a more close examination of our subject, and to proceed in the accurate *anatomy of human nature*, having fully explain'd the nature of our judgment and understanding (*Treatise*, 1.4.6.23).

And if we can go no farther than this *mental geography*, or delineation of the distinct parts and powers of the mind, it is at least a satisfaction to go so far; and the more obvious this science may appear (and it is by no means obvious) the more contemptible still must the ignorance of it be esteemed, in all pretenders to learning and philosophy (*EHU*, 1.13).

The hearing of an articulate voice and rational discourse in the dark assures us of the presence of some person: Why? Because these are the effects of the human make and fabric, and closely connected with it. If we *anatomize all the other reasonings* of this nature, we shall find that they are founded on the relation of cause and effect, and that this relation is either near or remote, direct or collateral (*EHU*, 4.4).

Now, what anatomy and geography have in common is the fact that both are (or were, in Hume's time) *phenomenological* branches of science. In the same way that the anatomist seeks to describe the different parts and functions of the human body, Hume's moral scientist endeavours to delineate "the distinct parts and powers of the mind", leaving aside, in the initial and main stage of inquiry, any speculation as to conjectured, hidden mechanisms putatively responsible for these powers and phenomena.

The above quote from the *Abstract* introduces the central theme of this paper: Hume's apparently negative stance towards hypotheses. This is a much-debated issue in the Hume scholarship, about which a range of interpretive positions has been held. At one extreme, there is

view that Hume did in fact banish every kind of hypotheses from his philosophical project. This position is usually associated with the classical interpretation of Hume as having advocated a strictly regularist theory of causality, a phenomenological construal of bodies, the conception of mind as a mere flux of connected perceptions, etc.² Positive readings of Hume's remarks about hypotheses, however, are also found in the literature (see below, *passim*). On my part, I maintain that what Hume really meant with his negative statements was simply to signal the *epistemic priority* of the empirical level over hypothetical speculations about what would be going on beyond, or below that level. In this paper, I will not attempt to give a detailed, general justification for this claim. Instead, I will undertake the simpler task of surveying and commenting briefly a number passages in the *Treatise* and the first *Enquiry* in which Hume not only "talks of hypotheses", but also, apparently, does accept some of them, as useful, and perhaps indispensable, ways of explaining certain phenomena identified by the "anatomy" and "geography" of the human mind.

Before that, I would like to call attention to the fact that, shortly after the paragraph of the first *Enquiry* in which Hume puts forward the geography metaphor, he concedes that it is indeed possible to cautiously *extend* the scope of his science of man beyond the direct, empirical level:

But may we not hope, that philosophy, if cultivated with care [...], may carry its researches still farther, and *discover, at least in some degree, the secret springs and principles*, by which the human mind is actuated in its operations? Astronomers had long contented themselves with proving, from the phaenomena, the true motions, order, and magnitude of the heavenly bodies: Till a philosopher, at last, arose, who

² For a typical defence of the phenomenological interpretation of Hume, see, for instance, Rosenberg (1993). On a more specific vein, De Pierris (2006) argues that Hume was a "Newtonian inductivist", rejecting thus any appeal to hypotheses in his philosophy, and distancing himself from the usual stance taken by Locke and by the 17th century natural philosophers.

seems, from the happiest reasoning, *to have also determined the laws and forces*, by which the revolutions of the planets are governed and directed. The like has been performed with regard to other parts of nature. And *there is no reason to despair of equal success in our enquiries concerning the mental powers and œconomy*, if prosecuted with equal capacity and caution (EHU, 1.15; my italics).

Besides illustrating my main point, this passage also touches on a second, related theme: the influence of Newton on Hume. Newton is, evidently, the “philosopher” to whom this passage alludes; and the claim in the *Abstract* is clearly inspired by Newton’s well-known dictum “hypotheses non fingo”. There is an extensive debate in the Hume literature on the similarities and differences between Newton’s and Hume’s programmes.³ Here I do not intend to examine all the angles of this debate, but simply to offer a brief analysis of some explicit declarations about hypotheses made by both authors. Let us begin by comparing the already quoted passage from the *Abstract*⁴ with Newton’s most famous declaration on hypotheses, in the General Scholium, added to the second edition of the *Principia* (1713):

Hitherto we have explain’d the phænomena of the heavens and of our sea, by the power of Gravity, but have not yet assign’d the cause of this power. This is certain, that it must proceed from a cause that penetrates to the very centers of the Sun and Planets, without suffering the least diminution of its force [...] But hitherto I have not been able to discover the cause of those properties of gravity from phænomena, and I frame no hypotheses [*hypotheses non fingo*]. For whatever is not deduc’d from the phænomena, is to be called a hypothesis; and hypotheses, whether metaphysical or physical, whether of occult qualities or mechanical, have no place in experimental philosophy. In this philosophy particular propositions are inferr’d from the phænomena,

³ Some representative works are, for instance, Capaldi (1975), Monteiro (1981), Biro (2009), Jones (1982), Force (1987), Schliesser (2009), Demeter (2012), Schliesser & Demeter (2020), Hazony & Schliesser (2015), Slavov (2016a, 2016b, 2020), Richmond (1994).

⁴ See also this statement in the Introduction to the *Treatise*: “any hypothesis, that pretends to discover the ultimate original qualities of human nature, ought at first to be rejected as presumptuous and chimerical” (*Treatise*, Introduction, 8).

and afterwards render'd general by induction. Thus it was that the impenetrability, the mobility, and the impulsive force of bodies, and the laws of motion and of gravitation, were discovered. And to us it is enough, that gravity does really exist [...], and abundantly serves to account for all the motions of the celestial bodies, and of our sea. (*Principia*, p. 393).

As we see, Newton's proclamation against hypotheses has three parts. First, he says that he would make no hypotheses *specifically* about the cause of the gravitational force. Immediately after, he generalizes the point, claiming that hypotheses of whatever nature have no place in *experimental* philosophy. Finally, he indicates what he means by 'hypothesis': "whatever is not deduc'd from the phenomena". All the three statements qualify, in important respects, Newton's apparent ban of hypotheses: the *hypotheses non fingo* is directed specifically to the particular, if crucially important, issue of the causes of gravity; the ensuing generalization is not overarching: hypotheses have no place in *experimental* philosophy; but not all philosophy is experimental, of course; and, finally, the sense in which Newton takes 'hypothesis' here is very limited; the hope to deduce explanatory hypotheses from phenomena was already generally regarded as vain by philosophers discussing the epistemic credentials of science.

Whatever the case may be, what more directly matters here is that, despite these and other indictments of Newton's against hypotheses (for instance in Query 31 of the 4th edition of the *Opticks*, 1730), he effectively *did* frame a number of hypotheses at several different parts of his works in natural philosophy, including the *Principia* itself: the very existence of forces, and of the gravitational force, in particular, is itself hypothetical. Newton was still alive when the young Berkeley forcefully exposed this point, in 1710 (*Principles*) and 1721 (*De Motu*).⁵

⁵ For an analysis of Berkeley's views on the role of hypotheses in natural philosophy, see Chibeni (2010, in Portuguese). For a comparison of his views with Newton's and Locke's, see Chibeni (2013, in Portuguese). A relevant exchange on Newton's stance

In all likeliness, Newton himself did not come to know Berkeley's arguments; and, expectedly, he did not realize that by merely proposing that there is a force of attraction connecting any bodies in the universe he was, in fact, framing a hypothesis. Hume, however, should have seen Berkeley's acute analyses of this issue, and understood their crucial import. So when he, in his turn, resorted to a careful appeal to hypotheses in *his* philosophical system, he did not do it inadvertently; he knew very well what is a hypothesis and what is not. In the sequel, I identify some passages in which hypotheses are introduced or discussed by Hume in his two main epistemological works.

2 Hypotheses in Hume's "science of man"

2.1 I begin with a seldom-noticed, incidental remark amid a technical discussion of the ideas of space and time in Part 2 of Book 1 of the *Treatise*, on the physiological correlates of the phenomenological principles of association of ideas:

When I receiv'd the relations of *resemblance*, *contiguity* and *causation*, as principles of union among ideas, without examining into their causes, 'twas more in prosecution of my first maxim, that we must in the end rest contented with experience, than for want of something specious and plausible, which I might have display'd on that subject. 'Twou'd have been easy to have made an imaginary dissection of the brain, and have shewn, why upon our conception of any idea, the animal spirits run into all the contiguous traces, and rouze up the other ideas, that are related to it. But tho' I have neglected any advantage, which I might have drawn from this topic in explaining the relations of ideas, I am afraid I must here have recourse to it, in order to account for the mistakes that arise from these relations (*Treatise*, 1.2.5.20).

towards the gravitational force can be found in Ducheyne (2011) and Kochiras (2011); see also Janiak (2021).

This passage is noteworthy not only because here Hume indulges into hypothesising on the physiological, unobservable causes of the principles of association of ideas, but also because he says that the hypotheses that he is going to frame are *plausible*, and *necessary* to identify and correct some “mistakes” that may arise at the purely phenomenological level of analysis of the relations of space and time.⁶

The very same appeal to physiological hypotheses appears again in at least two other points of book 1, part 3, of the *Treatise*, 1.3.8.2 and 1.3.10.7. In the former passage he suggests that the all-important “general maxim in the science of human nature, *that when any impression becomes present to us, it not only transports the mind to such ideas as are related to it, but likewise communicates to them a share of its force and vivacity*” (Hume’s italics), may be explained by appealing to certain physiological processes involving the movement of the animal spirits in the brain: “All the operations of the mind depend in a great measure on its disposition, when it performs them; and *according as the spirits are more or less elevated*, and the attention more or less fix’d, the action will always have more or less vigour and vivacity” (*Treatise*, 1.3.8.2; my italics). And, a little later, in the same paragraph: “Now ‘tis evident the continuance of the disposition depends entirely on the objects, about which

⁶ Notice that the meaning of ‘specious’ in the locution ‘specious and plausible’ cannot be the usual, contemporary meaning, as synonym of ‘false’ or ‘fallacious’, not only because it is conjoined with ‘plausible’, but also because the hypothesis is *explicitly* proposed as a necessary corrective to the “mistakes” involving the relations of space and time he is examining in this part of the *Treatise*. In this respect, it is worth mentioning that dictionaries often indicate an “old”, or “obsolete” meaning of ‘specious’ as ‘showy’ (see e.g. the Merriam-Webster online dictionary: <https://www.merriam-webster.com/dictionary/specious>). This signification accords perfectly well with Hume’s qualification of his physiological hypothesis. In defending this point, I am in overt opposition to David Landy’s interpretation of what Hume says in this passage (Landy, 2018, chap. 2). In explicitly assuming the contemporary meaning of ‘specious’, he was lead to an utter disqualification of Hume’s reference to this physiological hypothesis, which has its roots in several of its modern predecessors, notably Descartes and Malebranche. See also the following footnote.

the mind is employ'd; and that *any new object naturally gives a new direction to the spirits, and changes the disposition*" (*Treatise*, 1.3.8.2; my italics).

The second passage, in *Treatise* 1.3.10.7, belongs to a section dedicated to identify and explain "the influence of belief" in several ordinary contexts. Commenting the case of beliefs involved in reading a piece of literature, he says: "The several incidents of the piece acquire a kind of relation by being united into one poem or representation; and if any of these incidents be an object of belief, it bestows a force and vivacity on the others, which are related to it. The vividness of the first conception *diffuses itself along the relations, and is convey'd, as by so many pipes or canals*, to every idea that has any communication with the primary one" (my italics). Such "pipes and canals" are, again, the hypothetical pathways in the nervous system.

Before considering my next case of use of hypotheses by Hume, notice that the above three passages make it clear that, in Hume's own appraisal, appealing to hypotheses about unobservable entities and processes *coexists peacefully* with his "first maxim", the principle of prioritizing the phenomenological level over the hypothetical level. Both play important and complementary roles in the science of human nature: the former, a descriptive role; the latter, an explanatory one.⁷

2.2 My second example of Hume's effective use of hypotheses concerns his explanation of *the function of general terms*. Hume begins his analysis of abstract ideas (*Treatise* 1.1.7) by agreeing with Berkeley that "all general ideas are nothing but particular ones, annexed to a

⁷ A noteworthy exception to the neglect of *Treatise* 1.2.5.20 in the literature is chapter 2 of Landy (2018). The general goal of the chapter is to argue that Hume was a sort of "scientific realist". While broadly agreeing with this view, I sharply disagree with Landy's thesis that Hume's realism would concern *exclusively* the unobservable theoretical items of his "science of man", and not the typical entities and processes of natural philosophy, as those to which Hume appeals in the hypothesis here under analysis. The passages in *Treatise* 1.3.8.2 and 1.3.10.7, which in my opinion reinforce Hume's commitment to the micro-entities of the 17th and 18th centuries' natural philosophy, are not even mentioned by Landy. See also the preceding footnote.

certain term, which gives them a more extensive signification, and makes them recall upon occasion other individuals, which are similar to them" (*Treatise* 1.1.7.1). He then proceeds to reinforce Berkeley's proof of the impossibility of conceiving ideas that are not in themselves particular. Finally, Hume sets out to offer an *explanation* for the process of generalization, which he implies Berkeley has not provided. This rather complex explanation, anticipating the central element of his well-known theory of causal inferences — custom; see 2.3, below — is explicitly said, in *Treatise* 1.1.7.16, to be a "hypothesis", being thus summarized at the end of this paragraph: "If ideas be particular in their nature, and at the same time finite in their number, 'tis only by custom they can become general in their representation, and contain an infinite number of other ideas under them."

2.3. At the very heart of Hume's theory of causation, there is another important example of use of hypotheses by Hume: the principle that *custom is the determinant of the causal inferences* is explicitly said to be a "hypothesis", whose aim is to explain the operations of the mind in performing such inferences. When first presented with an object, the mind is utterly unable to form any conclusion about its causes or effects; it is only after being exposed to the constant conjunction of objects of this kind with objects of another kind that any inference can, at all, be drawn by the mind as to the existence of a causal link among these objects. Hume's well-known explanation of this fact is that the mind is "determined by custom alone to expect the one from the appearance of the other. This *hypothesis* seems even the only one which explains the difficulty, why we draw, from a thousand instances, an inference, which we are not able to draw from one instance, that is, in no respect, different from them" (*EHU* 5.5; my italics). The hypothetical character this explanation is emphasized when Hume analyses the same issue in the sections dedicated to the reason of animals, both in the *Treatise* (1.3.16) and in the *Enquiry* (section 9). In *EHU* 9.1, for instance, he says:

“We shall make *trial* of this, with regard to the *hypothesis*, by which we have, in the foregoing discourse, endeavored to *account for* all experimental reasonings; and it is hoped, that this new point of view will serve to *confirm* all our former observations” (my italics). Now, experience clearly shows that “the animal infers some fact beyond what immediately strikes his senses; and that this inference is altogether founded on past experience”, it being “impossible that this inference of the animal can be founded on any process of argument or reasoning”. Hume concludes, then, that his epistemological hypothesis has passed the test, adding that, being “firmly established” in this case, there is a “strong presupposition, from all the rules of analogy, that it ought to be universally admitted” (EHU 9.5; see also *Treatise* 1.3.16.8).

2.4. Notice, yet, that Hume considered *the very existence of reason in animals* as a hypothesis. Following Locke, and in open opposition to Descartes, Hume believed that it is wrong to regard the superior animals as entirely destitute of thought and reason. Although the animals’ thoughts are, *qua* mental events, unobservable, Hume maintained that we can legitimately infer their existence from the observation of animal behavior: “When therefore we see other creatures, in millions of instances, perform like actions, and direct them to like ends, all our principles of reason and probability carry us with an invincible force to believe the existence of a like cause” (*Treatise* 1.3.16.2). Presumably, Hume is here appealing to his fourth rule “by which to judge of causes and effects”: “The same cause always produces the same effect, and the same effect never arises but from the same cause” (*Treatise* 1.3.15.6). This rule allows us to infer that something *unobservable*, the animals’ reasoning faculty, does indeed exist, and causes certain phenomena, the animals’ bodily actions. Now, it is important to notice that this is *not* a straightforward case of a causal inference, since it cannot be based on any experience of a constant conjunction between the cause and the effect. Thus, the reading I am proposing: the existence of the cause is,

in this case, *hypothetical*; and it should be accepted in virtue of its strong explanatory power.

2.5. Hume's analysis of *the nature of belief* offers my fifth example of use of hypotheses in Hume. When he asks, in *Treatise* 1.3.7.3, "[w]herein consists the difference betwixt believing and disbelieving a proposition", his famous and controversial answer, framed in terms of the vivacity of perceptions, is referred to by him as "my hypothesis" (*ibid.*, footnote 5). In the *Abstract*, Hume resumes the point, confronting explicitly his hypothesis with a rival one: "that belief joins some new idea to those which we may conceive without assenting to them" (*Abstract*, 19). This is the only alternative he is able to think of. But he argues that it is totally unacceptable. Thus, a process of conclusive rejection of alternatives establishes, in the end, Hume's hypothesis beyond reasonable doubt (*Abstract*, 21, 24).

3 General comments

3.1 In all these five cases, it seems reasonable to assume that Hume is taking his hypotheses at face value, as serious candidates to represent real mental or physiological processes. It is useful to contrast these favorable cases with those in which the hypotheses under analysis do *not* satisfy his epistemic criteria for the evaluation of hypotheses. The first is a famous one: the "*system of the double existence*". In the *Treatise*, Hume says that the system of the double existence of objects and perceptions is a "hypothesis" or "fiction" (*Treatise* 1.4.2.52), devised to *explain* certain facts about our perceptions and tendencies, thereby resolving the conflict between imagination and reason: continuity and independence versus discontinuity and dependence of perceptions. But Hume's stance toward this hypothesis is rather dubious, to say the least: the system is, famously, regarded by him as "the monstrous offspring of two principles, which are contrary to each other, which are

both at once embrac'd by the mind, and which are unable mutually to destroy each other" (*Treatise* 1.4.2.52). Now, although the system of the double existence may be an important element in Hume's explanation of how, after all, the "vulgar" forms the belief in an external world, it would be risky, if not completely wrong, to think that Hume believed in this hypothesis *as a scientist of the human mind*. Fortunately, this interpretive doubt has no negative impact on the thesis that I am defending in this paper, namely, that Hume not only talks of hypotheses, but also believes that *some*, but *not all*, of them are *bona fide* candidates for being true.

There is another notorious case of hypothesis considered by Hume: his own initial views on *personal identity*, such as expounded in the *Treatise* 1.4.6: the mind as a mere succession of connected perceptions. As is well known, in the final paragraphs of the Appendix to the *Treatise*, published one year later, Hume recants from his initial position, and candidly confesses that he is utterly unable to devise a satisfactory account of personal identity: "But all my hopes vanish, when I come to *explain* the principles, that unite our successive perceptions in our thought and consciousness. I cannot discover any *theory* which gives me satisfaction on this head" (Appendix to the *Treatise*, 20; my emphases). After recalling the rejected explanations (the substantial self and the perception of a "real connexion among distinct existences"), Hume adds: "I pretend not, however, to pronounce [the difficulty] absolutely insuperable. Others, perhaps, or myself, upon more mature reflection, may discover some *hypothesis*, that will reconcile those contradictions" (Appendix to the *Treatise*, 21; my italics). Thus, Hume is here treating hypotheses, or "theories", as respectable epistemic tools for the elucidation of a fundamental philosophical problem. Incidentally, however, he says he no longer likes his initial hypothesis, and has not yet found a good substitute for it.

Notice, now, that this conundrum bears close resemblance to Newton's avowed helplessness to frame a hypothesis to explain the

force of gravity. From his correspondence with Boyle, we know that he *did* frame a certain mechanical hypothesis to explain gravity, but that upon further analysis he found his “notions about things of this kind so indigested, that I am not well satisfied myself with them”.⁸ This attitude on the part of Newton and Hume is just what one should expect from a good natural, or moral, philosopher. Hypotheses are devised and critically examined; some pass the test, others do not.

If more space were available, it would be instructive to examine also a case of *complete failure* of the strategy of framing hypotheses: the “religious hypothesis”, discussed by Hume in *EHU*, 10, and, in full length, in the *Dialogues concerning Natural Religion*.

3.2 While the above examples leave no doubts as to Hume’s *differential* epistemic stances toward hypotheses, and particularly towards those framed by him, doubts might remain, as an anonymous referee pointed out to me, as to what, after all, Hume did mean by ‘hypothesis’. I evidently acknowledge that this is a real, sensitive issue in the Hume scholarship, adding that it also concerns the interpretation of Newton’s statements about hypotheses — perhaps even to a greater extent.⁹ I also agree with his/her remark that in the “18th century, especially in British philosophy, one often finds the view that a hypothesis is a causal explanation of some phenomenon for which the author of the hypothesis does not presently have sufficient empirical evidence”. But I disagree

⁸ *Apud* Cajori’s appendix to the English translation of the *Principia*, p. 674–678.

⁹ Notice, for instance, that Newton’s reclassified, with no explanation, his famous “Hypotheses” in the third Book of the *Principia*’s first edition (1687) as “Phaenomena”, or “Regulae philosophandi” in the third edition (1726)! Commenting on this point, Carey (2012) writes: “Book III is particularly revealing from our standpoint, because in 1726 it opens with the four ‘Rules’, whereas in 1687 it opened with a section labeled ‘Hypotheses’. Nine ‘hypotheses’ were scattered through the work in the first edition, of which only one survived as such in the second and third. But one hypothesis *did* survive as such, which means that *hypotheses non fingo* was evidently contradicted in the *Principia* itself. As for the other eight, six Hypotheses were renamed *Phaenomena* in later editions, and two were renamed *Regulae philosophandi*.” For more details about the changes introduced by Newton in the three editions of the *Principia*, see Smith (2024).

with his/her opinion that this does *not* square well with Hume's own understanding of this concept. Apparently, his/her grounds for such a view is the fact that Hume has adopted very different stances toward the several instances of hypotheses that I am examining in this paper. In particular, he/she seems particularly troubled by the strong commitment Hume had to the hypothesis of case 2.3 of my list, above. He/she submits that Hume's "tremendously strong claims" about this case "is quite foreign to most views of hypotheses". In response, I would argue that the diversity of epistemic stances toward hypotheses that we find in Hume's texts is compatible with a uniform, or nearly uniform, understanding of the term 'hypothesis'; and that this meaning is roughly the one indicated by the referee, as typical of authors in Hume's epoch. By the way, this seems to be a nice instance of one of Hume's most famous epistemological principles: "A wise man [...] proportions his belief to the evidence" (*EHU*, 10.4). It holds, I claim, also for the belief in hypotheses, whatsoever their origin, objective and context of application.

References

- BERKELEY, G. *A treatise concerning the principles of human knowledge*. In: Ayers, M. R. (ed.). *Philosophical works of George Berkeley*. London: Everyman, p. 69-153, 1975. Original: 1710.
- BERKELEY, G. *Of motion, or the principle and nature of motion and the cause of communication of motion*. Transl. A. A. Luce. In: Ayers, M. R. (ed.). *Philosophical works of George Berkeley*. London: Everyman, p. 253-76, 1975. Latin original: *De motu*, 1721.
- BIRO, J. Hume's new science of the mind. In: NORTON, D. F.; TAYLOR, J. (eds.) *The Cambridge companion to Hume*. 2nd ed. Cambridge, Cambridge University Press, p. 40-69, 2009.
- CAPALDI, N. *David Hume: the Newtonian philosopher*. Boston: Twayne, 1975.
- CAREY, T. V. Hypotheses (non) fingo. *Philosophy Now*, n. 88, 2012. Available in: https://philosophynow.org/issues/88/Hypotheses_Non_Fingo.

- CHIBENI, S. S. Berkeley e o papel das hipóteses na filosofia natural. *Scientiae Studia*, v. 8, n. 3, p. 389-419, 2010.
- CHIBENI, S. S. As posições de Newton, Locke e Berkeley sobre a natureza da gravitação. *Scientiae Studia*, v. 11, n. 4, p. 811-39, 2013.
- DEMETER, T. Hume's experimental method. *British Journal for the History of Philosophy*, v. 20, n. 3, p. 577-99, 2012.
- DE PIERRIS, G. Hume and Locke on scientific methodology: the Newtonian legacy. *Hume Studies*, v. 32, n. 2, p. 277-330, 2006.
- DUCHEYNE, S. Newton on action at a distance and the cause of gravity. *Studies in History and Philosophy of Science*, v. 42, p. 154-59, 2011.
- FORCE, J. E. Hume's interest in Newton and science. *Hume Studies*, v. 13, n. 2, p. 166-216, 1987.
- HAZONY, Y.; SCHLIESSER, E. Newton and Hume. In: RUSSELL, P. (ed.). *The Oxford handbook of Hume*. Oxford, Oxford University Press, p. 673-707, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780199742844.013.28>.
- HUME, D. *A treatise of human nature: a critical edition*. Vol. I: *Texts*. Eds. D. F. Norton; M. J. Norton. Oxford: Oxford University Press, 2007. Original: 1739; Abstract: 1740; Appendix: 1740.
- HUME, D. *An enquiry concerning human understanding (EHU)*. Ed. T. L. Beauchamp. Oxford: Oxford University Press, 1999. Original: 1748.
- JANIÁK, A. Newton's philosophy. In: ZALTA, E. N. (ed.), *Stanford Encyclopedia of Philosophy*, 2021. Available in: <https://plato.stanford.edu/entries/newton-philosophy/>.
- JONES, P. *Hume's sentiments: their Ciceronian and French context*. Edinburgh: The University Press, 1982.
- KOCHIRAS, H. Gravity's cause and substance counting: contextualizing the problems. *Studies in History and Philosophy of Science*, v. 42, p. 167-84, 2011.
- LANDY, D. *Hume's science of human nature: scientific realism, reason, and substantial explanation*. New York: Routledge, 2018.
- LOCKE, J. *An essay concerning human understanding*. Ed. P. H. Nidditch. Oxford: Clarendon, 1975. Original: 1690.
- MONTEIRO, J. P. Hume's conception of science. *Journal of the History of Philosophy*, v. 19, p. 327-42, 1981.

- NEWTON, I. *Mathematical principles of natural philosophy*. Ed. F. Cajori, transl. A. Motte. Berkeley: University of California Press, 1934. 2nd ed. original: 1713.
- NEWTON, I. *Opticks: or, a treatise of the reflections, refractions, inflexions and colours of light*. 4th ed. London: William Innys, 1730.
- RICHMOND, S. A. Newton and Hume on causation: alternative strategies of simplification. *History of Philosophy Quarterly*, v. 11, n. 1, p. 37-52, 1994.
- ROSENBERG, A. Hume and the philosophy of science. In: NORTON, D. F. (ed.). *The Cambridge companion to Hume*. 1st ed. Cambridge: Cambridge University Press, p. 64-89, 1993.
- SCHLIESSER, E. Hume's attack on Newton's philosophy. *Enlightment and Dissent*, v. 25, p. 167-203, 2009. (Special issue dedicated to "Isaac Newton in the Eighteenth Century", ed. S. D. Snobelen.)
- SCHLIESSER, E.; DEMETER, T. Hume's Newtonianism and anti-Newtonianism In: ZALTA, E. N. (ed.), *Stanford Encyclopedia of Philosophy*, 2020. Available in: <https://plato.stanford.edu/entries/hume-newton/>
- SLAVOV, M. *Essays concerning Hume's natural philosophy*. Jyväskylä (FI): Jyväskylä University Printing House, 2016a.
- SLAVOV, M. Newtonian and non-Newtonian elements in Hume. *Journal of Scottish Philosophy*, v. 14, n. 3, p. 275-96, 2016b. DOI: <https://doi.org/10.3366/jsp.2016.0143>. Available in: https://www.researchgate.net/publication/307877222_Newtonian_and_Non-Newtonian_Elements_in_Hume.
- SLAVOV, M. Newton and Hume. In: JALOBÉANU, D.; WOLFE, C. (eds.). *Encyclopedia of Early Modern Philosophy and the Sciences*. Cham: Springer, 2020, p. 1472-77. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-20791-9_109-1. Available in: <https://philarchive.org/rec/SLANAH>.
- SMITH, G. Newton's *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*. In: ZALTA, E. N. (ed.), *Stanford Encyclopedia of Philosophy*, 2024. Available in: <https://plato.stanford.edu/entries/newton-principia/>.

Problemas de testabilidade na Cosmologia Física¹

Teresa Seabra Antunes²

DOI: <https://doi.org/10.58942/eqs.207.08>

1 Introdução

A Cosmologia Física, ramo da Física dedicado a estudar o universo físico em grande escala, é uma ciência que passou por enormes transformações nos últimos 100 anos (Smeenk, 2013). A área começa a tomar a forma que conhecemos contemporaneamente como uma ramificação da Física Teórica, a partir do modelo do universo proposto por Albert Einstein em 1917, e foi se desenvolvendo inicialmente sobretudo pelo trabalho do Georges Lemaître em 1927 sobre a expansão do Universo (Dodelson; Schmidt, 2021). Desde então tivemos muitas mudanças, sobretudo no que tange ao volume de observações e dados empíricos que temos atualmente, e a área teve seu escopo e metodologias de pesquisa mais bem definidos.

Entretanto, até a década de 1960, a Cosmologia ainda era comumente vista como um campo da Filosofia, sendo apelidada de “uma procura por dois números” (Sandage, 1970), que seriam parâmetros

¹ O presente trabalho faz parte da dissertação de mestrado em andamento da autora, intitulada *Problemas de testabilidade na Cosmologia física: possibilidades de interpretação a partir do empirismo construtivo de Bas van Fraassen*.

² Bacharela e Licenciada em Física pela UFMG. Mestranda em Filosofia pelo Programa de Pós-Graduação em Filosofia da UFMG, na linha de pesquisa de Lógica, Ciência, Mente e Linguagem. E-mail: teresa.antunes@gmail.com

gerais para qualquer modelo cosmológico. No presente, temos um modelo cosmológico padrão bem estabelecido, que conta com variados parâmetros que podem ser ajustados a partir de diversos dados observacionais. Assim, a Cosmologia atualmente se tornou uma área mais bem assentada na Física, sobretudo pela possibilidade de aplicação de teorias físicas elementares ao universo primordial e ao volume grande de dados que temos recolhido a partir de dispositivos de observação e coleta cada vez mais sofisticados (Ellis, 2017).

Ainda assim, algumas questões fundamentais fazem com que a Cosmologia se distinga de outras teorias da Física, sobretudo a noção de singularidade do universo. Só temos acesso direto (observacional e experimental) a um único universo: esse em que vivemos. Isso levanta questões sobre a natureza de leis que regem esse universo — o que seria uma lei para o universo como um todo? Teríamos uma lei que versa sobre apenas um “objeto”? Como podemos ter uma diferença significativa entre o que é acaso ou necessidade? Essas particularidades do objeto de pesquisa (no caso, o universo) fazem surgir ao longo de toda a história da Cosmologia tensões entre cosmólogos e outros cientistas sobre a viabilidade de se considerar o campo como científico, as possibilidades de verificação empírica das teorias cosmológicas, e até mesmo o que deve ser considerado como um “dado observável”. Portanto, mesmo que atualmente não esteja mais restrita a um tom exclusivamente filosófico como na década de 1960 (Smeenk, 2013), a Cosmologia apresenta uma interação grande com a Filosofia da Ciência, despertando e exemplificando não apenas questões clássicas do campo, mas também potencialmente contribuindo para a discussão bastante rica de uma Filosofia da Ciência contemporânea.

No presente texto, buscaremos apresentar inicialmente um convite à reflexão acerca das discussões filosóficas inerentes ao campo da Cosmologia, sobretudo aquelas que transparecem devido às particularidades da área. Em seguida, veremos como uma questão em particular — a da testabilidade — se mostra como central. Debates sobre a

cientificidade da Cosmologia muitas vezes destacam a falha das teorias em serem empiricamente testáveis, utilizando-se, comumente, de critérios de verificação inspirados em um falseacionismo popperiano, sobretudo em períodos de rivalidade entre diferentes modelos teóricos. Assim, pretendemos discutir a maneira como o debate em torno da “cientificidade” do campo, em termos da possibilidade de uma testabilidade empírica, está presente não apenas ao longo de toda a construção histórica do campo enquanto uma disciplina da Física, mas também permanecendo latente contemporaneamente.

A hipótese que orienta a discussão aqui presente é baseada sobretudo nos textos do historiador da ciência dinamarquês Helge Kragh, que tem um expressivo e influente trabalho na História da Física, Astronomia e Cosmologia. Assim como o autor (Kragh, 2014), defendemos que a ênfase na procura por uma *falseabilidade* e um apelo à filosofia da ciência de Karl Popper por parte de físicos e cosmólogos que buscam “atacar” a Cosmologia — ou teorias cosmológicas específicas — é sobretudo “retórica”, na medida em que a prática científica e a interpretação acerca do conceito de testabilidade não são consenso entre esses sujeitos. Testabilidade seria equivalente a falseabilidade? Em que ponto do desenvolvimento de um programa de pesquisa a testabilidade deve ser “exigida”? Que tipos de testes não empíricos devem ser considerados, e com qual peso? A falta de delimitação do que seria essa testabilidade nos aponta para um possível movimento de olharmos para a maneira como de fato julgamos o sucesso empírico das teorias físicas.

2 Aspectos Filosóficos em Cosmologia

Embora a curiosidade e reflexão acerca de nosso cosmos faça parte integral da Filosofia desde a antiguidade, a Cosmologia moderna — aquela que se apresenta como uma área de pesquisa científica específica da Física — se estabelece ao longo do século XX. O universo físico

em grande escala se torna o objeto de pesquisa da Cosmologia, que inclui não apenas nosso universo observável, como outros componentes não acessíveis diretamente por observações astronômicas. Ao sintetizar teorias de Física Teórica, de Partículas, Gravitação, Termodinâmica e Mecânica Quântica, a Cosmologia busca compreender processos que vão além da Astronomia e da Astrofísica — cujo escopo é mais delimitado a corpos celestes —, processos de evolução, formação e estrutura do universo como um todo.

O desenvolvimento da Relatividade Geral de Einstein — com a publicação de sua teoria em 1915, seguida da exploração de suas consequências cosmológicas em 1917 — é considerado um grande marco para a fundamentação da Cosmologia moderna, mesmo que, à época, o campo não tenha sido imediatamente explorado por cosmólogos, se estabelecendo de fato enquanto uma disciplina científica robusta nos anos 1960 (Pearce, 2015, p. 13). Dessa maneira, o campo da Cosmologia se transformou drasticamente nos últimos cem anos, com o desenvolvimento de novas epistemologias e metodologias:

Essa cosmologia científica, que lida não apenas com o que vem a ser a parte observável do universo, mas também com o mundo hipotético como um todo, é distintamente um ramo moderno de conhecimento. No período relativamente curto entre 1920 e 1970, a cosmologia mudou dramaticamente, primeiramente como um resultado de um entendimento [*insight*] obtido pela teoria da relatividade geral de Einstein. O assunto se estabeleceu enquanto uma ciência, não apenas se afastando da religião e da filosofia (embora não completamente), mas também desenvolvendo de uma ciência predominantemente matemática para uma física (Kragh, 1996, p. ix).

Talvez o mais maduro resultado da cosmologia científica seja o Modelo Cosmológico Padrão, desenvolvido a partir da década de 1970, que descreve a geometria espaço-temporal do universo, seus constituintes materiais e sua evolução dinâmica. O modelo — conhecido popularmente como o modelo de “Big Bang” — é bem sustentado por observações, e faz previsões bastante precisas sobre fenômenos

observáveis, como a existência e descrição da radiação cósmica de fundo (Dodelson; Schmidt, 2021).

Entre vários modelos cosmológicos diferentes introduzidos na literatura, o cenário da matéria escura fria (Λ CDM) é o modelo matematicamente mais simples, e que foi praticamente selecionado como o cenário cosmológico “padrão”, porque fornece uma descrição excelente de uma ampla gama de sondas astrofísicas e cosmológicas em uma ampla gama de escalas e épocas. [...] O modelo cosmológico padrão Λ CDM, além de extremamente bem-sucedido em explicar as observações, é, portanto, favorecido principalmente por sua simplicidade. Efetivamente, com apenas seis parâmetros livres, ele consegue se ajustar bem a todas as observações cosmológicas atuais (Di Valentino, 2022, p. 1).

Apesar dessa concordância com os dados observacionais, e um forte poder explicativo de inúmeros problemas cosmológicos, o modelo apresenta alguns aparatos conceituais que ainda não são bem explicados ou conhecidos pelos cientistas — como a matéria e energia escuras e o período de expansão inflacionária —, e são estudadas alternativas e correções a essa modelagem.

Entretanto, mesmo que bem estabelecido face às evidências empíricas, o modelo cosmológico padrão conta com limitações, que se apresentam principalmente devido à natureza distinta da Cosmologia em relação a outras ciências. Além da mencionada limitação “metodológica” de não possuímos acesso a uma classe de diversos objetos (universos) para determinar leis que se apliquem a eles, os cosmólogos contam com várias limitações para observar o objeto ao qual de fato têm acesso (Smeenk, 2013), que se apresentam como limites físicos que fazem com que parte desse universo não seja acessível para nós, ou que esse acesso seja feito de maneira indireta (Ellis, 2017). Dessas características intrínsecas ao objeto de pesquisa e ao campo da Cosmologia — sobretudo a unicidade do universo — surgem problemas filosóficos fundamentais que estão no cerne do contexto da Cosmologia. Mas o

que faz da Cosmologia diferente de outras áreas mais ou menos “tradicionais” da Física?

2.1 A Cosmologia como caso Especial

A pesquisa científica em Cosmologia enfrenta diversas limitações que moldam a maneira como a investigação é feita, e fazem surgir questões filosóficas que parecem ser inerentes ao campo. A própria delimitação do universo como um objeto de estudo já nos coloca uma dificuldade inicial: na medida em que temos acesso observacional e empírico apenas a este universo em que estamos inseridos, o que contaria como uma lei? Como fazemos uma ciência de um “objeto só”? Se estamos extrapolando teorias físicas locais ao universo como um todo, o que conta como um modelo cosmológico? Nesse sentido, essa primeira limitação seria tanto epistêmica quanto metodológica, que já levanta perguntas “únicas”:

A tarefa relevante da filosofia com relação à cosmologia [...] se preocupa em levantar uma série de questões especiais, como as seguintes: Que tipo de meios são empregados pela cosmologia para nos dar uma compreensão do universo? Que influência a evidência observacional tem sobre a confirmação de hipóteses cosmológicas? O que significa falar em determinar a estrutura temporal e espacial do universo? De fato, o que significa dizer que o universo tem uma estrutura espaço-temporal? (Munitz, 1962, p. 34)

É a partir dessa noção de que a cosmologia se ocupa de um objeto “único” que alguns autores consideram a Cosmologia como uma ciência *histórica*. Kragh (2001) chama atenção para a maneira como alguns aspectos da Cosmologia têm natureza histórica, de maneira similar a ciências como a Arqueologia e a Geoquímica, na medida em que infere uma história a partir de vestígios do passado. Já Toulmin (1962) argumenta que vários debates que ocorriam à sua época em Cosmologia tinham análogos em discussões que já haviam ocorrido nos estágios iniciais do desenvolvimento da Geologia. Assim, duas perspectivas

devem coexistir, uma vez que o campo ainda se propõe a ser entendido nos moldes de uma ciência física; e essas diferentes perspectivas carregam com si metodologias científicas muito distintas.

Vemos, contudo, que essa não é uma questão que diz respeito apenas às discussões contemporâneas em Cosmologia. Em 1962, Munitz já discute a maneira como a metodologia científica da Cosmologia deve ser repensada à luz da unicidade do objeto de investigação — o universo. A incapacidade de conduzirmos experimentos impõe uma limitação metodológica ao que pode ser estabelecido ou previsto pela Cosmologia, uma vez que não podemos ter a pretensão de descobrir leis universais. Mais contemporaneamente, Smeenk (2013), por outro lado, entende que questões como a unicidade do universo *exacerbam* desafios de acessibilidade teórica e observacional que temos em Cosmologia. Para o autor, os limites impostos à Cosmologia surgem a partir da dificuldade em se obter acesso aos fenômenos relevantes através de vias independentes de investigação empírica.

Além das limitações metodológicas e epistêmicas, temos barreiras físicas muito claras e desafiadoras que limitam a observação cosmológica. Dentre essas limitações (exploradas com mais detalhes físicos em Ellis, 2017, p. 23-26) temos: uma limitação espaço-temporal — dado que não podemos nos deslocar para outro ponto no universo para observá-lo, o que limita nossa perspectiva em relação a ele — e três horizontes (ou limitações) observacionais: físico, causal e visual. O horizonte físico refere-se ao fato de que não conseguimos atingir na Terra as escalas de energia necessárias para testar períodos primordiais do universo. O horizonte causal refere-se à limitação da velocidade da luz — só conseguiremos ver objetos que consigam chegar até nós viajando com velocidades não maiores do que a da luz. O horizonte visual ocorre pois não conseguimos observar antes do desacoplamento entre matéria e luz — antes disso o universo seria “opaco” aos nossos olhos. Esses limites restringem consideravelmente o que podemos determinar de maneira observacional sobre os modelos cosmológicos em grandes

escalas espaciais, e nas escalas temporais mais antigas (mais próximas do Big Bang). E é — incrivelmente — apesar desses limites que o Modelo Cosmológico Padrão se estabelece enquanto robusto frente ao crescente volume de observações cosmológicas recentes.

Além dessas limitações, outros tipos de perguntas são levantados em uma “Filosofia da Cosmologia”:

[Sobre a discussão da relevância da filosofia para a ciência e para os cientistas,] Pode-se argumentar que a cosmologia é ainda mais filosófica do que a maioria das outras ciências, no sentido de que lida mais explicitamente com os limites ou horizontes do conhecimento científico. Em particular, como a cosmologia envolve as questões antigas dos possíveis limites temporais e espaciais do universo, ela é naturalmente associada a especulações irresistíveis sobre o que pode causar ou estar além desses limites (Zinkernagel, 2014, p. 1).

Assim, questões fundacionais sobre as presunções e consequências filosóficas de teorias e observações cosmológicas são inúmeras e variam desde discussões filosóficas mais abrangentes — como discussões sobre argumentos antrópicos e subdeterminação, e como essas questões surgem no campo de maneira diferente — até discussões mais específicas sobre os diferentes “ingredientes” da Cosmologia — como as implicações da utilização de resultados de Mecânica Quântica, Relatividade Geral e Teoria Quântica de Campos.

Ainda assim, mesmo que várias questões filosóficas sejam levantadas quando nos deparamos com a pretensão explicativa da Cosmologia, é possível notar que o ponto de tensão que parece ser central às discussões — sejam elas metodológicas, físicas ou epistêmicas —, sobretudo em momento de tensão entre diferentes teorias, vai de encontro com a ideia de que teorias científicas devem ser *testáveis* empiricamente: o que significa testar algo em Cosmologia, no contexto em que o objeto de estudo em questão é o universo como um todo? Como avaliarmos o sucesso empírico de uma teoria cosmológica?

2.2 A importância da testabilidade

Mesmo que a Cosmologia levante inúmeras questões filosóficas, a questão da testabilidade se mostra como latente em diversas discussões no campo. A discussão acerca da viabilidade de verificação empírica e, mais especificamente, a possibilidade de uma mudança epistêmica na Cosmologia não se restringe às teorias contemporâneas, mas perpassa toda a história da Cosmologia enquanto campo de pesquisa (Kragh, 2009, 2014). Esses debates estão usualmente em torno da cientificidade da Cosmologia, sobretudo relacionados a uma suposta “falha” de algumas teorias cosmológicas em serem empiricamente testáveis. Ao longo da história do campo, vemos físicos sendo bastante assertivos e enfáticos em acusar a Cosmologia de não científica.

Atualmente o debate principal se concentra sobretudo em torno de teorias de multiversos — que surgem no contexto da Cosmologia especialmente após o desenvolvimento das teorias inflacionárias, que são parte estruturante do Modelo Cosmológico Padrão. Assim como nos fervorosos debates entre as teorias de estado estacionário e de Big Bang entre as décadas de 1940 e 1960 — que foram “resolvidos” com a descoberta da Radiação Cósmica de Fundo (do inglês *Cosmic Microwave Background*, CMB) em 1964 — vemos críticos que se valem de argumentos que utilizam o critério da testabilidade como extremamente decisivo, como Ellis & Silk (2014), e que afirmam que a teoria de multiversos não é científica, uma vez que “o imprimatur de ciência deveria ser concedido apenas a uma teoria que é testável” (p. 3).

Para Kragh (2009), cientistas e filósofos geralmente concordam que critérios de testabilidade empírica não são os únicos considerados para a aceitação de uma teoria científica — critérios como simplicidade, consistência interna, poder explicativo e conexão com o restante do escopo da ciência são também fundamentais. A questão se torna divisiva quando tentamos estabelecer prioridades entre esses critérios: “seria a testabilidade empírica absolutamente necessária? E, se assim a tomamos, como essa testabilidade deve ser entendida?” (KRAGH, 2009, p.

543). Essas questões se tornam particularmente relevantes contemporaneamente quando tratamos de teorias que estão nos limites do conhecimento bem estabelecido de um campo científico, como é o caso das discussões acerca de multiversos na Cosmologia, por exemplo, mas também o foram historicamente, mostrando a continuidade desse discurso em torno da testabilidade empírica no campo.

Para ilustrar a importância dessa discussão na construção histórica do campo, podemos analisar, por exemplo, a argumentação de Stephen Brush, historiador da ciência americano. Em seu texto intitulado “How cosmology became a science”, o autor identifica o momento em que a Cosmologia de fato se torna um campo científico justamente com o momento em que passamos a ter uma base empírica e observacional mais sólida — com a descoberta da CMB — para respaldar a teoria:

O universo realmente começou no big bang, ou houve uma fase de contração anterior — um “big crunch” — que levou à alta temperatura e densidade? O universo continuará a se expandir para sempre, ou acabará entrando em colapso em um buraco negro? A criação do universo envolve a teoria quântica de forma fundamental? Essas ideias agora dominam o pensamento físico. O fato de os cientistas considerarem tais questões dignas de investigação séria é, em si, em grande parte uma consequência da descoberta da radiação cósmica de fundo em micro-ondas, que transformou a cosmologia em uma ciência empírica (Brush, 1992, p. 70).

De maneira indireta, o autor relaciona a cientificidade de uma teoria com uma condição de que ela seja empiricamente testável. É a partir do falseamento de teorias rivais — no contexto da discussão entre teorias de estado estacionário e modelos de Big Bang, em que conseguimos escolher e determinar que uma teoria seria empiricamente mais adequada do que outra — que está o selo de “ciência”.

Segundo Kragh (2014, p. 49), o consenso, tanto na Cosmologia quanto em outras áreas de física fundamental, é que deve haver um balanço entre considerações do tipo empírico-indutivas e hipotético-

matemáticas, tanto na fase de construção quanto de avaliação de uma teoria. Esse balanço depende do caso em questão, e pende menos para o lado dos elementos empíricos, sobretudo na fase construtiva ou criativa de uma teoria científica. O autor ilustra esse consenso com a fala de Richard Tolman (1932) acerca dos debates logo após a descoberta da expansão do universo, na ocasião em que o cientista delimita que as considerações matemáticas da teoria de Einstein devem ter consequências que possam ser apresentadas ao crivo do teste experimental, e devem concordar com os fatos observacionais. Kragh (2014, p. 49) considera que essa é a visão do próprio Einstein que, mesmo em sua fase mais racionalista, em que ele fala sobre as considerações “puramente matemáticas” que nos permitem conhecer conceitos e leis, costura essas expressões com a expressão, não menos importante, de que “a experiência continua, claro, como o único critério da utilidade física de uma construção matemática”.

Para o autor, os cosmólogos do passado, assim como os do presente, claramente estavam preocupados com as regras da ciência que poderiam ser aplicadas de maneira legítima ao estudo do universo. É nesse sentido que teorias como a de Multiversos recebem críticas atualmente de que não poderíamos mudar as regras da ciência para que uma teoria não tenha que passar pelos testes usuais que fazemos a uma teoria científica. Segundo ele (*ibid.*, p. 49-50), críticos como Ellis & Silk consideram que, embora desejáveis, critérios científicos como acurácia, consistência (interna e externa), abrangência em escopo, simplicidade e fecundidade não têm a mesma relevância para a escolha de teorias do que a testabilidade; esse seria o fator decisivo de fato para caracterizar e demarcar uma teoria como científica.

É importante notar, entretanto, que Kragh (2014) argumenta que um ponto fundamental a ser levado em consideração é que, apesar da ênfase *retórica* dada pelos físicos e cosmólogos à importância da testabilidade, a prática científica e a interpretação acerca do conceito de testabilidade não são consenso entre esses sujeitos — como veremos

mais adiante. Além dessas questões, Kragh (*ibid.*, p. 6) ressalta a maneira como físicos na maior parte das vezes discutem versões ingênuas de um falseacionismo, identificando-o com a verificação e testabilidade de uma teoria a partir de interpretações simplistas ou errôneas do trabalho de Popper. O que abre a questão: qual a abordagem filosófico-metodológica que é utilizada para embasar a discussão sobre a testabilidade da Cosmologia?

3 Falseabilidade, Testabilidade e Cosmologia

Um ponto central da discussão de Kragh sobre a testabilidade está em identificar que existe uma ênfase retórica nesse critério em relação a outras formas de avaliação de teorias científicas:

Todos [...] os físicos concordam que a testabilidade é um valor epistêmico de importância crucial. Eles a consideram uma pré-condição indispensável para uma teoria ser científica: uma teoria que é cortada do confronto com dados empíricos simplesmente não pertence ao reino da ciência. A testabilidade pode, reconhecidamente, não ser relevante para todos os aspectos ou em todas as fases do desenvolvimento de uma teoria, mas, em última análise, não pode ser ignorada. Os teóricos do multiverso e das cordas não são exceção a esse *consenso retórico* que encontra expressão repetidamente na literatura. Mas uma coisa é a retórica, outra é a prática científica e a interpretação do conceito de testabilidade (Kragh, 2014, p. 51-52, grifo do autor).

Assim, ele reconhece que, apesar da importância do valor da testabilidade na construção, delimitação e escolha de teorias físicas, existem inúmeras questões que não são bem delimitadas, não são consenso ou são mesmo deixadas de lado por físicos e cosmólogos ao falarem sobre as teorias cosmológicas. São elas, conforme elenca Kragh (2014, p. 52):

i) Uma testabilidade de fato, ou seja, possibilitada por tecnologias que temos hoje ou em um futuro próximo, é sempre necessária, ou

podemos considerar suficiente uma testabilidade ‘em princípio’, ou em teoria?

ii) As consequências de uma teoria precisam ser precisas e diretamente testáveis, ou uma testabilidade ‘indireta’ — predições não testáveis que se seguem de teorias empiricamente já bem estabelecidas, por exemplo — seria suficiente?

iii) Uma teoria que tem como consequência predições que não são precisas, como distribuições de probabilidade, são testáveis? Uma teoria que determina um intervalo de possíveis valores para uma propriedade física observável, por exemplo, é testável?

iv) Testes de consistência matemática contam como testes teóricos suficientes?

v) Outros tipos de testes não empíricos — como experimentos de pensamento, ou reduções ao absurdo, que foram muito utilizados nas discussões de estado estacionário — têm um papel nessa testabilidade?

vi) Em que momento da construção e desenvolvimento de uma teoria ou programa de pesquisa devemos exigir que a testabilidade seja obrigatória de maneira razoável?

vii) Como a testabilidade — ou a falta dela — deve pesar em relação a outros aspectos epistêmicos da teoria, como poder explicativo e simplicidade? Uma teoria testável complicada, ou com pouco poder explicativo, é mais relevante que uma teoria não testável que o seja?

viii) A predição de fenômenos novos deve ser considerada mais importante que a predição ou explicação de fenômenos já conhecidos?

Além do reconhecimento dessa ênfase retórica e desses desacordos, Kragh (2014) identifica uma equiparação que muitas vezes ocorre nas falas de cientistas entre dizer que uma teoria é *testável* e dizer que uma teoria é *falseável*. De maneira independente às críticas recebidas por Popper, acerca do que ele conclui em *Conjecturas e refutações*, de que todo teste genuíno de uma teoria é uma tentativa de falsificá-la ou refutá-la (1963, p. 36), sua filosofia falseacionista tem sido

extremamente influente em uma ampla gama de áreas da ciência, incluindo a Física, e particularmente a Cosmologia. Para Kragh (2014, p. 5), essa articulação e importância da filosofia de Popper é particularmente visível nos campos da Astronomia, Astrofísica e Cosmologia — na Cosmologia, por exemplo, a doutrina do filósofo teve um importante papel no debate acerca das teorias de estado estacionário e muitos cientistas, segundo ele, mais do que os filósofos, a continuam tomando muito a sério. Assim, mesmo que filósofos da ciência não concordem necessariamente que testabilidade implica falseabilidade (*ibid.*, p. 52) — mas que também inclui critérios de verificação, teorias sobre equivalência empírica e avaliação de teorias baseada em evidência empírica — não é incomum que essa seja uma movimentação argumentativa no discurso de *cientistas*.

A questão principal para o autor aqui, portanto, não seria uma defesa de que a Cosmologia seria um campo científico mesmo tendo aspectos que não são testáveis nesses termos, mas sim de que não temos um consenso do que seria essa “testabilidade”, e em que aspectos ela seria (ou não) equivalente a uma falseabilidade em termos popperianos. Ao identificar os momentos em que esse movimento é feito, queremos justamente argumentar que testabilidade não implica necessária e incondicionalmente uma exigência dos critérios de Popper para a definição do que seria ciência. Passemos, portanto, a uma discussão de como essa autoridade do filósofo se faz presente no campo da Cosmologia.

3.1 A autoridade de Popper na Cosmologia

Adicionando elementos ao levantamento de Sovacool (2005) sobre a influência das ideias de Popper, Kragh (2014, p. 52) discute como cientistas dos campos da Astronomia e Cosmologia evocam as ideias do filósofo como um guia para a construção e avaliação de teorias, mesmo que eles raramente revelem uma maior ou sofisticada familiaridade com essas ideias. É importante notar aqui que essa é uma

evocação que parte de ambos os “lados” dos debates em torno de teorias cosmológicas, como é o caso das controvérsias em torno de multiverso, por exemplo. Muitas vezes a discussão passa a priori pela sustentação de que uma teoria seria “válida”, “adequada” ou científica em termos da descrição Popperiana.

Para o autor, as discussões em torno dos méritos ou falhas popperianas feitas por cosmólogos e físicos são de extrema simplificação, muitas vezes baseadas em concepções errôneas ou ingênuas das discussões do filósofo:

A notável visibilidade de Popper na cosmologia moderna deve ser entendida em seu contexto apropriado, que é retórico e sociológico, em vez de científico. Referências às suas visões sobre ciência, às vezes explícitas e outras vezes implícitas, são geralmente resumidas a uma versão muito simplificada do critério de falseabilidade (Kragh, 2021, p. 65).

Um exemplo que podemos analisar dessa utilização ingênua do falseacionismo popperiano está na defesa do (então novo) modelo cosmológico padrão (Λ CDM) pelo astrofísico Michael Turner, em sua revisão do estado da Cosmologia no novo milênio:

Um novo modelo cosmológico, inspirado pela inflação mais a matéria escura fria, aspira ao título de cosmologia padrão. No entanto, com sua matéria escura não identificada e energia escura misteriosa, ele está atualmente muito em um limbo. De acordo com Karl Popper, é isso que teorias fortes fazem! [...] Inflação + matéria escura fria é ouvida e testável (Turner, 2001, p. 656).

É interessante notar como essa caracterização é feita sem nenhuma citação explícita a um texto de Popper, ou qualquer menção ou discussão do seu falseacionismo de maneira mais robusta ou detalhada ao longo do artigo.

Alguns anos mais tarde, Smolin (2007) argumenta contra o princípio antrópico, ao considerá-lo não científico por não configurar em

nenhuma “predição falseável”, apelando para um “imperativo ético” que a falseabilidade tem sobre as teorias científicas:

Escolhi um título deliberadamente provocativo, para comunicar uma sensação de frustração que senti por muitos anos sobre como pessoas sensatas, algumas das quais estão entre os cientistas que mais respeito e admiro, defendem uma abordagem para problemas cosmológicos que é facilmente vista como não científica. Estou me referindo, é claro, ao princípio antrópico. Ao chamá-lo de não científico, quero dizer algo muito específico, que é que ele não tem uma propriedade necessária para ser considerado uma hipótese científica. Isto é, que seja *falseável*. [...] Portanto, para evitar que o progresso da ciência pare, ou seja, para preservar o que torna a ciência geralmente bem-sucedida, os cientistas têm um imperativo ético de considerar apenas teorias falseáveis como explicações possíveis de fenômenos naturais (Smolin, 2007, p. 323-24, grifo do autor).

É notável a frustração do autor, expressa pelo sentimento de que a falseabilidade em termos popperianos seria algo extremamente seminal para determinar a cientificidade de uma teoria. E, mesmo que ele considere — brevemente — possíveis críticas e alternativas a Popper, o falseacionismo é tido como inabalável na prática científica.

Entretanto, apesar de essa ser a noção principal que justifica seu argumento durante o restante do texto, Smolin não se propõe a discutir o que seria essa falseabilidade, e nem propõe qualquer discussão mais aprofundada do conceito na obra do filósofo. Em uma nota de rodapé, na introdução do texto, no momento em que ele evoca a autoridade do filósofo pela primeira vez, o físico indica que não irá discutir o presente status da discussão da noção de falseabilidade. Entretanto, apesar dessa falta de discussão sobre o conceito, ele segue utilizando essa noção ao longo do restante do artigo para discutir o que ele considera como uma alternativa de fato científica para o problema do princípio antrópico — alternativa essa que passa pela identificação de que previsões falseáveis podemos fazer a partir de teorias de multiverso.

Aqui vemos, portanto, o que Kragh (2013, 2021) caracteriza como esse apelo a uma autoridade da falseabilidade popperiana, sem reservas, e também sem familiaridade ou referências de fato do que foi discutido pelo filósofo. Como indicado pelo autor, esse apelo tem lugar em discussões mais abrangentes, livros de popularização e divulgação ou palestras públicas, e raramente de fato em artigos de pesquisa, em que as ideias de Popper sejam citadas explicitamente:

Quando cosmólogos e outros cientistas comentam sobre as falhas e méritos da filosofia da ciência de Popper, isso é feito normalmente em uma versão folclórica primitiva, que tem pouca semelhança com o que de fato Popper pensou e escreveu. A frase ‘de acordo com Popper’ tipicamente é seguida pela afirmação de que uma boa teoria científica deve ser falseável, ou até mesmo pela afirmação absurda de que se uma teoria é falseável, então ela também é científica (Kragh, 2021, p. 65).

Essa autoridade do filósofo é invocada não apenas por defensores, mas também por críticos em debates sobre teorias de multiverso. Para o historiador da ciência, esse é o caso também na discussão sobre o estado estacionário nos anos 1950. Assim, como os padrões científicos estabelecidos por Popper normalmente são aceitos por cientistas em ambos os lados de uma controvérsia, eles raramente são assunto discutido na literatura científica — mesmo que discutida e criticada por outros filósofos, astrônomos e físicos geralmente estão satisfeitos com a visão de ciência popperiana, ou, ao menos, são “indiferentes” à discussão (Kragh, 2021, p. 61).

Essa “unanimidade” em se utilizar Popper como um referencial teórico — pressuposto — é ilustrada, por exemplo, nas palavras do cosmólogo Aurélien Barrau, defensor de uma hipótese de multiverso:

Exceto em alguns casos favoráveis — por exemplo quando todos os universos do multiverso apresentam uma dada característica que é incompatível com o nosso universo — é difícil refutar explicitamente um modelo no multiverso. Mas difícil na prática não quer dizer

intrinsecamente impossível. O multiverso permanece dentro do reino da ciência popperiana. Não é qualitativamente diferente de outras propostas associadas com a maneira usual de se fazer física. [...] Além disso, a falseabilidade é apenas um critério entre muitos possíveis, e provavelmente não deveria ser super-determinada (Barrau, 2007, p. 13).

Portanto, vemos que a questão central na discussão muitas vezes não passa de fato por uma contestação ou discussão da filosofia popperiana, ou nem sempre se mostra mais ‘radical’ em sugerir uma possível mudança epistêmica drástica. Trata-se, na verdade, de mostrar como a teoria em questão de fato pode se encaixar em uma abordagem popperiana, reiterando-se ainda a necessidade de algum grau de falseabilidade — a questão é discutir o que de fato entende-se por uma teoria falseável, e discutir o peso que esse critério deve ter sobre outros.

Essa parece ser uma constante entre os defensores de teorias cosmológicas que são “acusadas” de serem não científicas pela falta de falseabilidade — um movimento argumentativo para demonstrar a maneira como essas teorias são, na prática, muito semelhantes a outras teorias mais bem estabelecidas na Física, e de que não precisaríamos de uma ‘revolução epistêmica’ para tratar delas enquanto teorias científicas. A explicitação do que seriam esses padrões e critérios a serem seguidos é o que estaria em jogo. Trata-se, portanto, de um movimento de muitas vezes tentar encaixar essas teorias nos moldes popperianos, e o que entra em jogo são as questões não bem definidas sobre o que estamos tratando como testável ou falseável, e qual o peso que daremos a esses critérios entre outros.

Lazutkina (2021), entretanto, vai além e discute a maneira com a qual mesmo os cosmólogos que apelam para as visões metodológicas de Popper mais fervorosamente (como é o caso sobretudo de críticos como Smolin e Ellis) não reconhecem que mesmo aspectos considerados hoje como “padrão” e mais bem estabelecidos de teorias cosmológicas também não se manteriam, rigorosamente, nesses termos.

Muitas características do modelo padrão são apresentadas como fatos comprovados. Alguns cosmólogos e filósofos da cosmologia parecem reconhecer as limitações metodológicas da cosmologia e a tentativa do modelo atual favorecido por um lado, mas também falam dos “sucessos” e “descobertas” da disciplina, como se fossem questões resolvidas (Lazutkina, 2021, p. 114-115).

4 Considerações finais

Buscamos ao longo deste texto apresentar uma discussão acerca de questões filosóficas em torno do campo da Cosmologia Científica, sobretudo as que dizem respeito à testabilidade empírica de teorias. A discussão relativa aos limites físicos, metodológicos e epistêmicos impostos à Cosmologia pretende evidenciar a maneira como o campo tem questões a serem exploradas por filósofos da ciência que podem — e devem — orientar as discussões feitas por cientistas da área.

Uma análise mais cuidadosa acerca da testabilidade nos permitiu discutir a maneira como esse critério é enfatizado — tanto contemporaneamente quanto historicamente — no campo da Cosmologia. Apesar de sua relevância epistêmica, vimos que muitas vezes essa ênfase é apenas retórica, e diversos aspectos em torno desse conceito não são bem delimitados e nem mesmo discutidos pelos cientistas. A falta dessa caracterização do que seria essa testabilidade nos sugere olharmos para a maneira como de fato julgamos o sucesso empírico das teorias físicas. Além disso, procuramos entender como essa testabilidade é tida como equivalente a uma falseabilidade popperiana, que também é pouco discutida de fato pelos interlocutores.

Entendemos que essa autoridade de Popper, sobretudo uma ênfase exacerbada da falseabilidade de maneira ingênua, contribui para uma espécie de circularidade dos debates. Além de não contemplarem efetivamente a prática científica, sobretudo de áreas da Física Teórica, esses “ataques” por vezes limitam a pesquisa e o entendimento acerca da Cosmologia, além de contribuírem para uma visão muito difundida

entre cientistas de que a Filosofia não teria lugar nas discussões científicas. Assim, defendemos que, dada a natureza filosófica de muitas das questões em Cosmologia, o campo pode se beneficiar muito de uma interação maior — e mais sistemática e rigorosa — com a Filosofia da Ciência, sobretudo nesse contexto de debates entre teorias. Outras perspectivas — já bastante discutidas por filósofos da ciência — sobretudo sobre adequação empírica, poderiam orientar discussões tanto metodológicas quanto epistêmicas no campo, oferecendo uma perspectiva mais alinhada com a prática científica contemporânea.

Referências

- BARRAU, A. Physics in the multiverse: an introductory review. *CERN Courier*, v. 47, n. 10, p. 13-17, 2007.
- BEISBART, C. Can we justifiably assume the cosmological principle in order to break model underdetermination in cosmology? *Journal for General Philosophy of Science*, v. 40, n. 2, p. 175-205, 2009.
- BEISBART, C. Moving boundaries? Comments on the relationship between philosophy and cosmology. In: CHAMCHAM, K; SILK, J.; BARROW, J. D.; SAUNDERS, S. (orgs.). *The philosophy of cosmology*. Cambridge: Cambridge University, p. 66-75, 2017.
- BRUSH, S. G. How cosmology became a science. *Scientific American*, v. 267, n. 2, p. 62-70, 1992.
- DI VALENTINO, E. Challenges of the standard cosmological model. *Universe*, v. 8, n. 8, artigo 399, p. 1-15, 2022.
- DODELSON, S.; SCHMIDT, F. *Modern cosmology*. 2ª ed. London: Academic, 2021.
- ELLIS, G. F. R. Issues in the philosophy of cosmology. In: BUTTERFIELD, J.; EARMAN, J. (orgs.). *Handbook of Philosophy of Physics*, Part B. Dordrecht: North Holland, p. 1183-1286, 2007.
- ELLIS, G. F. R. The domain of cosmology and the testing of cosmological theories. In: CHAMCHAM, K; SILK, J.; BARROW, J. D.; SAUNDERS, S. (orgs.). *The philosophy of cosmology*. Cambridge: Cambridge University, p. 3-39, 2017.

- ELLIS, G.; SILK, J. Scientific method: defend the integrity of physics. *Nature*, v. 516, p. 321-23, 2014.
- KRAGH, H. *Cosmology and controversy: the historical development of two theories of the universe*. Princeton: Princeton University Press, 1996.
- KRAGH, H. Nuclear archaeology and the early phase of physical cosmology. In: MARTÍNEZ, V. J.; TRIMBLE, V.; PONS-BORDERÍA, M. J. (orgs.). *Historical development of modern cosmology*. (ASP Conference Series, v. 252.) San Francisco: Astronomical Society of the Pacific, p. 157-69, 2001.
- KRAGH, H. Contemporary history of cosmology and the controversy over the multiverse. *Annals of Science*, v. 66, p. 529-51, 2009.
- KRAGH, H. The most philosophically important of all the sciences: Karl Popper and physical cosmology. *Perspectives on Science*, v. 21, n. 3, p. 325-57. 2013.
- KRAGH, H. Testability and epistemic shifts in modern cosmology. *Studies in History and Philosophy of Modern Physics*, v. 46, p. 48-56, 2014.
- KRAGH, H. Cosmology and the origin of the universe: historical and conceptual perspectives. Disponível em: <https://arxiv.org/pdf/1706.00726>, p. 1-31, 2017. Publicado em espanhol, in: DE RADA, A. D. (org.). *Las formas del origen*. Madrid: Trotta, 2021.
- KRAGH, H. Karl Popper and modern cosmology: his thoughts and their impact. In: PARUSNIKOVÁ, Z.; MERRITT, D. (orgs.). *Karl Popper's science and philosophy*. Cham: Springer, p. 53-68, 2021.
- LAZUTKINA, A. The application of Popperian methodology to contemporary cosmology. In: PARUSNIKOVÁ, Z.; MERRITT, D. (orgs.). *Karl Popper's science and philosophy*. Cham: Springer, p. 97-117, 2021.
- MUNITZ, M. K. The logic of cosmology. *British Journal for the Philosophy of Science*, v. 13, n. 49, p. 34-50, 1962.
- PEARCE, J. V. *Historicizing cosmology: the shifting scenes of modern cosmological inquiry*. Ph.D. thesis, History and Philosophy of Science Program, University of Melbourne, Austrália, 2015.
- POPPER, K. R. *Conjectures and refutations*. New York: Routledge. 1963. Em português: *Conjecturas e refutações*. Trad. S. Barth. Brasília: Ed. da UnB, 1972.
- SANDAGE, A. R. Cosmology: a search for two numbers. *Physics Today*, v. 23, n. 2, p. 34-41, 1970.

- SMEENK, C. Philosophy of cosmology. In: BATTERMAN, R. (org.). *The Oxford handbook of philosophy of physics*. Oxford: Oxford University Press, Cap. 17, p. 1-59, 2013.
- SMEENK, C. Testing inflation. In: CHAMCHAM, K; SILK, J.; BARROW, J. D.; SAUNDERS, S. (orgs.). *The philosophy of cosmology*. Cambridge: Cambridge University, p. 206-27, 2017.
- SMOLIN, L. Scientific alternatives to the anthropic principle. In: CARR, B. (org.). *Universe or multiverse?* Cambridge: Cambridge University Press, p. 323-66, 2007.
- SOVACOOOL, B. Falsification and demarcation in astronomy and cosmology. *Bulletin of Science, Technology & Society*, v. 25, p. 53-62, 2005.
- TOLMAN, R. C. Models of the physical universe. *Science*, v. 75, p. 367-73, 1932.
- TOULMIN, S. Historical inference in science: geology as a model for cosmology. *The Monist*, v. 47, n. 1, p. 142-58, 1962.
- TURNER, M. S. A sober assessment of cosmology at the new millennium. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, v. 113, p. 653-57, 2001.
- ZINKERNAGEL, H. Philosophical aspects of modern cosmology. *Studies in History and Philosophy of Modern Physics*, v. 46, p. 1-4, 2014.

Realismo matemático e ontologia da Física na teoria dos três mundos de Roger Penrose

Vinícius Carvalho da Silva¹

DOI: <https://doi.org/10.58942/eqs.207.09>

1 Introdução

Em obras como *The road to reality*, *Sombras da mente* e *A mente nova do imperador*, o físico matemático, cosmólogo e filósofo britânico Roger Penrose se debruça sobre a mais tradicional das questões metafísicas: Qual é a natureza última da realidade? Seu objetivo é investigar o nível ontológico fundamental, a tessitura do real em sua dimensão mais básica, para, a partir daí, (re)fundar a Física sobre uma base metafísica suficientemente ampla e profunda a ponto de acomodar as relações entre as realidades matemática, física e mental.

Sua proposta, que chamamos de Teoria dos Três Mundos, assume um platonismo matemático, de acordo com o qual o “Mundo platônico das formas matemáticas eternas” corresponde ao Mundo 1, o nível ontológico fundamental, a partir do qual emerge e se organiza o Mundo Físico, de natureza espaço-temporal, onde estruturas materiais se formam e tornam-se cada vez mais complexas, até a emergência de formas vivas dotadas de consciência, donde se origina o terceiro mundo, o Mundo Mental, que, por sua vez, volta-se, por meio do entendimento, tanto para o mundo físico quanto para o mundo

¹ Professor da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.

E-mail: vinicius_c_silva@ufms.br

matemático. Sendo assim, apesar de (parecer) haver uma hierarquia entre os três mundos, todos estão entrelaçados, de modo que paradoxalmente cada um parece emergir, ou ao menos ser objeto de compreensão, a partir de uma pequena parte do mundo precedente, formando um circuito $M1 \rightarrow M2 \rightarrow M3 \rightarrow M1(\dots)$.

Penrose postula a realidade objetiva dos três mundos, bem como sua unidade em um nível ontológico ainda não compreendido por nós. Sua defesa é a de que tal teoria pode oferecer à ciência a meta-física capaz de sustentar uma “nova física” que abarque tanto o mundo físico quanto o mundo mental, possibilitando, portanto, um tratamento físico da consciência por meio de matemáticas não-computacionais.

Nesse trabalho analisaremos a teoria dos três mundos de Penrose, o lugar que o realismo matemático ou platonismo ocupa nela e o paradoxo do ‘emaranhamento’ ou ‘entrelaçamento ontológico’ entre os mundos matemático, físico e mental.

2 Sobre a natureza das entidades matemáticas em uma concepção realista

A geometria é o conhecimento do que existe sempre.
Platão. *A república*, Livro VII, 527b.

Realismo matemático, ou “platonismo”, é o nome que se dá, em Filosofia da Matemática, à doutrina metafísica que atribui realidade objetiva, independente da mente, às entidades matemáticas. As verdades matemáticas, posto que existam *per si*, seriam descobertas, e não inventadas. Assim como pretensos “descobridores” não inventaram o “Novo Mundo”, que estava lá, dotado de existência antes da chegada dos infaustos invasores, as estruturas, entidades e enfim, verdades matemáticas também existiriam, livres de qualquer traço sensível, de toda e qualquer propriedade empírica, *ad aeternum*, antes de serem desveladas completa ou parcialmente por nós. Em Filosofia da Matemática, portanto, ser platonista é defender uma forma de realismo aplicado a objetos matemáticos. Conforme Julius Moravcsik, em *O platonismo na*

Filosofia da Matemática e na ontologia geral (Moravicsik, 2006, p. 276-277), os realistas matemáticos, que defendem a “concepção de matemática de Platão”, acreditam que:

1. Entidades matemáticas existem objetivamente, independente da mente, e são ontologicamente fundamentais, isto é, são anteriores a toda experiência e fenômeno físico.

2. As verdades matemáticas, portanto, são descobertas, e não inventadas ou “construídas”.

3. As entidades matemáticas são gerais ou “universais”.

4. As entidades matemáticas são abstratas, não estão, em si e diretamente, no espaço e no tempo.

5. O conhecimento de tais entidades se dá por “idealização”, posto que não são diretamente acessadas.

6. O nível matemático, é, portanto, o mais “genuíno” ou “mais fundamental” da realidade.

7. O mais básico e profundo é também o mais elevado, isto é, as entidades matemáticas “estão no nível mais elevado das hierarquias explicativas ontológicas que constituem a realidade”.

Pela descrição de Moravicsik, vemos que o realismo platônico se desvincula totalmente do materialismo e do fisicalismo. A pergunta “Como as entidades matemáticas podem ser reais se são abstratas, e, logo, não materiais, e não podem ser reduzidas a objetos físicos que existem no espaço e no tempo?” não é um problema autêntico para os platonistas. Trata-se, na verdade, de um falso problema que nasce da confusão entre termos como “real”, “material” e “físico”. O pressuposto metafísico fundamental do platonismo é justamente o de que o real não é material. A natureza última da realidade não deve ser procurada no mundo material, o mundo sensível, da experiência, mas no mundo das Formas, de natureza abstrata e ideal.

De partida, “ser material” e “ser físico” não constituem propriedades ontológicas do que é real. E o que constitui? Vimos acima uma lista de sete itens. Mas, em suma, se quisermos responder selecionando apenas uma propriedade básica, ela deve ser a da objetividade. Se uma

entidade real é ontologicamente fundamental, então sua existência é objetiva, isto é, independente da mente.

E como podemos penetrar no mundo das entidades matemáticas? Com qual linguagem, qual “gramática”, com qual notação simbólica desvelaremos o mundo dos entes matemáticos? Ora, com Aristóteles (*Metafísica*, 1033a33) aprendemos que “‘Ente’ se diz de muitas maneiras”. Matemáticos de sociedades e períodos históricos diversos (e em um *Gedankenexperiment*, de civilizações de planetas diversos) podem possuir linguagens (ou matemáticas) tão diferentes entre si quanto o são os nossos idiomas, ou mais radicalmente, quanto o são os meios de comunicação de humanos e golfinhos, por exemplo. Matemáticos extraterrestres poderiam se comunicar em linguagens radicalmente distintas da humana para expressar os mesmos conteúdos que nós.

Como será que escreveriam o valor de π , expressariam que $\sqrt{-1} = i$, ou calculariam a precessão do periélio de um planeta como Mercúrio? Ora, muito mais importante do que saber se chegaremos ao “Novo Mundo” utilizando caravelas, galés, submarinos, helicópteros, jatos supersônicos ou pegando um atalho em uma ponte de Einstein-Rosen, é se a terra firme tão almejada de fato existe. Se existir, existe independente dos nossos meios de transporte! O realista matemático não é aquele que acredita na existência objetiva dos símbolos matemáticos, de fórmulas, equações, da linguagem M ou M' , mas, em sentido mais abstrato, do conteúdo matemático que pode “ser dito de muitas maneiras”. A matemática com que o mundo foi escrito está para além das formas simbólicas. É pura ordem, harmonia, regularidade, simetria, proporção etc.

Em *Filosofia da matemática*, Stewart Shapiro estabelece, de partida, a distinção entre platonistas e intuicionistas. Para Platão “os objetos matemáticos como números e objetos geométricos não são criados e destruídos”. Não se trata da fórmula matemática simbólica, da linguagem formal, mas da forma matemática abstrata. É o “conteúdo matemático”, que existe em um “reino ideal, eterno e imutável” (Shapiro, 2015, p. 20). Os objetos matemáticos são ideais por não serem físicos,

materiais e espaciais, e não por serem “fictícios”. Eles não poderiam ser criações ou ficções se são eternos. Posto que sejam eternos, não podem ter vindo a ser, existiam antes não somente de todo e qualquer ser sentiente e linguagem simbólica, como também de toda matéria, do espaço e do tempo. Já “os intuicionistas tradicionais” pensam “o exato oposto de Platão, defendendo que os objetos matemáticos são construções mentais” (Shapiro, 2015, p. 22).

Para Platão “o conteúdo da geometria é um reino de objetos que têm existência independente da mente humana, da linguagem, e assim por diante”. Deste modo, Platão é realista tanto em sua teoria da verdade quanto em sua ontologia.² Conhecer a verdade dos objetos matemáticos é conhecer sua realidade objetiva, isto é, sua existência independente da mente (Shapiro, 2015, p. 76).

3 O Platonismo de Penrose

Os números naturais estavam lá antes de existirem seres humanos, ou mesmo qualquer criatura neste planeta, e eles permanecerão quando nossas vidas acabarem.
Roger Penrose, em *Sombras da Mente*

O prêmio Nobel de Física, Roger Penrose, em inúmeras obras defende o que chama de “platonismo”. Mas em que medida Penrose seria platonista? Conforme Daniel Heredia, “Penrose entende que as matemáticas possuem uma verdade atemporal, que existem por si mesmas. Tudo o que podemos conhecer delas já está previamente estabelecido em um mundo à parte” (Heredia, 2020, p. 109). Mas qual é a natureza das entidades compreendidas por essa “verdade atemporal”? Quais entidades fazem parte de tal plano? Para Heredia:

² O que Batista Neto (2021, p. 305) escreve acerca de Aristóteles cabe perfeitamente para Platão: “Seguindo terminologia adotada por Shapiro (p. 25ss), atribuímos a Aristóteles tanto a posição de *realista em valor de verdade* (*realist in truth-value*) quanto de *realista em ontologia* (*realist in ontology*)”. Se Platão e Aristóteles defendem, ambos, ontologias realistas, o que os difere é como definem o que é real e como pensam os modos de ser de entidades, tais como objetos matemáticos, objetos físicos etc.

Os enunciados matemáticos que podem pertencer ao mundo de Platão são precisamente aqueles que são objetivamente verdadeiros, de modo que eu consideraria que a objetividade matemática é realmente o objeto do platonismo matemático. Dizer que uma afirmação matemática tem existência platônica é, em poucas palavras, dizer que é verdadeira em um sentido objetivo (Heredia, 2020, p. 108).

Sendo assim, as verdades matemáticas seriam platônicas na medida em que fossem objetivas. Por objetividade entendemos aqui a propriedade de um ente natural existir desta ou daquela forma, com esta ou aquelas características, independente de ser objeto de percepção e conhecimento. Isto é, X de Y é objetivo se, e somente se, Y existe em si, independente de ser percebido ou conhecido, e X é atributo objetivo de Y . Dito de outra forma, aquilo que é de natureza objetiva possui uma realidade externa, o que, em suma, significa *externa à mente*, no sentido de ser independente dela.

De fato, a própria matemática parece ter uma robustez que vai muito além do que qualquer matemático é capaz de perceber. Aqueles que trabalham com esse assunto, quer estejam ativamente engajados em pesquisas matemáticas ou apenas usando resultados obtidos por outros, geralmente sentem que são apenas exploradores em um mundo que está muito além deles mesmos — um mundo que possui uma objetividade que transcende a mera opinião, seja ela própria ou a suposição de outros, não importa quantos esses outros sejam. Pode ser útil se eu apresentar o caso da existência real do mundo platônico de uma forma diferente. O que quero dizer com essa “existência” é, na verdade, apenas a objetividade da verdade matemática. A existência platônica, a meu ver, refere-se à existência de um padrão externo objetivo que não depende de nossas opiniões individuais nem de nossa cultura particular (Penrose, 2004, p. 13).

Está claro que se x é uma entidade objetiva então possui uma ontologia em sentido forte. Deve ser não somente possível, como necessário, falar sobre a “natureza” de x em sentido metafísico. No entanto, frisa Penrose, tal natureza não é “mística”. Nesse caso x não pode assumir a forma de puro fenômeno, de “convecção social” ou “linguística”. Nenhuma solução nominalista, sensualista, positivista, ou, em

suma, antirrealista será satisfatória. No entanto, devemos estar atentos para o fato de que uma verdade matemática, que existe objetivamente, não pode possuir o mesmo tipo de “objetividade física” que os objetos materiais possuem:

As formas matemáticas do mundo de Platão claramente não têm o mesmo tipo de existência que os objetos físicos comuns, como mesas e cadeiras. Elas não têm localizações espaciais nem existem no tempo. As noções matemáticas objetivas devem ser pensadas como entidades atemporais e não devem ser consideradas como tendo sido conjuradas para a existência no momento em que são percebidas humanamente pela primeira vez (Penrose, 2004, p. 17).

Reformulamos a sentença de Heredia sobre quais entidades podem habitar o mundo platônico de Penrose, da seguinte maneira: “os enunciados matemáticos — cujos objetos são inespaiais e atemporais — que podem pertencer ao mundo de Platão são precisamente aqueles que são objetivamente verdadeiros”³.

4 Penrose e a relação ontológica entre os Três Mundos

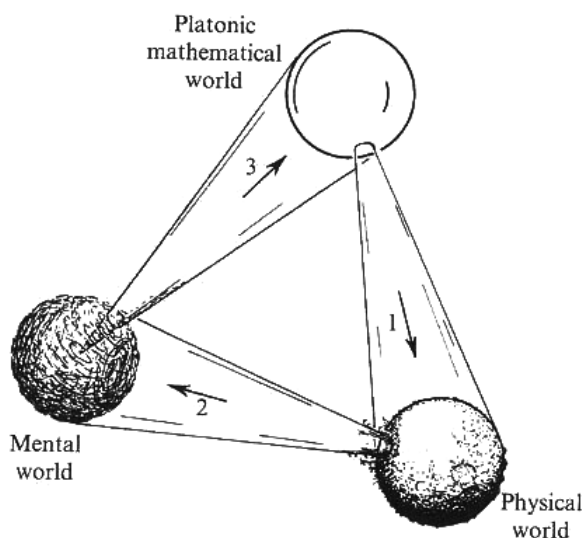
A apreensão intelectual da unidade pode pertencer ao número [das coisas] que incitam e voltam o espírito para a contemplação do Ser.
Platão, *A República*, Livro VII, 525a.

Sem dúvida não existem realmente três mundos, mas um, cuja natureza ainda não conseguimos nem mesmo imaginar nos dias de hoje.
Roger Penrose, em *Sombras da Mente*

³ Por economia e simplicidade, Penrose (2004, p. 22) coloca no “mundo platônico das formas” apenas as “formas matemáticas”, mas, por posição pessoal, admite que não teria problemas em considerar a existência de outros universais: “Tomei a noção de Platão de um ‘mundo de formas ideais’ apenas no sentido limitado de formas matemáticas. A matemática tem uma preocupação fundamental com o ideal particular da *Verdade*. O próprio Platão teria insistido que há dois outros ideais absolutos fundamentais, a saber, o do *Belo* e o do *Bem*. Não me oponho de forma alguma a admitir a existência de tais ideais, e a permitir que o mundo platônico seja ampliado de modo a conter absolutos dessa natureza”.

Como vimos, em obras como *The road to Reality*, *Sombras da Mente* e *A mente nova do imperador*, Roger Penrose se assume como platonista. Seu platonismo é uma posição metafísica que extrapola o âmbito da Filosofia da Matemática, encontrando-se na base de sua ontologia para objetos físicos e mentais. Dito de outra forma, Penrose assume um platonismo como fundamento ontológico de suas concepções em Matemática, Física/Cosmologia e Filosofia da Mente. Qual seja: a “inteligência” emerge de regularidades e estruturas objetivas do mundo físico, assim como tais entidades e processos físicos emergem de relações e verdades matemáticas objetivas.

Figura 1 – Relação entre os três mundos de Penrose



Fonte: Penrose, 2004, p. 18.

O físico filósofo defende a existência do que chama de “mundo platônico das formas matemáticas”, cuja realidade objetiva seria anterior, independente e ontologicamente fundamental em relação (I) ao “mundo físico” e (II) ao mundo mental.

“Conforme a figura [1]”, nos diz Penrose (2004, p. 18), “todo o mundo físico é representado como sendo governado de acordo com leis matemáticas”. Tais leis não seriam inventadas ou historicamente

“construídas” pelo engenho humano, mas possuiriam realidade em si. Isso significa não somente que as entidades e verdades matemáticas seriam reais, mas que seriam mais fundamentais do que as entidades físicas e mentais, isto é, que o mundo matemático constituiria a natureza última da realidade. Entre os três mundos de Penrose podemos notar algumas relações ontológicas e formais, que sistematizaremos, ao nosso modo, da seguinte maneira:

1. *Hierarquia metafísica ou “ordenamento ontológico ascendente”*: O mundo platônico das formas matemáticas (M1) é o mais fundamental. O mundo físico (M2) é matematicamente estruturado por este. O mundo mental (M3) é fisicamente estruturado por M2.
2. *Extensão e emergência ontológica*: Uma pequena parte de M1 se “aplica” a M2 — ou seja, M2 “emerge” de uma pequena extensão de M1 — e uma pequena parte de M2 se aplica a M3.
3. *Retroação ontológica*: O mundo mental (M3) tem por objeto de conhecimento o mundo físico (M2) e o mundo platônico das formas matemáticas (M1) — não necessariamente M2 antes de M1.

O modo como esses três mundos estão conectados, isto é, as relações entre esses três níveis ontológicos, encerram, nas palavras de Penrose, três grandes mistérios. O primeiro mistério é o da emergência do mundo físico a partir de uma pequena fração do mundo matemático: “Com relação ao primeiro desses mistérios — relacionar o mundo matemático platônico ao mundo físico —, é possível notar que estou admitindo que apenas uma pequena parte do mundo da matemática precisa ter relevância para o funcionamento do mundo físico” (Penrose, 2004, p. 18).

Dois problemas se colocam aqui. Primeiro, o de saber se o mundo matemático, por ser abstrato, ideal, e intelectível, não é em si mesmo um mundo mental — uma criação da mente. O segundo, o de saber se Penrose considera realmente que esse mundo platônico seja a camada mais básica, mais profunda, do real, o nível fundamental — a

natureza última da realidade. Com relação a primeiro ponto, Penrose considera que uma compreensão “mentalista” do mundo matemático platônico seria absolutamente contrária ao pensamento do próprio Platão: “Ver o mundo platonico dessa maneira — somente como um produto da nossa própria mentalidade — estaria bastante em conflito com as concepções do próprio Platão. Para ele, o mundo das formas perfeitas é primário, sendo eterno e independente de nós” (Penrose, [1994] 2021, p. 534).

Penrose revela aqui uma dimensão aporética de sua teoria dos três mundos, algo que o deixa “desconfortável”. Em uma visão platônica estrita, na Fig. 1, a seta deveria ir do mundo platônico para o mundo mental, e não o contrário. Penrose não quer se filiar ao que considera como uma posição kantiana, isto é, à visão de que o mundo matemático é um produto do mundo mental. Seu esforço aqui é mostrar justamente a perplexidade desse mistério: o mundo platônico é ontologicamente anterior, ainda assim, o mundo mental pode apreendê-lo. A relação vetorial da Fig. 1, com a seta apontando do mundo mental para o mundo matemático, não deve ser encarada, de modo algum, como uma proposta mentalista. Com isso, o segundo problema se responde. É do mundo matemático que emergem os demais níveis da realidade: “Para mim, o mundo das formas perfeitas é primário (como era a crença do próprio Platão) — sua existência sendo quase uma necessidade lógica — e ambos os outros mundos são suas sombras” (Penrose, 2021, p. 534).

Ao enfrentarmos o primeiro mistério, tivemos que superar a hipótese mentalista e reforçar o compromisso metafísico com o platonismo da Teoria das Formas, de acordo com o qual o Mundo Intelectível é a realidade primária e o Mundo Sensível sua sombra, ou seu reflexo imperfeito, como aparece no início do Livro VII da *A República* (514-515).

O segundo mistério é o da emergência da inteligência, associada a formas de vida complexas, a partir de uma pequena parte do mundo físico — parte em que a matéria se organizou, formando

estruturas como o cérebro humano, o sistema nervoso central etc: “Da mesma forma, em relação ao segundo mistério, segundo o qual a atividade mental surge em associação com certas estruturas físicas, não estou insistindo que a maioria das estruturas físicas precisa induzir a mentalidade” (Penrose, 2004, p. 18).

Assim como a maioria das verdades, entidades e relações matemáticas não organizam o mundo material (o mundo matemático é incomensuravelmente mais vasto que o mundo físico), a maioria das estruturas, entidades e processos físicos não produzem atividade mental, e portanto, inteligência. Por último, o terceiro grande mistério se deve ao fato de que essa inteligência autoconsciente, que surge em uma diminuta fração do mundo material, que se organiza e se estrutura a partir de uma pequena parte do mundo matemático, pode para ele se voltar, pode “dobrar-se” sobre si mesmo e sobre o real, de tal modo que o próprio mundo matemático, apreendido em alguma medida pela inteligência, revela-se um “mundo intelectível”.

A atividade mental, no entanto, não esgota todos os seus recursos explorando o inesgotável mistério do mundo matemático. Pelo contrário, somente uma pequena parte da inteligência se volta para a compreensão do mundo intelectível:

Por fim, para o *terceiro* mistério, considero auto-evidente que apenas uma pequena fração de nossa atividade mental precisa se preocupar com a verdade matemática absoluta! (É mais provável que estejamos preocupados com as diversas irritações, prazeres, preocupações, excitações e coisas do gênero que permeiam nossa vida diária) (Penrose, 2004, p. 18).

O mistério da relação entre os mundos, em suma, é que “cada mundo parece ‘emergir’ somente de uma minúscula parte daquele que o precede (Penrose, 2021, p. 535). Isso significa que cada nível de realidade é vasto, profundo e fecundo, e que o nível subsequente “parece emergir” apenas de uma região do nível antecedente. Vimos, no entanto, que em relação aos mundos mental e matemático, o termo “parece” é absolutamente fundamental. De fato, o mundo matemático não

pode emergir do mundo mental. Aqui, é uma diminuta parte do mundo mental que se ocupa de uma (diminuta) parte do mundo matemático. No limite, contudo, sem debruçar-se sobre tal questão, apenas indicando-a em *Sombras da mente*, Penrose acredita que os três mundos são um. Tudo é Um. Ainda que esse mistério maior não possa ser “nem mesmo” imaginado por nós. Não trataremos do problema da unidade nessa ocasião, mas tampouco podemos nos furtar de indicá-lo.

5 Considerações finais

- Mas realmente o cálculo e a aritmética são totalmente consagradas ao número?
 - Totalmente.
- Essas ciências parecem, certamente, conduzir à verdade.
Platão, *A república*, Livro VII, 525b.

Em que pese as aporias, os problemas que permenecerão sem resposta, como os mistérios envolvidos nas relações dos três mundos entre si, ou no mistério maior da unidade dos três mundos, o que a teoria dos três mundos avança, ancorada fortemente no platonismo tal “como era a crença do próprio Platão!”, enfatiza Penrose, é um programa metafísico que toma a matemática como resposta para algumas questões filosóficas e científicas fundamentais, como a natureza última da realidade, a estrutura fundamental da matéria e a possibilidade de uma física matemática (não computacional) da consciência. Em suma, a chamada “refundação da Física”, se o termo for de fato apropriado, se dá por meio de uma radicalização do programa de matematização da física e geometrização da natureza. A Matemática, em Penrose, não é uma linguagem, um sistema formal, um instrumento de representação simbólica, mas o próprio conteúdo mais “duro” e primário do real. A radicalização do programa metafísico de matematização da física se dá às custas da dessubstancialização da matéria:

Quanto mais profundamente investigamos a natureza da matéria, mais vaga, misteriosa e matemática a matéria em si parece ser.

Poderíamos muito bem nos perguntar: o que é a matéria, segundo as melhores teorias que a ciência foi capaz de fornecer? A resposta vem em forma de matemática, não tanto como um sistema de equações (apesar de as equações serem importantes também), mas como conceitos matemáticos sutis que levaram muito tempo para serem entendidos adequadamente (Penrose, 2021, p. 536).

A Física avança, para Penrose, à medida em que descobre “um substrato matemático profundo” que sempre existiu oculto “no próprio funcionamento do mundo” (Penrose, 2021, p. 532). O que temos aqui, como vimos, não é um pitagorismo. Não se trata de dizer que a natureza última da realidade física é matemática, que “tudo é número”. Penrose vai além, como vimos, e postula um mundo matemático primário e independente da mente, do qual o próprio mundo físico emerge, e desse, o mundo mental. A pretensão de refundação da física e compreensão, ainda que parcial, da natureza última da realidade, nos revela como Penrose compreende a natureza da ciência. Seu valor não pode estar na perseguição de objetivos utilitários e práticos, mas na busca da verdade. Nas palavras de Platão no Livro VII da *A república*, o filósofo quer “atingir a essência”, quer dedicar-se “à contemplação da natureza dos números unicamente pelo pensamento, não cuidando deles por amor à compra e venda, como os comerciantes ou retalhistas”, mas “para facilitar a passagem da própria alma da mutabilidade à verdade e à essência”. Ora, quando assim olhamos para a matemática (e as ciências físicas, que dela participam), compreendemos “como é bela e útil [...] desde que uma pessoa a cultive por amor do saber, e não para a traficância” (Platão, *A república*, 525c-d). “O valor da ciência está na busca incansável da verdade – e por que não, também do bem e do belo”.

Referências

ARISTÓTELES. *Metafísica. Livros IV e VI*. Trad. L. Angioni. Clássicos de Filosofia: Cadernos de Tradução, nº 14. Campinas: IFCH/Unicamp, 2007.

- BARKER, S. F. *Filosofia da matemática*. Trad. L. Hegenberg; O. S. Mota. Rio de Janeiro: Zahar, 1969. Original em inglês: 1964.
- BATISTA NETO, A. L. Matemática e metafísica em Platão e Aristóteles. *Argumentos*, Fortaleza, v. 13, p. 301-308, 2021.
- HEREDIA, D. Platonismo (matemático): diferentes tipos, cómo Roger Penrose lo entiende y lo usa como argumento en contra de la Inteligencia Artificial fuerte. *Naturaleza y Libertad*, Málaga, n. 14, p. 99-121, 2020.
- MORAVCSIK, J. *Platão e platonismo*. Trad. C. C. Bartalotti. São Paulo: Loyola, 2006. Original em inglês: 1992.
- PENROSE, R. *A mente nova do imperador: sobre computadores, mentes e as leis da física*. Trad. G. Cozzella. São Paulo: Ed. Unesp, 2023. Original em inglês: 1989.
- PENROSE, R. *Sombras da mente: uma busca pela ciência perdida da consciência*. Trad. G. Cozzella. São Paulo: Ed. Unesp, 2021. Original em inglês: 1994.
- PENROSE, R. *The road to reality: a complete guide to the laws of the universe*. London: Jonathan Cape, 2004. Em espanhol: *El camino a la realidad*: una guía completa de las leyes del universo. Trad. J. G. Sanz. Barcelona: Random House Mondadori, 2006.
- PLATÃO. *A república*. Trad. M. H. Rocha Pereira. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1972.
- SHAPIRO, S. *Filosofia da matemática*. Trad. A. J. Franco de Oliveira. Lisboa: Edições 70, 2015. Original em inglês: 1997.



Instituto Quero Saber
www.institutoquerosaber.org
editora@institutoquerosaber.org

Informações técnicas

capa projetada com ativos de *Freepik.com*

formato: *16 x 23 cm*

tipografia: *Palatino Linotype*

Os livros que agora publicamos reúnem os trabalhos apresentados no encontro, preservando a riqueza das reflexões desenvolvidas durante o evento. Cada artigo representa uma contribuição valiosa para o avanço do debate filosófico e para o fortalecimento das comunidades acadêmicas que buscam compreender e transformar a realidade por meio do pensamento crítico. Mais do que um registro, estas publicações são um convite à continuidade das discussões iniciadas no encontro, abrindo caminho para novas investigações e diálogos.

É com muita satisfação que apresentamos nove contribuições feitas no Grupo de Trabalho em Filosofia das Ciências Físicas, em 2 e 3 de outubro de 2024, no *XX Encontro da ANPOF* realizado em Recife.

Essas contribuições apresentam uma rica diversidade de abordagens filosóficas e científicas, refletindo a complexidade e a profundidade dos debates contemporâneos na Filosofia das Ciências Físicas. Ao explorar temas que vão desde as interpretações da Teoria Quântica até as questões filosóficas da Cosmologia, os autores não apenas ampliam nosso entendimento sobre as fronteiras entre a Ciência e a Filosofia, mas também desafiam os paradigmas tradicionais, propondo novas perspectivas que podem enriquecer o campo. A troca de ideias e o desenvolvimento dessas discussões são essenciais para o avanço do conhecimento científico e filosófico, reafirmando a importância da Filosofia das Ciências Físicas como um espaço de reflexão. A realização do *XX Encontro da ANPOF*, com o vigor de suas apresentações e a profundidade dos temas abordados, demonstra o contínuo potencial da Filosofia em contribuir para a compreensão das questões mais fundamentais das Ciências Físicas.

