

# Epistemologia da matéria: Algumas reflexões sobre sua representação e estatuto ontológico

(*Epistemology of matter: Some remarks on its representation and ontological status*)

Rodolfo Petrônio<sup>1</sup>

*Faculdade de Filosofia, Departamento de Filosofia, Centro de Ciências Humanas,  
Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil*

Recebido em 13/5/2014; Aceito em 23/7/2014; Publicado em 3/10/2014

Com o nascimento da física moderna, enfatizou-se o aspecto atomístico da matéria e, por conseguinte, sua estrutura corpuscular, o que forneceu a base para a definição de massa por Newton. Ao surgirem a mecânica quântica e a teoria geral da relatividade, ganharam maior ênfase os conceitos de energia e campo. Trata-se de saber afinal o que é a matéria, ou melhor, definir seu estatuto ontológico. Exporemos aqui algumas perspectivas contemporâneas, (i) mostrando que uma demanda filosófica acerca do estatuto ontológico da matéria permanece por ser atendida, em complemento à análise epistemológica, e que (ii) o uso do simbolismo matemático para fixar os conceitos de massa, energia e campo tratados pela análise epistemológica parece não ser suficiente para dar conta de uma visão totalizante sobre a matéria, requerendo em adição alguma perspectiva ontológica complementar.

**Palavras-chave:** filosofia da física, epistemologia da matéria, ontologia da matéria.

With the rise of modern physics, emphasis was given on both the atomistic view and corpuscular structure of matter, thus providing the basis for Newton's definition of mass. When quantum mechanics and general relativity came out, emphasis was given on the concepts of energy and field. Agreement is needed as to a final comprehension on what matter is, viz. defining its ontological status. Here we shall present some contemporary standpoints, both showing that (i) a philosophical demand on the ontological status of matter remains to be attended, complementary to epistemological analysis, and that (ii) using of mathematical symbolism to underpin the concepts of mass, energy and field handled by epistemological analysis doesn't seem to be enough to account for a whole view of matter, additionally requiring some complementary ontological perspective.

**Keywords:** philosophy of physics, epistemology of matter, ontology of matter.

## 1. Introdução

O propósito deste artigo não é fornecer uma exposição *sistemática* e *exaustiva* sobre o conceito de matéria, senão propor uma análise conceitual de algumas perspectivas que se desenvolveram especialmente à luz da teoria da relatividade, mesmo inserindo de forma limitada alguma discussão geral sobre o estatuto da função de onda, haja vista o caráter de novidade que trouxe sua associação com o aspecto corpuscular. Há outros desenvolvimentos relevantes a este respeito trazidos pela teoria quântica, que esperamos apresentar oportunamente. Com vistas a cumprir com o objeto deste artigo, serão perfilados alguns enfoques contemporâneos, especialmente aqueles propostos por Hermann Weyl

em 1952 [1], Erwin Schrödinger em 1958 [2], e Marc Lange em 2002 [3].<sup>2</sup> Para isso, iniciaremos com algumas brevíssimas linhas sobre a ênfase quantitativa da visão clássica sobre a matéria como elemento motivacional para, seguindo certa escala cronológica, expor elementos que nos interessam acerca de uma análise epistemológica da matéria segundo os autores citados, com a finalidade de mostrar que esta análise empreendida ao longo do tempo, munida extensivamente da intermediação e simbologia matemática, além da ênfase quantitativa, mostra-se insuficiente para dar conta desse conceito em sua totalidade.

Segundo Torretti [4], o conceito de uma matéria criada por Deus, a partir do nada, consistindo de um único conteúdo universal, foi defendido por Galileu, Descartes

<sup>1</sup>E-mail: rodolfo.petronio@gmail.com.

e Newton [4, p.14], com exceção de pequenas diferenças, dado que este conceito possibilitava o tratamento matemático dos fenômenos físicos, daí ter Galileu [4, p. 15] afirmado que o universo é como um livro aberto em linguagem matemática, lido por meio de triângulos, círculos, e outras figuras geométricas, sem as quais não seria possível compreendê-lo; daí também se situar a conhecida distinção entre qualidades *primárias* (número, figura, movimento), como objetivas e reais, e qualidades secundárias (cor, aroma, textura,<sup>3</sup> etc.), como subjetivas e ideais. Assim, o conceito moderno de matéria surge com Galileu, Boyle e cols. [4, p. 14-15]. Por outro lado, segundo Torretti [4, p.17], Descartes deve ter sido aquele que possivelmente mais contribuiu para o estabelecimento e a fixação do conceito contemporâneo de matéria, vista como uma pura extensão inerte; extensão em comprimento, largura e profundidade, cuja divisão em partes bem como os conceitos associados (número, figura, movimento etc.) são as únicas idéias que podemos conceber, de forma clara e distinta, a respeito dessas partes.<sup>4</sup>

Ora, foi sobre esta ênfase na apropriação quantitativa da natureza, iniciada entre os séculos XVI e XVII, que se desenvolveu a abordagem contemporânea. Esta, ainda que tenha introduzido modificações e extensões ao modelo clássico, ainda prescreve o método quantitativo-experimental, com base na simbologia matemática, como modelo de conhecimento da matéria. No entanto, tal perspectiva geral requer uma compreensão sobre a natureza da matéria, uma vez que as diversas propostas não esgotam a totalidade do conceito, que subentende uma demanda filosófica de natureza ontológica, em aditamento à perspectiva científica. A perspectiva ontológica ao pretender responder ao estatuto último sobre a natureza da matéria, ou seja, sobre seu modo de ser essencial dado por notas constitutivas e propriedades que ultrapassam o âmbito do quantitativo provê um complemento à análise empírico-quantitativa e simbólica da matéria, dada pelas ciências experimentais, especialmente pela física. Ademais, a perspectiva científica ao apresentar-nos os conceitos de massa, energia e campo como conceitos fundamentais relaciona-os de tal modo que não apenas estes não são suficientes para responder à questão ontológica sobre o modo de

ser essencial da matéria, como, antes, parecem supô-lo.

Certamente, os debates sobre o realismo dos entes teóricos e sobre a verdade das teorias científicas exercem uma influência considerável sobre a fixação do estatuto epistemológico da matéria. No entanto, nosso interesse aqui é mais restrito, pois não temos o objetivo de fazer uma reflexão mais global sobre o alcance das teorias, que teria certamente, como consequência, a questão epistemológica, senão o de circunscrever a discussão para mostrar, de forma geral, que o *moto* próprio da investigação realizada pela ciência possui natureza intrinsecamente epistemológica. Esta última, por sua vez, demandaria uma abordagem ontológica que deve obedecer a algum outro tipo de método que não o exclusivamente físico-matemático, de base experimental.

Por fim, gostaríamos de chamar a atenção dos leitores para o fato de que incluímos na lista de referências bibliográficas a data de publicação original da obra ou artigo entre parênteses, de modo que se pudesse adicionalmente vincular o contexto histórico das diversas propostas à sua apresentação neste trabalho, não obstante a data de publicação em língua portuguesa, ou em outra língua, de cada obra referida situar a disponibilidade de edição mais recente.

## 2. Investigações sobre o estatuto epistemológico da matéria<sup>5</sup>

### 2.1. Matéria e campo em Hermann Weyl

Iniciamos nossa exposição do enfoque epistêmico com a proposta de Weyl [1], uma vez que este autor, logo no início do século XX, com o surgimento da teoria da relatividade, retoma o conceito de campo, já estabelecido fortemente pelo eletromagnetismo, para substabelecê-lo como fundamental, em lugar do conceito atomista clássico. Para este autor, matéria denota a substância do mundo, a qual está submetida à *lei da conservação da matéria*, a saber, qualquer quantidade de matéria permanece constante em qualquer mudança. Ou seja, a matéria, tomada como algo substancial quantificável, é um invariante nas interações físicas. Ademais, físicos, como Faraday e Maxwell, propuseram, no entender de Weyl, uma diferente categoria da realidade [1, p.1-2].

<sup>3</sup>Ainda que o conceito de textura demande a especificação de variações milimétricas nas superfícies sólidas dos corpos, não obstante é característica de cada substância natural macroscópica, assim como sua densidade, dureza etc. Claro, algumas propriedades são mais propícias à compreensão matemática mais direta, como textura, e outras, como sabor ou aroma, demandam a intervenção de um sem número de partes quantitativas intermediárias entre o corpo e nossos sentidos para serem percebidas como tais. Segundo essa perspectiva, o que seria importante para caracterizar a qualidade como um atributo secundário é o fato de poder ser compreendida pela simples interposição de um número maior ou menor de qualidades primárias que concorrem para sua percepção.

<sup>4</sup>O físico David Bohm [5] chamará este processo de subdivisão e análise particionada da realidade de *fragmentação*.

<sup>5</sup>Epistemologia, neste trabalho, é o empreendimento intelectual que busca o conhecimento do que os antigos denominavam *causas segundas*, usualmente compreendidas como as causas de natureza material e eficiente, necessárias para dar conta da realidade física em seus detalhes. Neste sentido, epistêmico retoma a acepção original de *conhecimento certo segundo as causas*, ao mesmo tempo em que caracteriza a natureza do empreendimento científico moderno. (Ref. [5]).

<sup>6</sup>Weyl não esclarece se o termo categoria procede de Aristóteles, da mesma forma com que se refere à *substância* sem precisar claramente o sentido. Possivelmente Weyl tinha em mente o esquematismo kantiano, haja vista que a exposição inicial que faz acerca de espaço e tempo é claramente fundamentada em Kant [6], ou seja, espaço e tempo como formas puras à priori do sujeito cognoscente. Por isso, o *campo* como uma categoria da realidade parece ser, com efeito, um *conceito* mediante o qual apreendemos certa gama de fenômenos, no caso, os fenômenos eletromagnéticos.

Esta nova categoria da realidade a que se refere Weyl é o conceito de *campo*.<sup>6</sup> No entanto, para o autor, tal substancialidade é redutível apenas ao que é empiricamente verificável [1, p.5], visto que nosso conhecimento acerca da realidade apresenta-se sob um duplo aspecto: em primeiro lugar, não há *qualidades* reais nos objetos da experiência, ou seja, as chamadas *qualidades secundárias* são subjetivas, restando apenas tratar aquilo que é matematizável;<sup>7</sup> em segundo lugar, espaço e tempo, e tudo que neles está contido, apresenta-se como um fenômeno [1, p.4]. Portanto, a análise ontológica, isto é, a análise das notas constitutivas últimas que nos definem o modo de ser essencial da matéria é bloqueada, restando tão-somente a análise epistemológica sob as condições estritas da física-matemática.<sup>8</sup> Segue-se que a definição de matéria assume um aspecto eminentemente matemático, a saber, que sua medida, a massa, é repostada pela energia associada ao corpo: “inércia é uma propriedade da energia” [1, p.202]. Neste caso, segundo Weyl, a inércia de um corpo é causada por sua energia potencial. Sendo  $m$  o valor da massa, medida da quantidade de matéria

ou inércia do corpo,  $E$  a energia potencial, então

$$m = \frac{E}{c^2}, \quad (1)$$

em que  $c$  é a velocidade da luz no vácuo.

Assim, continua o autor, “obtem-se uma visão nova e puramente dinâmica da matéria” [1, p. 202]. Ora, Weyl preocupa-se a esta altura em especificar as condições epistêmicas de acesso à matéria, através de uma perspectiva que nos permita esclarecer algo sobre a substancialidade das partículas atômicas,<sup>9</sup> concluindo que (Ref. [1, p. 202-203]):

[Tais partículas, como por exemplo, o elétron] não mais se nos apresentam como uma pequeníssima região [do espaço-tempo] distintamente separada do campo [... sendo] um “nó de energia” que se propaga no espaço vazio de uma forma não diferente do que uma onda o faz na água avançando sobre a superfície do mar; não há qualquer “única e mesma substância” de que

<sup>7</sup>Esta formulação que separa o acesso à realidade material dos corpos em dois aspectos, um objetivo, as qualidades primárias, a figura, a extensionalidade, o movimento, etc., e outro, subjetivo, as qualidades secundárias, a cor, a textura, a fragrância, etc. remonta a Descartes e foi sustentada pelos empiristas ingleses.

<sup>8</sup>Gostaríamos de fazer a seguinte consideração: há uma regra de linguagem vigente a respeito do que se supõe ser uma ontologia subjacente a algum corpo teórico. Toda teoria, ou todo sistema teórico, cuja pretensão é obter algum tipo de conhecimento sobre o real, postula a existência, em seu corpo de hipóteses, de uma *ontologia*, a saber, de entes teóricos que não se restringem a desempenhar pura e simplesmente um papel funcional no corpo teórico, mas que reivindicam possuir uma existência autônoma, *ontológica*, isto é, a existir, de fato, na natureza, tais como os postulamos nas teorias. À luz deste tipo de enfoque, tanto a mecânica quântica como a teoria da relatividade possuem, para um largo grupo de cientistas e filósofos, suas respectivas ontologias subjacentes. No entanto, neste trabalho, ontologia retoma seu significado original que é o de buscar estudar nos entes naturais seus *modos de ser*, ou seja, que princípios de inteligibilidade compõem sua estrutura última, ou *ontológica*. Isto se diferencia, portanto, de entender ontologia como o corpo de objetos, propriedades e relações cuja existência postulamos *a partir do corpo teórico ele mesmo*. Poderíamos chamar este modo de apropriação eminentemente epistêmico de *empiriológico*. Por conseguinte, o termo “ontologia” deslocou-se do sentido tradicional em filosofia que o associa ao resultado proveniente de uma análise do puro inteligível que há nas coisas para uma *existência segundo o enfoque epistêmico de um determinado quadro teórico*, que postula entes teóricos como, por exemplo, *campos e partículas*. À luz do enfoque tradicional, campos e partículas não se constituem enquanto tais em aspectos ontológicos do real, porém são mecanismos perfeitamente lícitos e necessários de sua reconstrução racional, responsáveis pela apropriação simbólica de suas propriedades mensuráveis. Neste sentido, não somente a proposta de representação quantitativa de Weyl, como muitas outras, ainda que intencionalmente busquem fazê-lo, permanecem aquém propriamente da ordem ontológica, situando-se como eficazes dispositivos epistemológicos de apropriação simbólica do real mensurável. Uma objeção relevante que se poderia levantar é a seguinte: “Tal busca por um fundamento último não estaria desde já condenada pelas filosofias do século XX ou XXI, uma vez que estas supõem justamente a não existência daquele fundamento último?”. De fato, se tomarmos como método de reflexão filosófica a perspectiva empirista, tal busca ficaria inviabilizada desde sua proposta, uma vez que, para tal ponto de vista, não há substrato ou substratos inteligíveis que configuram os entes da realidade, mas tão somente suas relações mensuráveis ou observáveis, obtidas a partir do método empírico. Esta é uma proposta que sempre esteve em discussão desde as críticas de Locke e Hume a qualquer forma de compreensão metafísica, e que é bastante aceita não apenas no meio filosófico (por exemplo, na proposta do *empirismo construtivo* de Bas van Fraassen, feita em 1980), mas principalmente na comunidade científica, em razão do próprio *modus operandi* da ciência. Por outro lado, há filósofos contemporâneos como Brian Ellis que em seu livro de 2001, *Scientific Essentialism*, defende que há nas coisas propriedades essenciais que tornam possíveis as leis fundamentais da natureza, configurando um mundo altamente dinâmico, que consiste em objetos mais ou menos transientes em constante interação uns com os outros e cujas identidades dependem justamente do papel que desempenham nesses processos. Ellis propõe mesmo que, embora o essencialismo seja “o tipo de teoria que eu defenderei em meu livro, não é uma perspectiva que tenha sido amplamente aceita modernamente, pois se tem que retornar a Aristóteles de modo a se encontrar um verdadeiramente notável defensor do essencialismo, mas mesmo assim, é o tipo de teoria que se esperaria ser aceita por um realista moderno” [p.1]. Ellis propõe a retomada de uma perspectiva metafísica, ainda que reconfigurada para atender às demandas da ciência moderna. Outra perspectiva interessante em defesa da existência de *modos de ser* nas coisas, ou seja, de aspectos intrínsecos e de certo modo “últimos ou fundamentais” que as perfazem está na análise que o físico David Bohm faz das leis naturais e das noções de causalidade, necessidade, e contingência em seu livro *Causality and Chance in Modern Physics*. De modo que, de fato, continua candente em nossos dias o interessante embate entre uma perspectiva metafísica que busca propriedades últimas (ainda que diversas ou dinâmicas, mas não necessariamente unívocas ou passivas) que emprestem ao mundo sua racionalidade e inteligibilidade próprias versus uma perspectiva empirista que prescindir de tais fundamentos ontológicos para que o mundo seja objeto de compreensão por nós, seres humanos. De qualquer modo, trata-se de perspectivas que não obstante sejam adversárias são ambas extremamente relevantes para conter os excessos postos pelo uso exclusivista de uma delas em detrimento da outra.

<sup>9</sup>Ou subatômicas; não há perda de generalidade, pois a abordagem aplica-se, sem mais, a neutrinos, quarks, assim como aos diversos mensageiros de campo, como bósons, glúons, etc.

[as partículas] sejam compostas em todos os momentos. Há apenas um potencial.

O problema torna-se então saber por que o campo apresenta tal estrutura *granular*, ou seja, por que é constituído de *nós de energia* – a saber, as partículas – que (Ref. [1, p.203]) “preservam sua energia e seu momentum ao passar daqui para acolá (embora não permaneçam totalmente inalteráveis, retêm sua identidade num grau extraordinário de precisão) [...] aqui repousa o *problema da matéria* [grifo do autor]”. Vemos, portanto, que Weyl propõe uma concepção de matéria que está associada intimamente à existência de um potencial de energia de um campo, ainda que este autor reconheça que o que usualmente se chama matéria é algo de natureza atômica. Prossegue (loc. cit.), contundentemente, “não é o campo que requer a matéria como sua portadora de modo a ser capaz de existir por si mesmo, antes é a *matéria* que, ao contrário, *é um produto do campo* [grifos do autor]”, ou seja, o campo é aquilo que produz a matéria, à qual temos acesso por meio de nossos órgãos sensoriais ou por dispositivos de mensuração.

Assim, Weyl nos propõe, por conseguinte, uma lei operativa: a matéria deve ser compreendida por meio de uma lei de conservação do campo, lei esta que se escreve sob a forma de um tensor de distribuição de tensões (tensões do campo, a bem dizer), ou *tensor energia-momentum*,

$$\nabla_\nu T^{\mu\nu} = 0. \quad (2)$$

A descrição de um fluido perfeito, no qual a quadrivelocidade de escoamento é  $u^\mu$ , pode ser dada por

$$T_{\mu\nu} = (\mu + p)u_\mu u_\nu + pg_{\mu\nu}.$$

Este tensor, no espaço-tempo, pode ser apresentado sob a forma matricial

$$T_{\mu\nu} = \begin{pmatrix} T_{00} & T_{01} & T_{02} & T_{03} \\ T_{10} & T_{11} & T_{12} & T_{13} \\ T_{20} & T_{21} & T_{22} & T_{23} \\ T_{30} & T_{31} & T_{32} & T_{33} \end{pmatrix},$$

em que a componente  $T_{00}$  é um escalar que representa a densidade de energia;  $(T_{01} \ T_{02} \ T_{03})$  e  $(T_{10} \ T_{20} \ T_{30})$  são vetores de fluxo de energia que, junto com a matriz de momentum,<sup>10</sup>

$$\begin{pmatrix} T_{11} & T_{12} & T_{13} \\ T_{21} & T_{22} & T_{23} \\ T_{31} & T_{32} & T_{33} \end{pmatrix},$$

representa a distribuição de energia (ou tensões) no campo. Para ilustrar o que estamos apresentando, vamos supor que estamos tratando com tensões num fluido qualquer adiabático<sup>11</sup>, então o tensor de energia (tensões) se apresenta sob a seguinte forma, uma vez que num referencial em que o fluido esteja em repouso, o vetor quadrivelocidade  $u^\mu = (1, 0, 0, 0)$

$$T_\nu^\mu = \begin{pmatrix} -\mu & 0 & 0 & 0 \\ 0 & p & 0 & 0 \\ 0 & 0 & p & 0 \\ 0 & 0 & 0 & p \end{pmatrix},$$

haja vista que o fluxo de energia é nulo (o fluido é adiabático) e que a pressão  $p$  (momentum) se distribui uniformemente na direção normal a cada elemento infinitesimal de fluido. Sendo  $\mu$  e  $p$  constantes, é fácil ver que  $\nabla_\nu T^{\mu\nu} = 0$  e que, portanto, representa a lei de conservação de energia ou matéria, aplicável a métricas como a de Minkowski ou Friedmann-Robertson-Walker, usada em modelos cosmológicos. Ora, este tipo de análise é de natureza essencialmente epistemológica, uma vez que descreve por meio de equações de conservação o comportamento ou a dinâmica da matéria sob uma forma quantitativa; equações da física-matemática que nos informam somente acerca das propriedades quantitativas do campo, mas não qual é sua natureza essencial ou seu modo de ser, nem os modos de ser de seus *nós de energia*. A rigor, sequer Weyl aborda essa questão, daí poder asseverar que [1, p. 204] “a idéia de uma existência substancial foi, finalmente, posta de lado”. Ademais, para que nosso acesso seja tão-somente epistemológico, o cenário no qual os fenômenos relativos a campos ocorrem é um mundo quadridimensional, ou seja, espaço e tempo estão indissolivelmente unidos, a saber, trata-se [1, p. 217] “de um continuum quadridimensional, no qual não há [como entidades distintas] *espaço e tempo*”. Ainda mais: a organização geométrica do espaço-tempo é determinada e igualmente determina a distribuição de matéria no mundo, representada pelo tensor energia-momentum, descrito acima. Podemos propor que não apenas para Weyl no transcurso da primeira metade do século XX, mas também para certo contingente de autores contemporâneos,<sup>12</sup> pode-se caracterizar sua postura com relação à natureza da matéria como epistêmica, porquanto enfatizam o aspecto quantitativo e representacional, expresso por leis e equações de conservação, relativas quer a campos quer a partículas. Isto poderá ser averiguado no decorrer da exposição acerca do estatuto da matéria.

Cabe aqui observar que a posição de Erwin Schrödinger [2, p. 45-66] parece coincidir com a de Weyl

<sup>10</sup>Que fenomenologicamente podemos experimentar, por exemplo, como pressão ou outro tipo de sensação.

<sup>11</sup>Ou seja, um fluido que esteja isolado com respeito ao meio circundante, o que implica que não ocorrem trocas de calor entre o fluido e o meio.

<sup>12</sup>Esta é uma atitude de caráter geral, e não significa o empenho específico de um ou de outro autor. No entanto, se tomarmos escritos relativamente recentes de natureza filosófica que tratam mais especificamente de análises concernentes a este assunto, se pode verificar que privilegiam o viés epistemológico em sua abordagem. Ver p. ex. Cao [7] e Jammer [8].

[1] quanto às semelhanças entre campo e partícula, entendendo aquele autor que não seria mais possível “efetuar uma distinção significativa entre matéria e qualquer outra coisa em seu campo de pesquisa” (Ref. [2, p. 45]). A rigor, isto significaria identificar os conceitos de força e de campos de força com o de matéria, todos dados pela equação de ondas, a qual descreve o campo (Ref. [2, p.66]):

Se me perguntarem: O que são de fato essas partículas, esses átomos e moléculas? [...] Podem talvez no máximo ser pensados como criações mais ou menos temporárias dentro do campo de ondas, cuja estrutura e variedade estrutural, no sentido mais amplo do termo, são tão clara e agudamente determinados por meio das leis de onda na medida em que reaparecem sempre do mesmo modo, que devem ocorrer como se fossem uma realidade material permanente. Devemos considerar a carga e a massa exatamente especificável de partículas como elementos da forma (Gestalt) determinados pelas leis de onda.

Por conseguinte, as entidades naturais, sejam de que estruturas estiverem constituídas, a saber, estruturas vivas ou não vivas,<sup>13</sup> são, para Schrödinger, realidades cujos componentes mais elementares recebem igualmente os predicados *partícula* ou *campo*. Daí ele reconhecer a extraordinária dificuldade em obtermos uma configuração mental ou imagem da matéria [2], na qual, simultaneamente, ambos os aspectos estejam envolvidos diretamente. Mais ainda: não apenas o que denominamos partículas (prótons, nêutrons, elétrons, etc.) é constituído por *quanta* de energia como também os campos portadores das interações entre as partículas são eles próprios constituídos por *quanta* de energia.

## 2.2. A matéria e o problema do binômio massa-energia

Marc Lange [3] apresenta uma abordagem extremamente interessante sobre massa, energia e a famosa equação  $E = mc^2$ , realizando importantes distinções entre massa e matéria (“matter”) e massa e energia. Na verdade sua exposição é uma espécie de intróito ao que Lange julga ser fundamental para a correta

compreensão dos fenômenos físicos: o papel desempenhado pelos campos (gravitacional, eletromagnético, etc.). A esta altura, fixaremos a atenção em algumas considerações acerca de matéria, massa e energia, deixando para mais adiante (seção 2.3) o papel desempenhado pelos campos na compreensão do mundo material. Lange propõe o que entende ser uma reflexão sobre certos equívocos comuns que passaram a ser cometidos acerca da relação entre massa e energia. Por exemplo, um desses equívocos, no entender deste autor, provém da definição de *massa*. Tomemos como ponto de partida a definição que o próprio Newton nos oferece logo no início dos *Principia* (Ref. [9, p.9]): “A quantidade de matéria [*matter*] é a medida da mesma [da massa], obtida a partir de sua densidade e volume”.<sup>14</sup> Desse modo, segundo Lange, se poderia cometer o equívoco de, com base nesta definição, compreender este conceito como uma medida de certo conteúdo (certo algo, ou *stuff*) existente num determinado espaço continente. Para Lange, contudo, a massa de um corpo (Ref. [3, p. 232])

Não é a quantidade total de algum tipo de conteúdo substantivo [“stuff”] do qual ele é feito [... mas é] a propriedade que possui pela qual fica determinada sua “inércia” – dito de outra forma: pela qual fica determinada sua resistência a ser impelido por uma força. Quanto mais massivo for o corpo, tanto mais é necessária força adicional para lhe dar uma determinada aceleração<sup>15</sup>[...] Este conceito de massa foi sustentado mesmo por alguns físicos clássicos. Maxwell, por exemplo, dizia que a massa é ‘o aspecto quantitativo da matéria’, mas não deveria ser entendida como a quantidade de matéria existente num corpo.<sup>16</sup>

Outra confusão que, segundo Lange, é comum em textos de física, especialmente nos que tratam da teoria da relatividade, é a que se faz sobre a interconvertibilidade de massa e energia, fruto da mencionada relação entre ambas,  $E = mc^2$ . Segundo o autor, há uma idéia equivocada de que massa é energia *concentrada* (Ref. [1]), ou de que tanto massa quanto energia são a mesma *coisa*, ou de que ambos são aspectos distintos de uma terceira entidade.<sup>17</sup> Lange chama a atenção para três aspectos que nos apontam que a dificuldade surge ape-

<sup>13</sup>Não trataremos, neste trabalho, sobre distinções entre vida e não-vida. Importa, sobretudo, caracterizar que, independente dos aspectos fenomenológicos e metafísicos envolvidos nesta distinção, trata-se de entidades constituídas de matéria.

<sup>14</sup>Com efeito, [massa] = [densidade] . [volume].

<sup>15</sup>Nota nossa: A aceleração de um corpo mede a taxa de variação temporal de sua velocidade, ou seja, trata-se da derivada da velocidade com relação ao tempo,  $\mathbf{a} = d\mathbf{v}/dt$ , em que  $\mathbf{a}$  e  $\mathbf{v}$  representam os vetores aceleração e velocidade, respectivamente.

<sup>16</sup>(Ref. [9, p.9])

<sup>17</sup>Quem sabe se o *campo* não seria essa terceira entidade? Mas, então, sobre que campo estamos falando? Alguns como nos expõe Novello [10, p.81] pretendem que a matéria poderia estar associada “a um efeito do campo cósmico [ou de ‘larga escala’] gravitacional [...] trata-se então de pensar sobre a questão da possibilidade do espaço-tempo vazio [ou Minkowskiano] poder gerar toda matéria do mundo [...] um dos atrativos dessa colocação é que, graças ao caráter não-linear das equações que descrevem a evolução do campo gravitacional, não estaríamos nos envolvendo em um círculo-vicioso, pois à questão óbvia: - ‘e quem cria o campo gravitacional?’, poder-se-ia tranquilamente responder: - ‘ele se auto-alimenta’; isto é, “o campo gravitacional teria origem em si próprio, se auto-sustentaria.”

nas por se tratar de duas perspectivas bastante diferentes, à luz das quais analisamos um sistema físico, e por isso não são coisas *conversíveis*. Em primeiro lugar, deve-se distinguir a massa chamada de *repouso* de um corpo<sup>18</sup> de sua massa *relativística*. A massa relativística é  $m\gamma$ , em que

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}.$$

E é esta massa que aparece na equação  $E = m\gamma c^2$ , válida em *todos* os referenciais, incluindo aqueles para os quais o corpo está em repouso, isto é, para aqueles em que  $v = 0$  e, por conseguinte,  $\gamma = 1$ , o que nos reconduz à equação inicial. Ora, a massa relativística  $m\gamma$  não é aditiva como a massa em termos clássicos o é, ou seja, em termos clássicos, se tenho dois corpos, A e B, por exemplo, com massas (*clássicas*),  $m_A$  e  $m_B$  respectivamente, então a massa total do sistema é  $m_A + m_B$ . Isto não vale para a massa relativística, pois esta está associada à energia cinética dos corpos, sendo fácil de mostrar se fizermos a seguinte expansão

$$\gamma = 1 + \frac{1}{2}\left(\frac{v}{c}\right)^2 + \left(\frac{1.3}{2.4}\right)\left(\frac{v}{c}\right)^4 + \left(\frac{1.3.5}{2.4.6}\right)\left(\frac{v}{c}\right)^6 + \dots$$

Mas, desprezando-se os termos com maior expoente, visto que, para a maioria dos casos,  $v/c \ll 1$ , temos então que

$$\gamma \approx 1 + \frac{1}{2}\left(\frac{v}{c}\right)^2.$$

Ora, sendo o fator  $\gamma$  dado pela equação imediatamente acima, então obtemos que

$$E \approx mc^2 + m\frac{v^2}{2}. \quad (3)$$

E a energia de um corpo não apenas depende de sua massa  $m$ , mas também do fator de energia cinética  $mv^2/2$ . Ambas as parcelas apresentam-se como perspectivas distintas acerca do que podemos considerar como equivalência entre massa e energia. Por exemplo, ao aumentarmos a velocidade do corpo ou fornecemos calor às moléculas de um gás, elevamos a parcela de energia cinética, que *absorve* o “input” de energia dado ao corpo (ou ao gás), deixando inalterável a parcela relativa à massa  $mc^2$ . Neste caso, a interconvertibilidade de energia dá-se unicamente entre a energia de “input”

e a energia cinética de absorção. Ao fim e ao cabo, é a energia total do sistema (energia de input + energia do corpo) que é conservada. Com efeito, sustenta Lange, não há uma conversão real (física) de massa em energia ou vice-versa.

O segundo aspecto a ser considerado é que massa não é uma propriedade aditiva dos corpos. Para que isso fosse verdadeiro deveríamos interpretar, como vimos, a massa de um corpo como a quantidade de algum material (*stuff*) do qual o corpo é feito e que nos permitisse naturalmente somar as quantidades do material de que o corpo se compõe, para produzir uma massa total final. No entanto, de acordo com a teoria da relatividade, tal interpretação não está correta. Suponhamos um referencial (sempre se pode escolher um entre os candidatos) no qual  $\mathbf{p} = 0$ .<sup>19</sup> Neste referencial,  $E = mc^2$ , ou, mais convenientemente para nosso propósito,  $m = E/c^2$ . Supondo que um corpo é constituído de muitas partes, como um sistema, pela lei de conservação da energia, a energia total do sistema é a soma da energia de suas partes, a saber,  $E_1, E_2, \dots$ ; então isso implica que

$$m = \left(\frac{1}{c^2}\right)(E_1 + E_2 + \dots). \quad (4)$$

Ora, vimos que a energia total (relativística) de cada constituinte é dada por  $m_i\gamma_i c^2$ , o que nos fornece, segundo a Eq. (3)

$$E_i \approx m_i c^2 + m_i \frac{v_i^2}{2}.$$

Mas, substituindo o resultado acima na Eq. (4) temos que

$$m \approx \left(\frac{1}{c^2}\right)\left(m_1 c^2 + m_1 \frac{v_1^2}{2} + m_2 c^2 + m_2 \frac{v_2^2}{2} + \dots\right).$$

Reagrupando convenientemente

$$m \approx (m_1 + m_2 + \dots) + \left(\frac{1}{c^2}\right)\left(m_1 \frac{v_1^2}{2} + m_2 \frac{v_2^2}{2} + \dots\right).$$

A massa total do corpo (ou sistema) é maior do que a soma das massas de seus componentes por uma parcela que dispõe sobre as energias cinéticas de cada componente constituinte do sistema (corpo), no sistema de referência no qual o momentum total é nulo.<sup>20</sup> Portanto, conclui Lange, se estamos fazendo uso da teoria da relatividade, não podemos interpretar a massa de um corpo (sistema) como a quantidade de material

<sup>18</sup>A massa de repouso é a que aparece na equação  $E=mc^2$ . Esta *massa de repouso* de um corpo seja ele macroscópico ou submicroscópico, ou como Lange a prefere chamar simplesmente de *massa*, obtém-se a partir dos sistemas em que a quantidade de movimento, ou *momentum*  $\mathbf{p}$  é igual a zero, isto é, o corpo está em repouso com relação ao referencial em análise.

<sup>19</sup>Ver nota anterior.

<sup>20</sup>Vimos acima que é justamente esta parcela de energia cinética aquela que nos assegura o balanço total de energia (não de massa!) do sistema total em análise, ou seja, o corpo (sistema) e ambiente externo. Exemplo: moléculas de um gás para o qual transferimos energia térmica. O efeito é curioso: relativisticamente, o gás, ao absorver calor, teria sua massa total aumentada (!) por uma parcela que mede a energia cinética das moléculas do gás. Isto nos mostra, segundo Lange, que massa *não é uma propriedade aditiva* (Ref. [3, p. 229-232]).

(*stuff*) do qual o corpo se compõe, material este que não pode ser *criado* ou *destruído*, como requer a lei de conservação da massa.<sup>21</sup>

Por fim, a energia de um corpo não é um invariante segundo as transformações de Lorentz,<sup>22</sup> enquanto que a massa de repouso (massa obtida no referencial em que  $\mathbf{p} = 0$ ), sim. Ora, as transformações de Lorentz nos apontam as quantidades que, de fato, são, segundo a perspectiva relativística, os entes que devemos considerar como coisas *reais*, a saber, como entes objetivos presentes no mundo. Dito de outra maneira: o enfoque relativista supõe que espaço e tempo são, portanto, um único ente, o espaço-tempo, e que devemos, neste novo continuum espaço-temporal, definir que quantidades são objetivas, isto é, que quantidades são independentes do sistema de coordenadas com o que trabalhamos. Neste novo continuum, são as transformações de Lorentz que indicam as quantidades independentes do sistema de coordenadas. Assim, se nos concentrarmos sobre a relação existente entre massa, energia e momentum, neste novo continuum regido por Lorentz, temos

$$\left(\frac{E}{c}\right)^2 - p^2 = m^2 c^2, \quad (5)$$

o que nos leva a tão-somente concluir que, para os referenciais nos quais  $p = 0$ , obtemos a famosa relação  $E = mc^2$ , o que não implica uma equivalência *real* entre massa e energia, senão que estão intimamente conectadas entre si e ao momentum por meio da relação acima. Decorrente da perspectiva que venhamos a adotar para análise do fato físico, a saber, se um determinado corpo (sistema) é tratado como um único ente, ou se é tratado como sendo composto de vários constituintes, obtemos a interconvertibilidade – mas não a equivalência ou igualdade! – entre massa e energia, porquanto a relação acima, para os casos em que o momentum é nulo, relaciona *massa* e energia, mas não *matéria*

<sup>21</sup>Sempre enfatizando que massa não é a mesma coisa que matéria (*matter*), esta última de acordo com a interpretação comum, a saber, como o material (*stuff*) do qual o corpo é feito.

<sup>22</sup>As transformações de Lorentz permitem-nos salvaguardar as leis da física (conservação de energia e momentum, força como variação temporal do momentum, etc.) quando as descrevemos segundo diferentes referenciais que se movem com velocidade uniforme e constante ou estão em repouso, uns com relação aos outros (este é o primeiro princípio da relatividade; o segundo afirma a constância da velocidade da luz em todos esses tipos de sistema). O grupo das transformações de Lorentz (é um grupo no sentido matemático, pois podemos representá-lo por uma operação – multiplicação entre matrizes), para dois sistemas S e S', em que S' se move com velocidade uniforme e constante *una direção* do eixo dos *xx* com respeito a S, é dado por

$$\begin{aligned} x' &= (x - ut) \cdot \gamma \\ y' &= y \\ z' &= z \\ t' &= (t - u \cdot x/c^2) \cdot \gamma \end{aligned}$$

O grupo de transformações acima nos permite descrever as leis da física equivalentemente nos sistemas S e S'. A invariância por transformações de Lorentz significa afirmar que uma determinada propriedade P, cuja medida é dada pela função real  $\mu_P(x, y, z, t)$  no sistema S é tal que, ao estabelecermos sua medida  $\mu'_P(x', y', z', t')$  no sistema S', obtém-se  $\mu_P = \mu'_P$ . Com respeito à obtenção da invariância de  $m$  (massa) e a não invariância de  $E$  (energia) nos sistemas S e S', ver p. ex. um texto básico como Tipler e Llewellyn (Ref. [11, p. 16-17]).

<sup>23</sup>Com efeito, a abordagem epistêmica que Lange nos propõe sobre a matéria, isto é, enfocando-a a luz de uma propriedade física pertencente aos corpos materiais, ou seja, sua *massa*, que pode ser medida e associada a outras propriedades, invariantes ou não, como energia e momentum, isenta o tratamento dado à questão de enfrentar-se com os aspectos ontológicos suscitados pelo conceito de *matéria*.

<sup>24</sup>Uma interessante e instrutiva análise da distinção entre massa inercial e massa gravitacional que não tratamos aqui pode ser encontrada na Ref. [12].

(*matter*) e energia (Ref. [3, p. 232]). Entende-se, por conseguinte, que em diversas ocasiões disseminou-se o conceito de massa como o de algo que os corpos possuíam indicando seu conteúdo material.

Qual é então a perspectiva de Lange quanto à abordagem correta que devemos adotar para o conceito de massa? Sem estender-se sobre como atacar o conceito de matéria (*matter*), porém o de massa, propriedade *real* dos corpos por ser invariante nas transformações de Lorentz e passível de medição,<sup>23</sup> o que o autor sugere no final das contas é que devemos retomar o conceito originário de massa (isto de fato já se encontrava nos *Principia*), como a propriedade que os corpos possuem pela qual fica determinada sua inércia, ou “em outras palavras, sua resistência a ser impelido por uma força” (Ref. [3, p. 232]).<sup>24</sup> Assim, quanto mais massivo o corpo tanto mais força requer-se para dar-lhe certa aceleração, ou, “a massa de um corpo é aquele fator pelo qual devemos multiplicar a velocidade de forma a obter o momentum do corpo, e pelo qual devemos multiplicar o quadrado da velocidade dividido por dois para obter sua energia” (Harman apud [3, p. 232]).

### 2.3. Massa, energia e campo

Voltemos agora à Eq. (1), nossa conhecida relação relativística entre massa e energia. Vimos pela argumentação de Lange que esta relação não deve ser entendida como definição da *quantidade de matéria*. Lange chamou-nos a atenção para as dificuldades que surgem se não tomarmos o devido cuidado em excluir da equação acima qualquer pretensão de fazer equivaler matéria e energia. Com efeito, podemos aduzir algumas razões adicionais. Se, na Eq. (1), interpretarmos que do lado esquerdo temos quantidade ou conteúdo (ou *stuff*, segundo Lange) de matéria, então esta quantidade de matéria (ou massa) é definida em termos de

seu conteúdo (ou *stuff*) de energia, da mesma forma que podemos definir conteúdo de energia em termos de conteúdo de matéria, isto é

$$E = mc^2. \quad (6)$$

Ora, das Eqs. (1) e (6) podemos extrair as seguintes proposições:

- (a) O conteúdo de matéria (massa) de um corpúsculo<sup>25</sup> material é proporcional ao seu conteúdo de energia.
- (b) O conteúdo de energia de um corpúsculo material é proporcional ao seu conteúdo de matéria.

O que estamos afirmando como conseqüência de (a) e (b) é a absoluta identidade (ou indistinção) de matéria e energia, sendo ambas constituídas por outros corpúsculos de energia (ou *quanta*), os quais, por sua vez, são eles mesmos, segundo Weyl [1] e Schrödinger [2], matéria que emerge a partir da forma de um campo. Isto nos conduz a um entrelaçamento de diversas perspectivas em relação ao trinômio massa-energia-campo. O resultado desse entrelaçamento é que a matéria emerge como sendo uma imagem ou conceitualização que abarca o trinômio. Podemos, por conseguinte, propor as seguintes definições:

- Matéria é (o mesmo que) massa.
- Matéria é (o mesmo que) energia.
- Matéria é (o mesmo que) campo.

Contudo, nada obsta que, com base no que expusimos até então, invertamos a predicação e afirmemos que

- Massa é (um conteúdo de) matéria.
- Energia é (uma forma da) matéria.
- Campo é (uma forma da) matéria.

Explicitando as definições anteriores segundo as categorias do ser propostas por Aristóteles [13], de forma a evitar uma absoluta indistinção conceitual que poderia conduzir a equívocos, obtemos:

- Massa é (uma *quantidade de*) matéria.
- Energia é (um *aspecto qualitativo*<sup>26</sup> da) matéria.
- Campo é (um *tipo de relação da*) matéria.

<sup>25</sup>Em nosso trabalho, estaremos nos concentrando nos aspectos subatômicos da matéria. *Mutatis mutandi*, aplica-se o raciocínio para o mundo macroscópico.

<sup>26</sup>Ao associarmos aqui energia como um aspecto qualitativo da matéria é no sentido de que, a despeito de a energia ser algo quantificável (como, de resto, às qualidades se podem associar certos parâmetros quantitativos, tal como se faz para a solubilidade, a resistividade, a dureza, etc.) resulta ser, no entanto, um *tipo de manifestação* da materialidade distinto, portanto, qualitativamente falando, da massa. Com efeito, da discussão que Lange conduz a partir da definição inicial em Newton e da formulação relativística, embora tendo em vista que o conteúdo de energia está associado à massa de um corpo, ambas as manifestações da matéria, a saber, a massa e a energia, são aspectos distintos da primeira.

<sup>27</sup>Na matéria a concentração de energia seria imensa e no campo que a circunda a concentração de energia seria baixa.

Ou seja, necessitamos explicitar certos aspectos ontológicos dos entes materiais (as categorias de quantidade, qualidade e relação) que nos permitem predicar algo como sendo algum aspecto (*manifestação*) da matéria (no caso, as definições de massa, energia e campo). Vemos, portanto, que não há equivalência entre a matéria tomada como sujeito no primeiro grupo de definições e a matéria tomada como predicado no segundo grupo. Cada enunciado, tomado isoladamente, no primeiro grupo, não esgota a compreensão do sujeito *matéria*, senão que esta é predicada (estende-se a) de diversas manifestações ou aspectos do real (que é material), os quais apreendemos de diversos modos (ou gêneros), a saber, quantidade (massa), qualidade (energia) e relação (campo). Se não fizermos essas distinções, num primeiro momento, nos depararemos com as confusões conceituais apontadas por Lange. Ora, tais distinções, a nosso ver, apontam para duas coisas: em primeiro lugar, que a formulação proposta por Lange explicita apenas aspectos *epistêmicos* do real; e, em segundo lugar, que este tipo de formulação não deve prescindir de uma compreensão *ontológica* da matéria, o que é sugerido numa primeira instância pela introdução das categorias, conforme proposto acima.

Gostariamos, neste ponto, de nos remeter a algumas considerações de Einstein [14, p. 197-200] acerca da relação (lógica) entre matéria e campo, uma vez que Einstein do mesmo modo que Weyl propõe que o campo seja a estrutura fundamental subjacente aos fenômenos, tendo ele dirigido um imenso esforço no sentido de expressar a estrutura fundamental da realidade física por meio de equações do campo. Por conseguinte, apresenta-nos a seguinte questão [14]:

Dado que não podemos, presentemente, imaginar toda a física construída sobre o conceito de matéria [...] aceitamos ambos os conceitos [matéria e campo]. Poderemos pensar em matéria e campo como duas realidades distintas e diferentes?

Einstein e também Weyl, como vimos, propõem então que a distinção entre campo e matéria poderia ser apenas de caráter quantitativo, esta última sendo uma diferença de concentração de energia<sup>27</sup> como, por exemplo, vemos na Fig. 1.



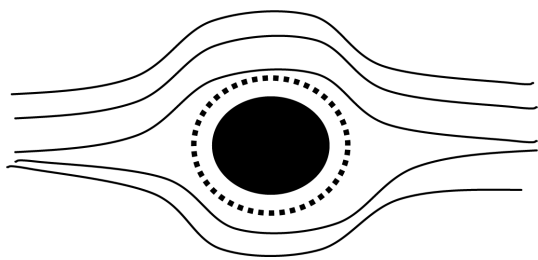


Figura 1 - Partícula como concentração de energia do campo.

O corpúsculo material (representado por um disco preto) possui uma superfície (representada pela linha pontilhada) que estabelece sua separação, ou limite, do campo (representado pelas linhas mais finas em torno do círculo), que poderia ser, por exemplo, o campo eletromagnético. A superfície separa a tremenda concentração de energia (o corpúsculo) da vizinhança com baixa densidade energética (o campo). Surge, então, o problema de como definir esta superfície, a saber, quais as condições de contorno do campo que possibilitam traçar com precisão o que seria a matéria e o que seria o campo. Uma possibilidade é imaginar que a superfície é tão-somente um limite artificial e, por conseguinte, perfeitamente dispensável. Neste caso, restaria apenas o campo como a única realidade subjacente. No entanto, o fato é que as equações deste campo divergem onde há *conteúdo de matéria*, isto é, elas expressam singularidades,<sup>28</sup> o que supõe algum tipo de modificação das equações de tal forma que não dêem margem a infinitos indesejáveis.

Vemos, por conseguinte, em decorrência do exposto até aqui, que isto certamente envolve dificuldades conceituais sérias, pois se tomarmos as distinções entre categorias, que sugerimos acima, a distinção (de razão) entre campo e matéria é segundo a *relação* e não segundo a *quantidade*, isto é, o campo é um acidente (relação) dos compostos materiais. Presentemente, há propostas, sugeridas pela teoria quântica de campos, de tomar o campo como sendo a realidade última, ou substância primeira em linguagem aristotélica. Como o campo não parece ser algo que possa ser individuado, então o campo não individuado seria a fonte das substâncias individuadas. Isso parece sugerir uma categoria adicional: o campo seria a substância primeira não individuada, e os compostos materiais associados ao campo (em nosso caso, as partículas) as substâncias primeiras individuadas. Como a matéria, por meio de suas dimensões espaço-temporais, é candidata, segundo alguns [15], a ser o princípio de individuação dos entes naturais, então os únicos entes, no nível submicroscópico, dos quais podemos predicar algum tipo de individualidade (e identidade no sentido clássico), são

<sup>28</sup>Um denominador que indesejavelmente se anula nas equações.

<sup>29</sup>Quando da primeira edição original do livro *A Evolução da Física*, em 1938, mas perfeitamente válido até hoje. (Ref. [16, p.1]).

<sup>30</sup>Cabe ressaltar que metafísico e ontológico possuem, para nosso propósito, o mesmo significado: referem-se aos aspectos últimos constitutivos da realidade e não aos objetos fundacionais de uma teoria. Dito de outro modo, enquanto objetos fundacionais de uma teoria podem não existir como tais na realidade. Neste caso, não nos interessa que signifiquem a *ontologia* associada à teoria. *Ontologia*, portanto, é aquilo que existe.

as partículas.

Einstein propõe-nos então uma abordagem pragmática: “No momento,<sup>29</sup> devemos admitir ainda duas realidades em todas as nossas construções teóricas reais: campo e matéria” (Ref. [14, p. 199]). Portanto, considerando que a massa pode ser expressa a partir do campo, podemos reescrever o segundo grupo de proposições acima da seguinte forma:

- Massa é (uma *quantidade de*) matéria (*gerada pelo campo*).
- Energia é (*um aspecto qualitativo da*) matéria (*gerada pelo campo*).

Ou seja,

- Massa é campo.
- Energia é campo.

Por conseguinte, as propriedades materiais do real são dadas por meio da massa e da energia associadas a um campo, o qual passa a ser o suporte físico dos fenômenos da matéria.

### 3. Observações finais

Vimos que as formulações de Weyl [1], Schrödinger [2], e mais as considerações acerca da relação entre energia e massa expostas por Lange [3] e as do campo por Einstein [14] nos conduziram a dois resultados importantes: Em primeiro lugar, uma ontologia da matéria ou seu estatuto metafísico<sup>30</sup> não é fornecido por uma abordagem da ciência experimental. O que gostaríamos de acrescentar, no entanto, é que a abordagem científica supõe, ainda que implicitamente, alguma ontologia, e por isso talvez seja possível propor um *trabalho a quatro mãos* de cientistas e filósofos na busca dessa ontologia. Em segundo lugar, conceitos como *massa*, *energia* e *campo* visam capturar distintos aspectos que podemos conhecer acerca dos fenômenos materiais, sendo suficientes, num primeiro momento, para dar conta de uma abordagem experimental, a qual deve aspirar a nos fornecer informações cada vez mais detalhadas com relação a propriedades e relações quantitativas dos elementos que as teorias científicas postulam existir. No entanto, como vimos acima, as propriedades quantitativas da matéria entrelaçam-se com aspectos relacionais e qualitativos; ou seja, razões e fundamentos de natureza ontológica, provenientes da perspectiva filosófica (que não foi objeto de estudo neste trabalho), bem como conceitos e elaborações de natureza epistemológica, provenientes da perspectiva científica (vimos alguns sugestões ao longo deste trabalho) entrelaçam-se na análise dos fenômenos materiais,

de tal modo que se tornam perspectivas complementares na busca da compreensão da realidade natural.<sup>31</sup> Com efeito, este intercâmbio torna-se tão mais relevante quando os fenômenos associados à matéria (sejam partículas, átomos ou moléculas), e em razão da perspectiva epistêmica fornecida pela ciência, revelam-se tão intrincados e complexos que Schrödinger argumenta a respeito deles (Ref. [2, p. 66]),

[Podem] ser pensados como criação mais ou menos temporária dentro de um campo ondulatório, que [reaparecendo sempre do mesmo modo,] devem ocorrer como se tratasse de uma realidade material permanente. Devemos considerar a carga e a massa exatamente especificável de partículas como elementos de forma (Gestalt) determinados pelas leis de onda.

Claro, a perspectiva de Schrödinger está atrelada à sua interpretação da teoria quântica, e é relevante observar que ela se desenvolveu num ambiente no qual a teoria estava em debate e divergentes interpretações (de Broglie versus Bohr etc.) ainda se encontravam em disputa.

Não obstante os esforços das ciências de base experimental, especialmente em nosso caso os da física, no sentido de definir com precisão o que seja matéria, propomos que seja enfatizada a necessidade de se buscar, como complemento às ciências de base experimental, uma compreensão metafísica desta mesma realidade, de forma a se compor um conhecimento totalizante, ainda que não definitivo. Os exemplos de abordagem que tratamos neste artigo não são exaustivos, porém são representativos de certas dificuldades relativas ao tema, que, a nosso ver, podem ser mais adequadamente enfrentadas se tomarmos em consideração os seguintes pontos: (i) O tema da matéria, desde os pré-socráticos até nossos dias, não obstante o evidente progresso em sua compreensão, ainda requer uma perspectiva filosófica adequada. A sugestão que fazemos aqui, com base na exposição feita, é que este tema seja investigado à luz de uma filosofia da natureza,<sup>32</sup> a qual, em conformidade com a investigação experimental, seja capaz de apontar os atributos e constituintes da matéria em sua estrutura ontológica; (ii) Conceitos envolvidos como massa, energia, campo etc. são aspectos parciais no enfrentamento

deste tema, uma vez que se trata de perspectivas que o físico David Bohm [5] qualificaria como *fragmentárias*, isto é, trata-se de certas análises conduzidas de modo especializado a partir de determinados recortes – por isso são fragmentárias – da realidade total, que é em si mesma indivisa [18]. Por outro lado, tal perspectiva, ainda que não consensual entre os físicos, nem ainda desenvolvida o suficiente presentemente para que se possa obter este consenso, auxilia-nos a ter em mente que subsistem inúmeras dificuldades conceituais, não obstante o êxito prático da teoria, o que nos dá margem para continuar uma investigação de natureza ontológica.

Por conseguinte, uma próxima etapa desta investigação deveria consistir em apresentar uma ontologia da matéria, em bases ainda a serem definidas, que nos oferecesse a contrapartida metafísica do conhecimento teórico-experimental. Uma linha de investigação interessante é a análise da proposta de Bohm da *Ordem Implicada* [5, 18] cujo desdobramento espaço-temporal nos oferece os elementos que compõem o estatuto epistemológico da matéria. Isto significa dizer que o estatuto ontológico pode ser buscado naquela ordem, que é de natureza pré-geométrica, o que pretendemos seja objeto de investigação em um trabalho posterior, no qual deveremos também ter em cômputo os importes trazidos pela mecânica quântica, começando pela perspectiva de Heisenberg acerca do estatuto ontológico da matéria, uma vez que, neste trabalho, procuramos nos ater a considerações mais associadas à relatividade.

## Referências

- [1] Hermann Weyl, *Space Time Matter* (Dover Publications, New York, 1952).
- [2] Erwin Schrödinger, In: *Problemas da Física Moderna* (Coleção Debates n. 9) (Perspectiva, São Paulo, 2000), p. 45-66.
- [3] Marc Lange, *An Introduction to the Philosophy of Physics: Locality, Fields, Energy and Mass* (Blackwell, Oxford, 2002).
- [4] Roberto Torretti, *The Philosophy of Physics* (Cambridge University Press, Cambridge, 1999).
- [5] David Bohm, *Wholeness and the Implicate Order* (Routledge-Kegan Paul, Abingdon/Oxon, 1980).
- [6] Emmanuel Kant, *Critique de la Raison Pure* (PUF, Paris, 1944).

<sup>31</sup> Complementares não no sentido que Bohr definiu, isto é, de conceitos clássicos cuja aplicação impede o uso simultâneo de outros conceitos clássicos igualmente necessários para a descrição dos fenômenos (Ref. [17, p. 21]), mas segundo visões ou perspectivas complementares que se situam em diferentes planos de abordagem: a perspectiva científica propriamente dita, que se situa no plano do que é mensurável ou observável, direta ou indiretamente, e que nos informa sobre propriedades e relações quantitativas de elementos estruturais da realidade, e a perspectiva metafísica, ou ontológica, que se situa no plano do que é inteligível, e que nos oferece princípios (obtidos por meio do discurso racional) dos elementos constitutivos e razões de ser dessa mesma realidade.

<sup>32</sup> Por *filosofia da natureza* entendemos neste trabalho, e em termos bastante gerais, um conhecimento que busca as causas e os elementos fundacionais da realidade natural, propondo explicações gerais, que vão além do que se investiga nas ciências de base experimental. Entende-se, de modo geral, que as ciências da natureza possuem um objetivo geral comum, a saber, buscam um conhecimento da natureza que possa ser submetido a um controle experimental. Se, de um lado, o das ciências, busca-se o que pode ser submetido ao controle experimental, por outro, o da filosofia da natureza, buscam-se os pressupostos e os elementos da realidade natural que fundamentam o tratamento quantitativo e experimental das ciências. Vê-se, então, que, em linhas gerais, longe de se constituírem em conhecimentos antagônicos, as ciências de base experimental e a filosofia da natureza são mutuamente complementares.

- [7] Tian Yu Cao, *Conceptual Developments of 20<sup>th</sup> Century Field Theories* (Cambridge University Press, Cambridge, 1997).
- [8] Max Jammer, *Concepts of Mass in Contemporary Physics and Philosophy* (Princeton University Press, Princeton, 2000).
- [9] Isaac Newton, *The Principia* (Great Mind Series) (Prometheus Books, New York, 1995).
- [10] Mario Novello, *Cosmos e Contexto* (Forense Universitária, Rio de Janeiro, 1988).
- [11] Paul A. Tipler e Ralph A. Llewellyn, *Física Moderna* (LTC, Rio de Janeiro, 2001).
- [12] Otávio Cesar Castellani, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **23**, 356 (2001).
- [13] Aristóteles, *Órganon: Categorias* (Guimarães Editores, Lisboa, 1985), v. I.
- [14] Albert Einstein e Leopold Infeld, *A Evolução da Física* (Guanabara Koogan, Rio de Janeiro, 1988).
- [15] Stephen French and Decio Krause, *Identity in Physics* (Clarendon Press, Oxford, 2006).
- [16] Steven Weinberg, *The Quantum Theory of Fields* (Cambridge University Press, New York, 1995), v. 1.
- [17] Peter Riggs, *Quantum Causality: Conceptual Issues in the Causal Theory of Quantum Mechanics* (Springer, New York, 2009).
- [18] David Bohm and Basil Hiley, *The Undivided Universe* (Routledge, Abingdon/Oxon, 1993).