

## OBJETIVIDADE E MATEMATIZAÇÃO DA FÍSICA EM ERNST CASSIRER

### Physic's objectivity and mathematization in Ernst Cassirer

Ivânio Lopes de Azevedo Júnior 

Universidade Federal do Cariri – Juazeiro do Norte, Ceará  
ivanio.azevedo@ufca.edu.br

**Resumo:** O presente artigo discute a compreensão de Cassirer sobre a objetividade do conhecimento científico produzido pela física. Por se tratar de uma noção que perpassa várias obras do autor, e de diferentes períodos, minha escolha foi direcionar esforços, principalmente, para o terceiro volume da *Filosofia das Formas Simbólicas*. Esta escolha bibliográfica se justifica pelo fato de que, na referida obra, encontram-se dois aspectos estruturantes para o tratamento da questão proposta. O primeiro, de natureza sistemática, diz respeito à explicitação do processo de matematização da física. A partir dele é possível compreender em que termos a objetividade da matemática determina simbolicamente o conhecimento produzido pela física enquanto ciência empírica. O segundo, de natureza histórico-metodológica, demonstra a mudança de orientação epistemológica da física de modelos (geométrica) para a física de princípios (algébrica).

**Palavras-chave:** Filosofia da Ciência; Matematização; Formas simbólicas; Cassirer, Ernst, 1874-1945.

**Abstract:** In this article, I discuss Cassirer's understanding of the physics produced knowledge's objectivity. Since it is a notion that permeates several works of the author, and different periods, my choice was to direct efforts, mainly, to the third volume of the *Philosophy of Symbolic Forms*. This bibliographic choice is justified by the fact that, in this work, there are two structuring aspects for the treatment of the proposed question. The first, of a systematic nature, concerns the explicitness of the process of the mathematization of physics. From it, it is possible to understand in which terms the objectivity of mathematics symbolically determines the knowledge produced by physics as empirical science. The second, of historical-methodological nature, demonstrates the physics' shift of epistemological orientation from the models (geometric) to the physics of principles (algebraic).

**Keywords:** Philosophy of Science; Mathematization; Symbolic Forms; Cassirer, Ernst, 1874-1945.

Este artigo aborda um aspecto da filosofia de Ernst Cassirer que, apesar de ter sido investigado pelo autor desde os seus primeiros escritos, optei por trabalhá-lo à luz de alguns de seus textos de maturidade, da época em que a filosofia das formas simbólicas já havia sido elaborada. Trata-se da explicação acerca da objetividade do conhecimento produzido pela física. É bem verdade que em *Substância e Função* (1953), Cassirer dedica parte considerável de seus esforços aos problemas relativos à matemática e às ciências naturais (física e química) e, a esta altura de sua carreira, concentrou-se nos problemas mais estritamente epistemológicos. É fato também que o problema da objetividade da física foi analisado a partir de textos nos quais Cassirer dialoga diretamente com Einstein

e com os teóricos da mecânica quântica<sup>1</sup>. Contudo, a análise que proponho pressupõe a fase em que Cassirer havia escrito os três primeiros volumes da *Filosofia das Formas Simbólicas* e, portanto, desenvolvido sua crítica da cultura. As ciências da natureza, especialmente a física, já eram compreendidas no interior da dinâmica das outras formas simbólicas, dentro da sua fenomenologia do conhecimento.

Para a compreensão da ideia de objetividade científica no pensamento de Cassirer, além da influência que a linguagem e o mito exerceram historicamente sobre a ciência e que exercem sistematicamente no todo dinâmico da cultura, é imprescindível que se entenda de que modo o método matemático ajuda a refundar a pesquisa empírica a partir da modernidade. A física, já a partir de Galileu, matematizou-se ao ponto de provocar uma transformação radical na forma como o homem passou a descrever os fenômenos da natureza. As observações das regularidades que marcam a natureza são, agora, ordenadas e reproduzidas em símbolos matemáticos. Independentemente do tipo de pressuposto metafísico que o pesquisador da natureza viesse a assumir em suas teorias, implícita ou explicitamente, a exigência do instrumental matemático se mostrou constante, pois ele era a garantia de que as observações e as conclusões delas retiradas poderiam ser intelectualmente manipuladas com maior precisão. Era justamente o rigor das operações matemáticas que poderia vir a colocar o conhecimento da natureza acima das ambiguidades e das incertezas provocadas pelo uso da linguagem. Entendo que a ciência propriamente moderna se estabelece efetivamente quando a correspondência entre sujeito e objeto, até então atravessada pelo simbolismo da linguagem, passa a ser mediada pela matemática.

O tipo de objetividade que a física conquista com Galileu, Descartes e Newton, por exemplo, consiste em uma nova maneira de construir a correspondência entre pensamento e mundo. Teorias que pretendem explicar o que são as coisas, como elas interagem e como podemos prever seus comportamentos estão sob a égide da organização matemática, pois “o que a ciência procura nos fenômenos é muito mais do que a similitude: é a ordem” (Cassirer, 1994, p. 340). Se os objetos se relacionam no mundo físico, essas relações devem ser expressas mediante o simbolismo matemático para que sua validade seja, de saída, atestada. O antigo “propósito da razão” de explicitar o universal que estaria escondido nas coisas particulares que compõem o mundo parece

---

<sup>1</sup> Normann (2015) e Heijden (2014), por exemplo.

depositar no método matemático, e não mais na linguagem ordinária, a esperança de alcançar a verdade objetiva, superando as incertezas que se seguiam das determinações da sensibilidade, pois “aqui, nunca há o perigo de se alcançarmos limites absolutos do conhecimento ou de se chegar a contradições internas, desde que o conhecimento matemático continue fiel a seu princípio construtivo [...]” (Cassirer, 2001, pp. 691-2). Assim, a ciência que escolhe o caminho do método matemático leva consigo o rigor e a certeza de seus procedimentos. A física, por conseguinte, mantém seu velho e conhecido procedimento de pesquisa (a observação dos fenômenos). Entretanto, dá um passo significativo em direção à intelectualização do conhecimento empírico na medida em que só extrai das experiências o que encontra lugar nas operações matemáticas, isto é, aquilo que for matematizável.

A tarefa filosófica a que Cassirer se propõe é a de explicar como se dá a transferência do ganho racional conquistado pela matemática ao longo dos séculos para o âmbito particular da ciência empírica que adotou suas determinações metodológicas. Noutras palavras, como a aplicação da matemática às observações pode vir a contribuir com a física?<sup>2</sup> Aprendemos com Kant, em sua *Doutrina Transcendental do Método*, na parte final da primeira crítica, que os conceitos matemáticos são todos construídos pelo entendimento (*KrV*, B 872), que todos seus juízos são sintéticos e que as relações universais que encontramos nos objetos empíricos são as próprias capacidades intelectuais impostas pelo sujeito do conhecimento às coisas intuídas. A matemática, assim, segue seu próprio caminho rumo ao avanço do conhecimento, sua natureza sintética permite a ampliação do mesmo. Neste sentido, se “para a construção de um conceito, portanto, é exigida uma intuição não empírica” (*KrV*, B 741) como seria a aplicação deste conceito a um objeto da intuição empírica, a um objeto físico? Com isso quero dizer, seguindo Cassirer, que a adoção do método matemático por parte da física não é algo trivial. E isso fica evidente quando se tem em mente que ambas, matemática e física, versam sobre objetos distintos. A primeira trabalha com relações ideais e a segunda não prescinde das ocorrências observáveis. Mesmo que as operações matemáticas se dirijam às intuições puras que podem ser espaciais (geometria) ou temporais (aritmética)

---

<sup>2</sup> Einstein e Infeld colocam a mesma questão nos seguintes termos: “A ciência não é apenas uma coleção de leis, um catálogo de fatos não relacionados entre si. É uma criação da mente humana, com seus conceitos e ideias livremente inventados. As teorias físicas tentam formar um quadro da realidade e estabelecer sua conexão com o amplo mundo das impressões sensoriais. Assim, a única justificativa para as nossas estruturas mentais é se e de que maneira as nossas teorias formam tal elo” (2008, p. 241).

e que suas articulações possam ser apreendidas no uso da intuição empírica, a razão matemática opera sempre na esfera da idealização<sup>3</sup>. Então, o que significa dizer, a rigor, que a física, na modernidade, seguiu o caminho do método matemático? Seria correto afirmar que a física deve ser reduzida à matemática, versando apenas sobre os aspectos reais que podem ser idealizados? Ou a física mantém ainda algum elemento diferenciador?

Para avançar neste ponto e cumprir o objetivo deste artigo, divido a exposição em dois momentos: i) como Cassirer responde, do ponto de vista sistemático, ao problema da relação entre as teorias físicas matematizadas e o mundo da experiência, bem como a correspondência que o pensamento em seu registro significativo mantém com aquilo que se pode chamar de o mundo da ciência. Sendo justamente a solução destas questões a primeira dimensão da resposta ao problema da objetividade na física. Ao passo que se compreende como as teorias físicas organizam matematicamente a experiência para que possam descrever e prever os fenômenos naturais, chega-se ao que Cassirer concebe como a objetividade do conhecimento científico do mundo; ii) a demonstração de que há uma dimensão mais histórica da solução de Cassirer para a questão da objetividade na física, qual seja, o mundo matematizado da ciência natural moderna passou, basicamente, por duas diferentes fases em seu desenvolvimento conceitual. A primeira corresponde ao que podemos chamar de seu momento geométrico, ou seja, estamos falando do período anterior à invenção do cálculo infinitesimal<sup>4</sup>. Aqui imperou o pensamento mecanicista, as demonstrações matemáticas a partir das relações geométricas e uma certa noção de ciência ainda muito ligada ao mundo intuitivo, espacial e imagético da linguagem. Nesta fase geométrica, percebe-se uma considerável influência do simbolismo linguístico sobre a ciência porque essa ainda se mantém ligada a uma necessidade de referência figurativa. Contudo, após o advento do cálculo infinitesimal, fato este que permitiu à matemática

---

<sup>3</sup> “Eu construo um triângulo, assim, expondo o objeto correspondente a esse conceito ou por meio da mera imaginação na intuição pura, ou, de acordo com esta, também sobre o papel na intuição empírica, mas em ambos os casos inteiramente *a priori*, sem ter extraído o modelo para isso de experiência alguma. A figura singular desenhada é empírica, mas serve para exprimir o conceito a despeito da universalidade deste, pois nessa intuição empírica só se tem em vista a ação de construção do conceito, em que muitas determinações, como a extensão, os lados e os ângulos, são irrelevantes e, portanto, faz-se abstração dessas diferenças que não modificam o conceito de triângulo” (*KrV*, B 741-742).

<sup>4</sup> “O descobrimento da álgebra, fundamentada por Vieta como *Logistique speciosa*, ou seja, como análise figurativa, o algoritmo do cálculo infinitesimal, estabelecido por Leibniz e que para ele não é mais que um caso particular de seu plano fundamental científico-filosófico, o projeto de uma ‘caracterização geral’: estes dois casos constituem dele a prova mais clara” (Cassirer, 1989, p. 173).

uma ampliação de sua capacidade de construir relações idealizadas, assim como o aumento do seu raio de aplicação científica, a física inicia um processo de algebrização que desembocará, no século XIX, em um ponto alto de seu desenvolvimento teórico. Sendo aqui que a física algébrica alcança o nível mais intelectualizado de suas descrições empírico-matemáticas, pois é quando ela se torna completamente independente de uma referência espacialmente intuitiva para que suas teorias sejam elaboradas e consideradas como objetivas. Ficando absolutamente claro que a realidade da ciência é, na verdade, um mundo simbólico, isto é, quando não faz mais o menor sentido falar de uma instância externa da qual as teorias físicas extrairiam sua objetividade pelo simples princípio da cópia. Eis o fim da visão “ingênua” do mundo natural. Passo, então, à primeira dimensão da resposta ao problema da objetividade na física.

### **Sobre a matematização da física**

Quando falamos que a física se matematizou na modernidade, o problema filosófico que daí decorre é o de explicar como se dá o trânsito do âmbito da *idealidade* matemática para a *realidade* física, pois a mesma liberdade que se tem para afirmar que os objetos matemáticos são construções intelectuais não se replica na física porque nesta somos obrigados a admitir algo como dado, como previamente existente. Esse é, para Cassirer, um elemento que, de início, diferencia a matemática da física (2011, p. 692). Em *A Lógica das Ciências Culturais*<sup>5</sup>, ele nos lembra qual a função geral de um conceito:

Todo conceito se propõe a ser, se nos fixarmos em sua função lógica, uma *unidade do múltiplo*, um vínculo da relação entre o individual e o universal. Se isolarmos um destes dois momentos, destruiremos com isto a *síntese* que todo o conceito, pelo mero fato de ser, se propõe obter. (Cassirer, 2000, p. 69)

No caso da relação em questão, a diferença se impõe na medida em que o múltiplo com o qual o conceito matemático se depara, ao menos imediatamente, é construído pelo pensamento, enquanto na física:

[...] não é na consequência, na consistência interna do pensamento puro que se constrói para nós um mundo objetivo; ao contrário, o que se nos

---

<sup>5</sup> Doravante, apenas LCC.

dá aqui, por intermédio da sensação e da intuição sensível, é uma existência extrínseca, da qual podemos nos apropriar. (2011, p. 692)

Logo, o múltiplo que a matemática sintetiza não é o mesmo múltiplo conceitualizado pela física. A natureza *ideal* construída pela primeira a torna livre das dificuldades que essa última enfrenta, pois, a física tem como esfera de atuação a natureza *real*. Ao afirmarmos que a física, na modernidade, passou a proceder matematicamente, seria o mesmo que dizer que ela, para dar conta da tarefa de descrever o real, lança mão de instrumentos idealizados. O investigador da natureza estaria, portanto, metodologicamente orientado a correlacionar as construções matemáticas com os objetos espacialmente intuídos pelos sentidos. A possibilidade de ordenar as coisas do mundo e relacioná-las de modo encadeado, ao ponto de ser possível subordinar um objeto a outro, é tomada de empréstimo da operacionalidade imanente ao simbolismo matemático. A física, por mais que esteja ainda, de certo modo, presa às intuições sensíveis, dá um passo importante em direção à idealização conceitual, aprofundando o caráter relacional de seus conceitos e amadurecendo a sua função significativa. Isso ocorre na proporção em que o conhecimento começa a renunciar à mediação da função representativa da linguagem, substituindo-a pela função significativa da matemática. As teorias científicas passam a não mais reproduzir suas proposições e as suas inferências internas somente a partir da silogística e da lógica argumentativa. O caminho alternativo que o método matemático abriu para a física permitiu a ela que seus raciocínios e suas conclusões encontrassem um novo amparo racional em procedimentos lógico-matemáticos, evitando assim todos os problemas provocados pela ambiguidade da linguagem. Não seria inoportuno mencionar, que, quando Nicolau de Cusa aponta os limites da lógica escolástica (Cassirer, 2001b, p. 22) e propõe um retorno à tradição matemática, ele já adiantava a necessidade dessa mudança de perspectiva da lógica discursiva para a lógica matemática. O que na terminologia cassireriana seria a passagem do simbolismo representativo da linguagem para a esfera da significação científica.

Se cabe ao conceito em geral a subordinação da multiplicidade à sua função universalizante, e isso não é uma dificuldade para o conceito matemático porque ele é capaz de estabelecer uma regra geradora que ordena os elementos de um determinado universo (o conjunto dos números naturais, por exemplo), no conceito físico, essa operação de universalização não se dá exatamente nos mesmos termos, pois aqui

encontramos uma dificuldade central, a saber: “aquilo a que chamamos de *natureza*, aquilo que denominamos a *existência das coisas*, confronta-se inicialmente com uma mera *rapsódia de percepções*” (Cassirer, 2011, p. 693). E, por sua vez, as percepções não podem ser tomadas como construções no mesmo sentido em que os números que, como elementos do conjunto dos naturais, são ordenados através de uma lei de formação. Por mais que as percepções sejam sempre espiritualmente mediadas, pressupondo a ineliminável atividade simbólica, no âmbito da física, elas são inicialmente reconhecidas como meramente factuais (Cassirer, 2011, pp. 694-6), ou seja, as percepções se apresentam ao pensamento como unidades heterogêneas, como “dados” descolados uns dos outros, desprovidos de um laço intelectual que os integre sistematicamente. Essa dificuldade do pensamento em unificar as unidades heterogêneas das percepções é, para Cassirer, a antinomia que:

[...] contém o germe dialético de toda a formação científica do conceito, pois certamente o pensamento, ao passar do âmbito dos objetos matemáticos para o dos objetos *físicos*, não descarta sua própria forma e seus próprios pressupostos; ao contrário, ele procura preservar esses pressupostos justamente na resistência vivenciada por eles por meio dos dados. (Cassirer, 2011, p. 695)

A superação dessa dificuldade por parte do pensamento se deve ao esforço que ele mesmo realiza ao transformar o factual em ideal. A multiplicidade das percepções heterogêneas é assumida pelo pensamento como uma diversidade conceitual, sendo exatamente essa “conversão” postulada pelo pensamento que permite a funcionalização das percepções físicas nos termos em que a matemática opera.

A forma da diversidade meramente factual, em que a percepção primeiramente se apresenta, deve ser convertida à forma de uma diversidade conceitual. O pensamento concreto e físico, na forma como ele se apresenta e atua na história do conhecimento natural, não questiona se tal conversão seria possível, mas logo transforma o problema em um postulado. Ele converte a aporia conceitual, aqui existente, em ato. É com tal ato do pensamento que tem início toda a formação científica de conceito. (Cassirer, 2011, p. 695)

Essa é a maneira, portanto, que a física determina a sua facticidade em termos matemáticos. O pensamento supõe ser possível organizar as percepções individuais a partir de um modo de funcionamento que as liga no interior de uma repetição logicamente

demonstrável. É por esse motivo, certamente, que, para o físico, não interessa o estudo do fato isoladamente porque seu objetivo é compreendê-lo como parte necessária de uma série, como caso particular de uma lei. É somente através dessa conversão intelectual da multiplicidade das percepções em uma diversidade conceitual, passível de tratamento matemático, que o pensamento pode significar as coisas do mundo e relacioná-las com o devido rigor racional. A lei da causalidade que impõe ao mundo físico a necessidade de um efeito como decorrente de determinadas condições antecedentes encontra na idealização matemática a possibilidade de elevar os fenômenos para além das determinações sensíveis. A meu ver, as observações empíricas, na história da ciência, conseguem aqui sair do nível da simples catalogação das ocorrências para o nível das inferências lógicas sobre essas mesmas ocorrências. É quando a necessidade física se apresenta como correlata da necessidade matemática. Logo, os processos de subordinação e de derivação matemáticas, que permitem ao pensamento extrair conclusões necessárias, só podem ser aplicados ao mundo das ocorrências físicas porque “aquilo que denominamos fato deve sempre já estar de algum modo orientado a uma teoria, deve ser visto em referência a certo sistema e deve ser implicitamente determinado por tal sistema” (Cassirer, 2011, p. 696).

Sob uma outra perspectiva, arriscaria dizer, em consonância com a filosofia de Cassirer, que a matematização da física é o que torna possível a comparação entre diferentes teorias científicas desse mesmo campo. Considerando que as teorias físicas modernas, em sua maioria, passam a ser elaboradas dentro do sistema simbólico da matemática, no interior de um universo ideal comum, não me parece equivocado inferir que a matemática fornece algum tipo de comensurabilidade epistêmica à diversidade das teorias físicas. Ou seja, foi exatamente a passagem para a função significativa que forneceu as condições para que o pensamento científico, em certo aspecto, se unificasse metodologicamente, possibilitando, inclusive, a comparação entre teorias elaboradas em diferentes contextos. Por isso, em LCC, Cassirer afirma:

A relação se torna mais simples quando é possível expressar o universal na forma de um conceito de lei, do qual os diferentes casos podem ser derivados dedutivamente. É assim que, por exemplo, as regras de Kepler sobre movimentos planetários ou as regras sobre movimentos periódicos das marés são “seguidas” da lei da gravitação de Newton. (LCC, p. 108. ES)



Se tomarmos a lei de Galileu como ilustração ( $d = k \cdot t^2$ )<sup>6</sup>, podemos encontrar nela vários elementos do que foi até aqui exposto. Essa fórmula geral expressa tanto uma relação lógico-matemática quanto uma relação causal entre os corpos físicos. Quando o cientista italiano chega à referida proposição conclusiva através das observações e da abstração matemática, ele sintetiza o múltiplo das percepções heterogêneas<sup>7</sup> em um sistema simbólico cujas características permitem alocar aspectos da experiência ordinária, que foram simbolicamente mediados pela linguagem, no interior das variáveis matemáticas para, com isso, desenvolver raciocínios lógicos em referência aos objetos físicos (corpos) que não foram construídos matematicamente, pois sua “realidade” já estava posta. Essa operação lógica torna possível reduzir determinados aspectos dos corpos físicos a grandezas reais matematizáveis, permitindo seu tratamento objetivo<sup>8</sup>. O rigor e a validade da operação matemática sobre os seus objetos abstratos passam a ser aplicados aos objetos físicos, por mais que “a estrutura do *conceito lógico* e a estrutura do *conceito científico* não sejam o mesmo” (Möckel, 2019, p. 44). Por isso, pode-se dizer que a física, sob o ponto de vista metodológico, toma de empréstimo, mesmo que parcialmente, a objetividade da matemática. E foi justamente a matemática que viabilizou a universalização da mecânica que, em Galileu e Kepler, limitava-se a uma região particular do real, sendo apenas com Newton que a física pode “descobrir e fixar claramente” as “leis do Cosmo” (Cassirer, 1994, p. 73).

Assim, com a aplicação desta lei física, expressa por Galileu na forma de uma equação matemática, temos uma estrutura lógica tão abrangente a qual permite ao pensamento realizar incontáveis inferências sobre a relação de proporcionalidade entre a distância e a velocidade dos corpos em queda livre<sup>9</sup>. Tais inferências são objetivas na

<sup>6</sup> A distância percorrida por um corpo ( $d$ ) é diretamente proporcional ( $k$ ) ao quadrado do tempo de queda ( $t$ ).

<sup>7</sup> Imagine quantas percepções estariam presentes ao leitor se o mesmo estivesse disposto a reproduzir o experimento de Galileu, arremessando dois corpos do alto de um prédio para calcular a relação entre tempo, distância e velocidade.

<sup>8</sup> Ao dissertar sobre a matematização do conhecimento, Adorno escreve: “Na medida em que o elemento primeiro da filosofia sempre deve já conter tudo, o espírito confisca aquilo que não lhe é igual, transformando-o em igual, em uma posse sua. O espírito faz um inventário; nada pode escapar de sua rede, o princípio precisa garantir perfeição. O caráter numerável daquilo com que ele se ocupa se transforma em axioma” (2015, p. 41).

<sup>9</sup> Em seu artigo *Cassirer's contribution to the epistemology of physics*, Gawronsky arremata: “*The concepts of mechanics reveal the same nature, the same inward structure as mathematical concepts. Take as examples the concepts of velocity as uniform and rectilinear motion, of uniform acceleration, of continuous space and of mass reduced to a point - they all represent ideal constructions and criteria determining an*

medida em que podem ser empiricamente testadas e formalmente revisadas por qualquer cientista disposto a refutá-las. O fato físico pode, então, ser interpretado como um caso particular de uma regularidade universal que, para os realistas como Galileu, consiste na lei causal imanente à natureza dos corpos<sup>10</sup>. Diferentemente desta perspectiva realista, Cassirer reafirma o caráter funcional e puramente relacional da ciência, afirmando:

[...] tal participação do elemento físico no aritmético e no geométrico não pode ser obtida e fundamentada de outro modo senão ao correlacionarmos determinadas *coisas* ou processos físicos a determinados conceitos matemáticos, sem que essa correlação implique uma relação de identidade entre eles. (Cassirer, 2011, p. 715)

No que diz respeito à comensurabilidade epistêmica<sup>11</sup>, à possibilidade de teorias científicas serem comparadas entre si tendo em vista o exame de uma descrição do mundo em relação à uma descrição rival por exemplo, diria que o processo de matematização do conhecimento empírico viabilizou para a física uma base simbólica comum que lhe permitiu um tratamento comparativo das suas hipóteses e de suas conclusões científicas. Considerando que as proposições da física são organizadas e expressas dentro de um sistema matemático, seguindo sua lógica numérica e ordinal, poder-se-ia afirmar que todas as teorias físicas matematizadas são, por esta razão, comensuráveis ao menos em termos formais, sendo possível, em alguns casos, deduzir as leis de uma teoria das leis de uma outra teoria. Ao passo que as correspondências matemáticas possibilitam a organização lógica e objetiva das correspondências físicas em uma dada teoria, elas também autorizam que essas possam ser convertidas nas primeiras. E é justamente essa possibilidade de conversão das proposições da física nos termos do formalismo matemático que explica o porquê teorias científicas rivais podem ser comparadas a partir de algo em comum. Cassirer reúne essas ideias na passagem a seguir:

Uma vez estabelecidos de modo universal os conceitos básicos e os axiomas de determinadas geometrias, é possível questionar se há

---

*infinite succession of forms, which can be derived from one another according to a constant rule*" (1949, p. 222).

<sup>10</sup> Para uma interpretação realista do pensamento científico de Galileu, sugiro o artigo "*Os três pontos de vista acerca do conhecimento humano*", de Karl Popper, que pode ser encontrado na coletânea *Conjecturas e Refutações* (1972).

<sup>11</sup> Depois de Quine, T. Kuhn e P. Feyerabend, por exemplo, este problema se tornou central para o campo da filosofia da ciência e da linguagem. Meu objetivo aqui é, mesmo que sumariamente, mostrar qual seria a posição de Cassirer neste debate do qual ele participa, aqui, hipoteticamente.

elementos da experiência física que estão de acordo com esses conceitos e axiomas, e quais seriam eles. Assim, por exemplo, certo fenômeno, o fenômeno da propagação da luz, é utilizado para que se obtenha uma analogia física com aquilo que em um certo sistema hipotético-dedutivo da geometria “pura” é definido como “linha reta”. É somente por meio do estabelecimento de tais relações analógicas que o conceito de “mensurabilidade” obtém um sentido solidamente definido: é apenas por meio de tais analogias que desponta da ordem numérica aritmética ideal e da ordem espacial geométrica universal determinada ordem de medição. Essa ordem de medição surge exatamente no ponto em que por meio da ligação de conceitos geométricos às experiências físicas tais conceitos saem do estágio da abstração e passam a ter determinada “ligação” com o “real”, com a existência dos fenômenos físicos. Porém, mesmo essa ligação não afeta de modo algum a validade dos conceitos e axiomas como tais; ela só afeta o emprego que fazemos deles na determinação dos elementos da experiência. Não sustentamos os pressupostos e princípios da geometria euclidiana nas experiências dos corpos rígidos, mas utilizamos essas experiências para obter por meio delas “correspondências” físicas para os enunciados ideais dessa geometria. (2011, pp. 715-6)

Aqui talvez resida o incômodo que Kuhn expressou em relação à compreensão cassireana de ciência natural (2006, pp. 265-6). Ele está de acordo com Cassirer no tocante ao modo de funcionamento das ciências culturais. No entanto, quando o que se está em questão é a imagem das ciências naturais, Kuhn acusa o filósofo de promover uma leitura “empirista e quase-positivista das ciências naturais” (Kuhn, 2006, pp. 265-6). Isso só ocorre, provavelmente, porque para Kuhn as ciências naturais têm sua história marcada por profundas rupturas em suas visões de mundo. Se as revoluções científicas são momentos que se mostraram inevitáveis, logo, não há como defender um progresso científico linear e cumulativo na passagem de um paradigma a outro.

As ideias de comensurabilidade e cumulatividade científicas, para Cassirer, não são estranhas ao desenvolvimento da física matematizada, tal como este trecho parece confirmar. Se o amadurecimento da física moderna ocorre *pari passu* ao aprofundamento das relações matemáticas, isso significa que o progresso cumulativo da matemática torna viável a ampliação da esfera da experiência possível para a física, pois na medida em que as relações formais se diversificaram, as possibilidades de relações correspondenciais na física também aumentaram<sup>12</sup>. De certo modo, a matemática viabiliza a abertura do campo

---

<sup>12</sup> Dilthey defende o mesmo quando diz: “Quanto mais a matemática descortinou o domínio ilimitado das livres construções, tanto mais ela ultrapassou as barreiras de suas tarefas mais imediatas de fundamentação das ciências naturais [...]” (2010, p. 35).

de atuação da ciência natural, pois ela fornece o instrumental simbólico mediante o qual os conceitos da física serão aplicados. Desses compromissos filosóficos, Kuhn poderia concluir que a imagem científica de Cassirer, apesar de todas as críticas desse ao empirismo e ao realismo positivista, acaba por endossar uma tese típica do positivismo mais ortodoxo, que é a de que a ciência progride cumulativamente e que suas teorias, em última instância, podem ser julgadas em comparação umas com as outras em virtude de todas elas possuírem a mesma instância de referência, o mundo físico, e o mesmo sistema de correspondências lógico-matemáticas. Essa é uma divergência fundamental entre os dois pensadores<sup>13</sup>.

Em *A Estrutura das Revoluções Científicas* (2001), Kuhn defende uma nova interpretação da ciência cujo aspecto mais marcante é o de que o conhecimento nem sempre avança linear e cumulativamente. Em momentos cruciais de sua história, a física deu saltos, passou por significativas mudanças de *gestalt*, vivenciou verdadeiras revoluções. Estas provocam mudanças radicais no horizonte de sentido da ciência. Quando a mecânica aristotélica é suplantada pela mecânica de Newton ou essa perde sua hegemonia para a mecânica relativística de Einstein, o que acontece é uma ruptura na normalidade científica<sup>14</sup>. Praticamente tudo se transforma na atividade da ciência hegemônica: os pressupostos teóricos, os direcionamentos metodológicos, as orientações observacionais. Em suma, muda-se a própria visão de mundo que o paradigma até então vigente era capaz de oferecer. Eu diria que, para Kuhn, com as revoluções científicas, muda-se a própria noção de objetividade científica. Há, portanto, uma total incomensurabilidade quando comparamos um paradigma a outro. Segundo Kuhn, as revoluções científicas são “aqueles episódios de desenvolvimento não-cumulativo, nos quais um paradigma mais antigo é total ou parcialmente substituído por um novo, incompatível com o anterior” (Kuhn, 2001, p. 125). Se é o paradigma quem fornece todas as condições de constituição das teorias, a revolução científica, portanto, implicaria em uma incomensurabilidade total quando da tentativa de conversão recíproca entre dois

---

<sup>13</sup> Uma das poucas tentativas de se comparar as filosofias de Kuhn e Cassirer pode ser encontrada em um artigo de Michael Friedman (2009) intitulado *Ernst Cassirer and Thomas Kuhn: the neo-kantian tradition in the history and philosophy of Science*. Aqui temos algumas aproximações e distinções que podem ser pontuadas quando da comparação das interpretações filosófico-científicas de ambos os pensadores, bem a influência do kantismo em suas respectivas obras.

<sup>14</sup> Como Friedman (2009, p. 182) também destaca, nesta questão, Kuhn opta por uma interpretação mais ontológica do que matemática, diferentemente de Cassirer.

paradigmas diferentes. Por isso, “do ponto de vista deste ensaio [...], a teoria de Einstein somente pode ser aceita caso se reconheça que Newton estava errado” (Kuhn, 2001, pp. 132-3). Logo, para Kuhn, não existiria uma medida comum entre duas teorias mecânicas rivais.

Se seguirmos a posição de Cassirer, lembrando que o aparato simbólico da matemática é precisamente o elemento comum que marca as diferentes teorias físicas, somos impelidos a admitir que a formalização matemática é o que fornece às teorias rivais um laço simbólico-racional, uma zona mútua de inteligibilidade. Em a *Estrutura*, mais precisamente no capítulo oitavo, Kuhn examina este ponto (defendido por Cassirer), o da possibilidade de derivação matemática de uma teoria a partir de outra. O exemplo discutido foi o de que, sob determinadas condições formais, é possível deduzir as leis da mecânica newtoniana das leis da mecânica einsteiniana, tomando a primeira como um caso particular da segunda. Mesmo reconhecendo esse fato, Kuhn se nega a aceitar que entre Newton e Einstein há alguma continuidade científica, linear e cumulativa, porque “os referentes físicos desses conceitos einsteinianos não são de modo algum idênticos àqueles conceitos newtonianos que levam o mesmo nome” (Kuhn, 2001, p. 136).

Em um artigo<sup>15</sup> escrito mais de vinte anos depois de a *Estrutura*, Kuhn revisa essa sua posição em torno da noção de incomensurabilidade e promove um recuo em seu significado. Segundo Kuhn, o significado desta noção vem da matemática e significa aquilo que não há “nenhuma medida comum” (2006, p. 50). Contudo, na primeira nota deste artigo, Kuhn inicia revisando a sua posição defendida na década de 1960:

Tanto Feyerabend quanto eu escrevemos a respeito da impossibilidade de definir os termos de uma teoria com base nos termos de uma outra. Mas ele restringiu a incomensurabilidade à linguagem; eu falei também sobre diferenças nos *métodos, campos de problemas e padrões de solução*, algo que não mais faria, exceto pelo ponto considerável de que tais diferenças são consequências necessárias do processo de aprendizagem da linguagem” (2006, p. 48).

Mais adiante, neste mesmo artigo, Kuhn atualiza a sua noção de incomensurabilidade e a circunscreve somente à dimensão da linguagem. A “expressão *nenhuma medida comum* passa a ser *nenhuma linguagem comum*” (Kuhn, 2006, p. 50) e

---

<sup>15</sup> *Comensurabilidade, comparabilidade e comunicabilidade* pode ser encontrado em *O caminho desde a Estrutura* (2006).

completa: “A afirmação de que duas teorias são incomensuráveis é mais modesta do que supuseram muitos de seus críticos. Chamarei essa versão modesta da incomensurabilidade de *incomensurabilidade local*” (Kuhn, 2006, p. 51). Em todo caso, nos dois referidos períodos de seu pensamento, Kuhn deixa claro que o cerne de sua ideia de incomensurabilidade não diz respeito à matemática, mas sim ao emprego de termos linguísticos (referenciais) por parte das teorias científicas. Diferentemente do que Cassirer defende, a matemática não garante, para Kuhn, a mensurabilidade entre essas mesmas teorias<sup>16</sup>. Talvez pudéssemos dizer que essa divergência entre Kuhn e Cassirer ocorre porque enquanto o pensador americano não abre mão da representação linguística como aspecto definidor da identidade de uma teoria e de sua esfera de referência, o filósofo alemão radicaliza a natureza funcional dos conceitos científicos, concebendo-os como sendo formalmente comunicáveis e independentes de uma instância externa de referência. A constatação histórica que Cassirer aponta como marcante no desenvolvimento da física não é de natureza revolucionária, na acepção kuhniana da palavra, mas revela uma importante mudança na forma como, na modernidade, os cientistas passaram a elaborar suas teorias, o que, conseqüentemente, reverberou no modo como a objetividade na física passou a ser construída.

### **O redirecionamento metodológico da física na modernidade**

Um passo importante dado pelo pensamento foi o da “passagem do naturalismo dinâmico da Renascença para a matemática física” da modernidade (Cassirer, 1992, p. 71). Este fato histórico pode ser claramente visualizado quando recordamos que a ideia de causa natural e universal, a qual Cassirer localiza no pensamento de Pomponazzi (Cassirer, 2001b, p. 138), foi elevada até à noção de lei física que, para alguns modernos, se poderia demonstrar, caso a razão seguisse o caminho claro e distinto da matemática. O pensamento científico sai da mera constatação da regularidade natural a partir de suas observações e penetra o reino do número que, segundo suas regras, permite a ciência alcançar a objetividade de suas conjecturas, bem como a sua capacidade de predição por meio delas<sup>17</sup>. Ao mesmo tempo em que a matemática dota à física de uma maior

<sup>16</sup> Para um breve resumo desta divergência entre Kuhn e Cassirer, bem como para obter mais algumas indicações bibliográficas, confira (Garcia, 2010, p. 170).

<sup>17</sup> Sobre o poder do conceito matemático-físico, Cassirer diz: “Ele não apenas cria o esboço dos problemas empíricos de fato presentes, mas antecipa o futuro; ele coloca à disposição os meios intelectuais para as

capacidade de abstração frente às determinações sensíveis, permitindo-lhe assim um tratamento idealizado da sensibilidade ou, como queria Descartes, das suas propriedades claras e distintas, a geometria possibilitou a construção de representações que, ao serem aplicadas aos objetos físicos, forneceu as condições

Àquela forma de “explicação” dos fenômenos da natureza, que se constituía unicamente em substituir determinados grupos de fenômenos concretos, fenômenos que eram demonstráveis aos sentidos, por seus representantes geométricos abstratos ou por seus “modelos” mecânicos. Entretanto, essa mudança da forma de explicar parecia significar somente um passo para aquele positivismo que via nas leis da física nada além de uma mera “descrição” dos processos naturais. (Cassirer, 2011, p. 702)

Esse seria, para Cassirer, o primeiro movimento do pensamento científico moderno que, com a ajuda da geometria, conseguiu tratar de modo universal e necessário aquilo que sempre se mostrou à filosofia como particulares e contingentes: os fenômenos naturais. Se Nicolau de Cusa estava certo ao defender que a nossa doura ignorância era incapaz de conhecer Deus (infinito), restando ao homem somente o conhecimento conjectural do mundo criado (finito)<sup>18</sup>, os físicos modernos, por sua vez, postulavam poder conhecer o que há de divino nos corpos e em suas relações. Se a natureza é um livro escrito por Deus em caracteres matemáticos, a ciência só seria capaz de lê-la na medida em que traduzisse a própria natureza nos termos do simbolismo matemático. Desta maneira, a física desenvolvida na modernidade, nesse seu primeiro momento (séculos XVII e XVIII), já se configura conforme a orientação cusana, pois reúne três características legadas pelo período renascentista: (i) o seu objeto é a natureza (ou o mundo criado e finito), (ii) o simbolismo matemático é o meio através do qual os fenômenos são modelados e (iii) as teorias são conjecturas que, ao pressuporem a causalidade no mundo, tentam descrever os fenômenos segundo essa causa natural<sup>19</sup>. A

---

*possíveis* experiências e aponta o caminho em que a possibilidade puramente teórica pode ser transformada em realidade presente” (2011, p.707).

<sup>18</sup> Esta é uma das teses centrais sobre o pensamento de Nicolau de Cusa que Cassirer defende em *Indivíduo e Cosmos na Filosofia do Renascimento* (2001b).

<sup>19</sup> É importante perceber que uma transposição intelectual da esfera fenomênica para a esfera das relações geométricas é, efetivamente, uma transposição intelectual que constrange a natureza à forma matemática. Este tipo de constrangimento conceitual é a operação típica do simbolismo. A linguagem faz o mesmo em seu processo de nomeação (Cassirer, 2011, p. 704). É precisamente sob esse aspecto que a filosofia das formas simbólicas se diferencia da metafísica realista, pois, diferente desta última, todo acesso ao real

física só consegue enformar as percepções e construir o seu mundo objetivo “ao lado do conceito básico de número” (Cassirer, 2011, p. 710), sem prescindir igualmente do “conceito de espaço” (Cassirer, 2011, p. 710). Os dois movimentos de maior amadurecimento científico na modernidade podem ser explicados pela predominância de ambos os conceitos no interior da física matematizada. Em uma primeira fase, ela pode ser interpretada como fundamentalmente geométrica, enquanto numa segunda fase a física se mostrou principalmente algébrica.

Lembremos que, para Cassirer (Cassirer, 2011, p. 774), dos três momentos de inflexão da história da teorização da natureza (Aristóteles, Descartes e Leibniz), dois deles correspondem à fase de matematização da física. Com Descartes, a matematização se faz assentada, sobremaneira, no conceito de espaço, em sua versão geométrica. Segundo Cassirer, quando Descartes põe as qualidades da sensação para fora do âmbito da investigação que se pretende clara e distinta, deixando somente a qualidade primária dos corpos como sendo aquilo sobre o que a física pode versar com rigor e objetividade matemáticas, somos obrigados a assumir que “a matéria se reduz, pelo puro caráter de seu ser, ao espaço e à extensão” (Cassirer, 2011, p.778) e, conseqüentemente, a física, que é basicamente mecânica, se constitui como ciência das formas geométricas. Suas teorias são descrições que estão absolutamente presas “aos esquemas puramente intuitivos” (Cassirer, 2011, p.778). E assim, Cassirer conclui sobre Descartes:

E podemos dizer que a física global, desde o *Le Monde* até os *Principia philosophiae*, não é senão o desenvolvimento conseqüente dessa ideia básica e diretriz. O caminho para uma análise “racional” dos fenômenos naturais perpassa a intuição de espaço e, no ponto em que a intuição espacial nos abandona, no ponto em que a construtibilidade geométrica dos fenômenos deixa de existir, também a nossa visão tem seu fim. (Cassirer, 2011, p.778)

Esse arremate do pensamento científico cartesiano deixa evidente uma característica nuclear da física geométrica: a teoria científica está circunscrita às representações figurativas, e seu limite de atuação, a intuição pura do espaço, tem como conseqüência uma visão de mundo e dos fenômenos naturais ainda bastante imagética.

---

pressupõe a atividade intelectual que ativamente enforma as percepções ao invés de replicá-las na mente, tal como o realista acredita ser o caso (Ibidem).



Neste ponto, é possível notar que mesmo com a matematização das descrições fenomênicas a partir das relações geométricas, o simbolismo da linguagem se faz presente quando exerce essa influência figurativa na construção das teorias físicas, pois elas, ao se manterem no esquema formal da geometria, não conseguem ir além do figurativo, não abandonam completamente o campo da intuição, ou seja, sua idealização se mostra restrita ao espacial. É certo que nesta fase, com a física geométrica de Descartes, o conhecimento científico consegue evitar as indeterminações epistêmicas oriundas dos sentidos, mas não se liberta dos limites da intuição porque a forma objetiva do mundo da ciência é o espaço puro, é a substância extensa. O avanço da matemática com a criação do plano cartesiano, bem como a possibilidade de se traduzir todas as relações mecânicas dos fenômenos em relações geométricas em um espaço ideal de duas dimensões, certamente, fizeram com que o conhecimento científico abrisse uma estrada alternativa à linguagem e às suas determinações sensíveis. Contudo, era preciso mais um passo adiante. Do ponto de vista de sua fundamentação, para que o conhecimento se livrasse das determinações sensíveis e, até mesmo, da intuição pura daquilo que se poderia abstrair delas como essencial (a extensão), seria necessário que o pensamento chegasse a uma noção de forma mais fundamental do que a alcançada pela geometria.

Nesse sentido, para Cassirer, quem fez a crítica à física geométrica e começou a colocar o conhecimento da natureza em um novo patamar, no rumo da plena idealização das teorias físicas, foi Leibniz. Sua contribuição se deu tanto no campo da especulação, que é o que Cassirer ressalta na parte final do volume III de FFS, quanto na invenção do cálculo infinitesimal. Leibniz, muito mais ligado à aritmética<sup>20</sup>, passa a entender que a restrição das teorias científicas à forma extensa é um dos equívocos do mecanicismo geométrico. Uma das falhas que Leibniz apontou no mecanicismo de Descartes foi a de que uma noção como a de força, por exemplo, jamais poderia ser alcançada se as teorias científicas ficassem limitadas à representação e à intuição espacial (Cassirer, 2011, p. 780). Ou seja, “a crítica que Leibniz faz a teoria cartesiana é que ela ainda fica presa aos corpos, à imagem da massa extensa” (Cassirer, 2011, p. 781). Esse aspecto do pensamento de Descartes terminava por impor ao conhecimento da natureza um confinamento à representação imagética (Cassirer, 2011, p. 781)<sup>21</sup>. Segundo Cassirer, Leibniz entende

<sup>20</sup> Cassirer complementa: “e vê essa última apenas como um caso especial de combinatória” (2011, p. 779).

<sup>21</sup> É importante observar que Descartes, na *Geometria* (1954), faz um esforço de conciliar a geometria e a aritmética, chegando a apresentar várias formalizações algébricas de relações espaciais. A ideia de

que a ciência para se tornar conhecimento universal precisa superar ambos os limites, o da percepção sensível e da forma geométrica. Sob a ótica da especulação filosófica, eu diria que Leibniz exerceu um papel preponderante para a efetivação da ciência em seu registro significativo porque levou o pensamento a perceber que as relações geométricas são apenas um caso particular de relações lógicas mais fundamentais. E, por outro lado, suas contribuições no desenvolvimento do cálculo, foram indispensáveis para que a matemática conseguisse se tornar ainda mais abstrata, mais intelectualizada e capaz de converter as próprias relações da geometria em novas relações simbólicas não figurativas.

O cálculo infinitesimal preconizado por Leibniz<sup>22</sup> forneceu à ciência moderna um novo instrumental matemático que lhe permitiu caminhar em direção à dinâmica e que lhe autorizou realizar as descrições dos fenômenos físicos em um grau bem maior de idealização. O cálculo diferencial, portanto, ajudou a fundar uma nova ciência que aqui chamo de física algébrica, sendo a ela possível demonstrar todas as relações geométricas de modo extremamente formal, sem o compromisso com intuição espacial e com nada que seja imagético. Em Leibniz temos então o início do fim da ideia de que “um fenômeno natural equivalia à sua representação em um modelo intuitivo” (Cassirer, 2011, p. 785). Por isso, “pelas regras desse cálculo, o universo físico torna-se inteligível; vê-se que as leis da natureza não são nada além de casos especiais das leis gerais da razão” (Cassirer, 1994, p. 33). É aqui que se inicia a segunda fase do desenvolvimento da física que só alcançou o seu ápice nos séculos XIX e XX, quando começam a elaboração de teorias mais abstratas e mais contra intuitivas. À física fica, portanto, mais clara a exigência de que as descrições dos fenômenos naturais, em última análise, devem poder ser formalizadas em complexos cálculos algébricos, libertando-se das determinações geométricas<sup>23</sup>.

Pelo lado da experiência científica propriamente, Descartes encontrou inúmeras dificuldades na comprovação de suas hipóteses. Seu mecanicismo, do qual não conseguiu

---

geometria analítica é exatamente a de representar relações espaciais não só figurativamente, mas também com símbolos aritméticos, permitindo assim a análise algébrica das figuras espaciais. Contudo, como se tratava de um período anterior ao cálculo diferencial, sendo este ainda mais abstrato do que a geometria, a base do pensamento cartesiano se mantinha ainda bastante figurativa.

<sup>22</sup> Assim como por Fermat e Newton.

<sup>23</sup> “O ideal do conhecimento da natureza deixou de se inspirar, por conseguinte, no modelo da geometria a fim de optar pelo da *aritmética*, pois é a teoria dos números a que, segundo Condillac, oferece o exemplo mais claro e mais simples de uma teoria das relações em geral, de uma lógica geral das relações” (Cassirer, 1994, pp. 85-6).

sair, levou um duro golpe da física newtoniana que, por sua vez, adotava “[...] princípios matemáticos universais que governem o curso da natureza; mas não acredita na possibilidade de reduzir toda a física à geometria” (Cassirer, 1994, p. 83). Newton radicalizou o uso do método experimental para o conhecimento da natureza e, seguindo o mesmo espírito baconiano, elevou as inferências indutivas a um novo *status* epistêmico. A objetividade das teorias físicas não está apenas amparada pela certeza das deduções, pois não basta derivar conclusões dos princípios matemáticos para se chegar à teoria verdadeira. É necessário que a explicação científica tenha a experiência como sua fiadora<sup>24</sup>. Uma mecânica universal, para Newton, deve fornecer as leis gerais para que todos os casos particulares sejam devidamente explicados conforme a articulação entre a observação e o aparato matemático. A questão de se determinada qualidade encontrada nos corpos é ou não essencial mostra-se completamente dispensável para o funcionamento da explicação científica (Cassirer, 1992, p. 84). No que diz respeito ao tipo de cálculo aplicados por Newton em suas teorias, foi igualmente necessário que o pensamento ultrapassasse a forma geométrica e encontrasse a forma algébrica.

Esta passagem da perspectiva geométrica para a perspectiva algébrica na física corresponde à “evolução do *modelo* para o *princípio*” (Cassirer, 2011, p. 787), ou seja, a física em sua primeira fase moderna tentou construir modelos matemáticos com a intenção de alocar as coisas intuídas especialmente dentro das relações formais desses modelos<sup>25</sup>. Já no século XIX, inicia-se um tipo de física que busca primeiramente um juízo geral que atue como uma regra suprema que antecede os experimentos científicos, que possibilita a interpretação dos fenômenos naturais como parte de uma visão totalizante<sup>26</sup>. Aqui a ideia de um “mundo das coisas” a ser descrito por uma teoria perde cada vez mais a sua centralidade. A compreensão da realidade como uma totalidade formada por partes (coisas isoladas) começa a dar lugar a um mundo como totalidade de ocorrências interligadas entre si. Desse modo, “a ordem, portanto, passou a ser o verdadeiro, o ‘absoluto’ conceito fundamental da física: o próprio mundo não é mais

---

<sup>24</sup> Segundo Cassirer, Newton “rechaçou expressamente uma teoria *mecânica* da gravitação porque a experimentação nenhuma prova satisfatória nos fornece nesse sentido” (1992, p. 83).

<sup>25</sup> Do ponto de vista historiográfico, corresponde ao período de “declínio do conceito mecânico” (Einstein & Infeld, 2008, p. 63).

<sup>26</sup> Após a descrição e explicação de um experimento físico cujo intuito era o de apresentar o conceito de campo eletromagnético, Einstein e Infeld exclamam: “Como seria difícil encontrar esses fatos sem a ajuda do conceito de campo!” (2008, p. 115).

representado como uma coexistência de unidades de coisas, mas como uma ordem de *eventos*” (Cassirer, 2011, p. 799). Tanto em FFS, volume terceiro (2011, p. 794), quanto em LCC (Cassirer, 2012, p. 91). Cassirer afirma que a noção de *campo*<sup>27</sup> eletromagnético, de Faraday e Maxwell, caracteriza exatamente esse ponto de inflexão na história da ciência: a mudança da física mecanicista e de modelo geométrico para uma física algébrica e de princípio. Einstein e Infeld dizem assim que:

Durante a segunda metade do século XIX, ideias novas e revolucionárias foram introduzidas na física; abriram caminho para um novo ponto de vista filosófico, diferente do mecânico. Os resultados do trabalho de Faraday, Maxwell e Hertz levaram ao desenvolvimento da física moderna, à criação de novos conceitos, formando um novo quadro da realidade. (2008, p. 109)

A principal implicação epistemológica desta nova teoria é que o conceito de campo só pode ser entendido como uma relação e nunca como um agregado de coisas somadas (Cassirer, 2012, p. 91). Um elétron, por exemplo, só pode ser interpretado posicionalmente no interior do campo e jamais será isolado pela intuição como se fosse uma partícula suscetível de uma tal separação. Assim, o conceito de campo expressa um tipo de relação ideal, um princípio constitutivo, que condiciona a interpretação dos eventos físicos sempre a partir de uma visão totalizante<sup>28</sup>. Por conseguinte, Cassirer afirma:

A realidade que designamos como nome de “campo” não pode mais ser pensada como um complexo de coisas físicas, mas constitui a expressão de um conceito genérico que abrange as relações físicas. Se dessas relações selecionarmos determinados elementos, se considerarmos posições específicas do campo por si mesmas, isso nunca significará que podemos de fato separá-las também na intuição e que podemos mostrá-las como estruturas intuitivas isoladas. Todos esses elementos são antes condicionados pelo todo a que pertencem, e somente por meio desse todo são definidos. Aqui não é mais possível separar uma “parte” específica, uma partícula substancial do campo e acompanhar o movimento dessa partícula durante determinado tempo. (2011, pp. 794-5)

<sup>27</sup> O termo campo denota a capacidade das forças de agirem através do espaço, sem se restringir à ação por contato, mas também sem se confundir com a ação a distância. A caracterização mais informal e geral do conceito de campo tem a ver com a noção de zona de influência de um corpo (Bezerra, 2006, p. 183).

<sup>28</sup> “As propriedades do campo parecem ser, por si sós, essenciais à descrição dos fenômenos; a diferença de fontes não importa. O conceito de campo revela sua importância ao conduzir a novos fatos experimentais” (Einstein & Infeld, 2008, p. 116).

Möckel afirma que, em Cassirer, esse direcionamento metodológico que vai no sentido da pressuposição de noções e de estruturas totalizantes é uma tendência que se percebe nos mais diferentes campos das ciências, sejam elas naturais ou culturais: “Todas elas se afastam progressivamente do materialismo mecânico e do monismo, e introduzem metodicamente totalidades e estruturas como *algo originário, indeduzível*” (2011, p. 69).

### Conclusão

Enfim, para Cassirer, a objetividade da física é algo dinâmico e, como tal, conquistada pelo espírito. Assim, “o acesso ao mundo da realidade física é primeiramente fornecido pela construção de determinado mundo simbólico” (2001a, p. 700). Esse é um dos ensinamentos de Pierre Duhem, um dos primeiros teóricos a tomar consciência de que o caminho trilhado pela ciência é o do simbolismo (Cassirer, 2001a). Em meio aos diversos símbolos que tornam possível a criação deste mundo espiritual, um deles se apresenta como fundante: o número real. Nada pode obter valor físico sem a devida tradução da multiplicidade dos fatos para o “reino do número” (Cassirer, 2001a, p. 701). O mundo simbólico, agora construído sobre a égide do número, permite que as percepções e os fenômenos físicos sejam modelados a partir de uma visão global da experiência, superando o nível da observação meramente intuitiva e de senso comum. Nos termos do simbolismo numérico, não há como simplesmente intercambiar “os conteúdos particulares, dados na percepção, por conteúdos de um tipo e caráter diversos” (Cassirer, 2001a, p. 701). Não há mais, para Duhem, a simples relação biunívoca que liga as percepções subjetivas ao mundo material repleto de substâncias, pois o que ocorre é uma comparação entre a totalidade do mundo físico-simbólico, construído pelo intelecto, e a estrutura conceitual (matemática) por meio da qual esse mundo se expressa. Na verdade, o que o cientista manipula é a sua própria construção simbólica.

Se formos ao texto de Duhem (2019)<sup>29</sup>, encontramos uma argumentação que pode ser sintetizada da seguinte maneira. A primeira parte de seu argumento consiste em distinguir um duplo sentido da noção de “lei”. O primeiro é o que chama de “lei do senso comum” e o segundo seria a “lei física” (2019, pp. 198-9). O conhecimento ordinário constrói leis a partir da ligação de termos abstratos. A lei “Todo homem é mortal” é

---

<sup>29</sup> Refiro-me ao ensaio *Algumas reflexões acerca da física experimental* de 1894.

engendrada à luz do pressuposto de que as noções abstratas de “homem” e “mortal” podem ser referidas a coisas reais e particulares, isto é, sempre “encontraremos objetos concretos realizando essas ideias abstratas” (Duhem, 2019, pp. 198-9). Metodologicamente, as leis de senso comum assumem a ideia corrente de que da observação dos fatos particulares é possível universalizar aspectos abstratos que, ao serem articulados logicamente, permitem ao pensamento chegar a conclusões verdadeiras. As leis físicas, por seu turno, são elaboradas de modo completamente diferente. O exemplo que Duhem fornece é a lei de Mariotte<sup>30</sup> a qual ele resume assim: “A uma mesma temperatura, os volumes ocupados por uma mesma massa de gás estão na razão inversa das pressões que ela suporta”<sup>31</sup> (Duhem, 2019). É óbvio que para que se compreenda esta proposição, precisamos saber o que significa termos como “temperatura”, “massa” e “pressão”, por exemplo. Mas, diferente do que ocorre no nível do senso comum, essas ideias abstratas não podem ser reduzidas a coisas concretas, a dados sensíveis. No nível das leis científicas não há essa passagem não problemática, quase automática, do abstrato ao concreto e vice-versa. A quantidade específica de temperatura e de pressão que encontramos em um experimento não significará, respectivamente, a instanciação da temperatura e da pressão em geral, pois “essa correspondência é aquela entre uma coisa significada e o signo que a substitui, entre uma realidade e o símbolo que a representa” (Duhem, 2019, p. 200). Vale destacar que a lei de Mariotte preserva seu caráter matemático, submetendo suas noções centrais ao império do número real em uma relação algébrica ( $P \times V = T$ )<sup>32</sup>. Destarte, conclui Duhem:

Os termos simbólicos que uma lei da física liga não são mais essas abstrações que brotam espontaneamente da realidade concreta; são abstrações produzidas por um trabalho de análise lento, complicado, consciente, o trabalho secular que elaborou as teorias físicas. É impossível compreender a lei, impossível aplicá-la, se não se fizer esse trabalho, se não se conhecer as teorias físicas. (2019, p. 200)

<sup>30</sup> Na verdade, essa lei normalmente é atribuída também a Robert Boyle. Cientista inglês que chegou às mesmas conclusões do francês Edme Mariotte praticamente na mesma época.

<sup>31</sup> Para que o leitor possa visualizar esta lei de modo mais intuitivo, imagine um pequeno balão cheio de gás em tamanho que possa ser introduzido dentro de uma seringa. Vedamos a passagem de ar de uma de suas extremidades e na outra extremidade introduzimos a peça da seringa responsável por causar a pressão dentro da mesma. A lei de Mariotte nos diz que se pressionarmos esta segunda peça na direção do balão com o dobro da força inicial, teremos o dobro da pressão interna o que provocará a diminuição do tamanho do balão pela metade. Se triplicarmos a pressão, o tamanho do balão diminuirá a um terço. Todo este processo é isotérmico, isto é, ocorre em temperatura constante.

<sup>32</sup> P= pressão, V= volume e T= tempo constante.

De fato, Duhem adianta, como constata Cassirer, a explicação filosófica das leis científicas em termos simbólicos. Com suas considerações, sumariamente reproduzidas aqui, compreende-se o que significa dizer que a ciência não se relaciona mais, diretamente, com os dados sensíveis<sup>33</sup>. Que suas teorias não necessitam mais pressupor a existência de um mundo objetivo que possa vir a ser redutível aos sentidos e, também, ao mundo imagético da linguagem. A objetividade da física é conquistada na medida em que ela mesma constrói seu mundo de símbolos o qual não pode ser nunca traduzido em termos não simbólicos, em meras coisas em si mesmas. Contudo, se olharmos com atenção, o exemplo de lei científica oferecido por Duhem parece expressar aquilo que chamo de segunda fase do desenvolvimento conceitual da física, o seu momento algébrico. Porque se notarmos bem, a física geométrica, apesar da imprescindível mediação do simbolismo matemático, o que é um enorme avanço para o amadurecimento da função significativa, ainda replica posições de senso comum, tal como a pressuposição de que ideias abstratas seriam representações de coisas concretas. É como se a física geométrica, por estar ainda presa à noção de intuição espacial, não radicalizasse o simbolismo até as últimas consequências, ou seja, não liberta o pensamento humano da ideia de uma realidade não simbólica.

## Referências

Adorno, T. W. (2015). *Para a metacrítica da teoria do conhecimento: estudos sobre Husserl e as antinomias fenomenológicas* (M. A. S. Casanova, Trad.). Ed. Unesp.

Bezerra, V. A. (2006). Maxwell, a teoria do campo e a desmecanização da física. *Scientiae Studia*, 4(2), 177–220. <https://doi.org/10.1590/S1678-31662006000200003>

Cassirer, E. (1953). *Substance and function [and] Einstein's theory of relativity* (W. Swabey & M. Swabey, Trans.). Dover Publications.

---

<sup>33</sup> Einstein e Infeld fornecem uma boa síntese dessa da dinâmica científica: “Os conceitos físicos são criações livres da mente humana, não sendo, por mais que possa parecer, singularmente determinados pelo mundo exterior. Em nosso esforço para compreender a realidade nós somos algo semelhante a um homem tentando compreender o mecanismo de um relógio fechado. Ele vê o mostrador e os ponteiros em movimento, até ouve o seu tique-taque, mas não tem meio algum de abrir a caixa. Se for engenhoso, poderá formar alguma imagem de um mecanismo que poderia ser responsável por todas as coisas que observa., mas jamais poderá estar bem certo de que a sua imagem seja a única capaz de explicar suas observações. Jamais poderá comparar essa imagem com o mecanismo real e não pode sequer imaginar a possibilidade ou o significado de tal comparação. Mas certamente acredita que, com o aumento de seus conhecimentos, a sua imagem da realidade se tornará cada vez mais simples e explicará uma gama cada vez maior de impressões sensoriais” (2008, p. 36).

- Cassirer, E. (1955). *Las ciencias de la cultura* (W. Roces, Trad.). Fondo de Cultura Económica.
- Cassirer, E. (1989). *Esencia y efecto del concepto de símbolo* (C. Gerhard, Trad.). Fondo de Cultura Económica.
- Cassirer, E. (1992). *A filosofia do iluminismo* (A. Cabral, Trad.). Ed. Unicamp.
- Cassirer, E. (1994). *Ensaio sobre o homem: introdução a uma filosofia da cultura humana* (T. R. Bueno, Trad.). Martins Fontes.
- Cassirer, E. (2000). *The logic of the cultural sciences: five studies* (S. G. Lofts, Trans). Yale University Press.
- Cassirer, E. (2001a). *A Filosofia das formas simbólicas: a linguagem* (M. Fleischer, Trad., Vol. 1). Martins Fontes.
- Cassirer, E. (2001b). *Indivíduo e cosmos na filosofia do renascimento* (J. Azenha Jr. & M. E. Viaro, Trad.). Martins Fontes.
- Cassirer, E. (2011). *A filosofia das formas simbólicas: fenomenologia do conhecimento* (Eurides Avance de Souza, Trad., Vol. 3). Martins Fontes.
- Cassirer, E. (2012). *Las ciencias de la cultura* (W. Roces, Trad.). Fondo de Cultura Económica.
- Descartes, R. (1954). *The Geometry* (D. E. Smith & M. L. Latham, Trans.). Dover Publications.
- Duhem, P. (2019). *Ensaio de filosofia da ciência: estudos selecionados sobre tradição e mudança científica* (P. R. Mariconda, Trad.). Associação Filosófica Scientiae Studia.
- Einstein, A., & Infeld, L. (2008). *A Evolução da Física* (G. Rebuá, Trad.). Zahar.
- Friedman, M. (2010). Ernst Cassirer and Thomas Kuhn: the neo-Kantian tradition in the history and philosophy of science. In R. A. Makkreel, S. Luft (Eds.), *Neo-Kantianism in Contemporary Philosophy* (pp. 177–191). Indiana University Press.
- Garcia, R. R. (2010). *Genealogia da Crítica da Cultura: um estudo sobre a Filosofia das Formas Simbólicas de Ernst Cassirer* [Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo]. <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/8/8133/tde-25112010-145753/en.php>
- Gawronsky, D. (1949). Cassirer's contribution to the epistemology of physics. In P. A. Schilpp (Ed.), *The Philosophy of Ernst Cassirer* (pp. 217–238). Library of Living Philosophers.



Heijden, Pim van Der. (2014). *From the frying pan into the fire: Cassirer's conception of causality and determinism and the responses of contemporary physicists* [Master's Thesis, University Utrecht]. <https://dspace.library.uu.nl/handle/1874/370599>

Kant, I. (2015). *Crítica da razão pura* (F. C. Matos, Trad.). Vozes; Editora Universitária São Francisco.

Kuhn, T. (2001). *A estrutura das revoluções científicas*. Perspectiva.

Kuhn, T. (2006). *O caminho desde a Estrutura* (C. A. Mortari, Trad.). Ed. Unesp.

Möckel, C. (2011) O problema da forma nas ciências: Ernst Cassirer e as analogias metodológicas nas ciências da cultura e na biologia. *Revista de Filosofia e Ciência*, 3, 53–79.

Möckel, C. (2019). Sistema e estrutura: uma relação conceitual em Cassirer. In S. F. Gil Filho, M. A. S. Da Silva, & R. R. Garcia (Orgs.), *Ernst Cassirer: Geografia e filosofia* (pp. 34–77). Programa de Pós-graduação em Geografia-UFPR.

Mormann, T. (2015). From Mathematics to Quantum Mechanics: on the conceptual unity of Cassirer's Philosophy of Science (1907–1937). In J. T. Friedman & S. Luft (Eds.), *The Philosophy of Ernst Cassirer: a novel assessment* (pp. 31–64). De Gruyter.

Popper, K. (1972). *Conjecturas e refutações* (B. Bettencourt, Trad.). UnB.

Artigo recebido em: 18.03.2021

Artigo aprovado em: 22.07.2021

