

A FILOSOFIA DA CIÊNCIA DE H. HERTZ (1857-94)

(In: Évora, F. (ed.) *Século XIX: o nascimento da ciência contemporânea*. Campinas: Coleção CLE, v. 11, 1992, pp. 351-75)

Paulo Cesar Coelho Abrantes
Departamento de Filosofia
Universidade de Brasília

Hertz reuniu qualidades extraordinárias como físico experimental, teórico e também como filósofo da ciência. Embora amplamente reconhecido como um dos mais importantes cientistas do século passado, a dimensão filosófica do seu trabalho ainda não recebeu a devida atenção por parte de historiadores da ciência e da filosofia.

A importância da reflexão metodológica de Hertz pode ser aquilatada pela influência que exerceu sobre cientistas e filósofos do final do séc. XIX e também contemporâneos. O caso mais significativo é, sem dúvida, o de Boltzmann, que reconhece explicitamente sua dívida para com Hertz-filósofo. Wittgenstein, que não é nada pródigo em referências, cita explicitamente Hertz duas vezes no *Tractatus*: nas proposições 4.04 (onde menciona a obra *Princípios da Mecânica*) e 6.361. Em escritos posteriores (e.g. no *Nachlass*), Wittgenstein cita Hertz, ao lado de Boltzmann, e de alguns (poucos) autores que tiveram influência sobre suas idéias.¹ Braithwaite refere-se a Hertz como "o mais profundo, filosoficamente, entre os grandes físicos do séc. XIX que escreveram sobre filosofia da ciência" (1953, p.90).

A atualidade de muitas de suas idéias filosóficas pode ser ressaltada tendo-se como pano de fundo a discussão contemporânea a respeito da estrutura e valor cognitivo das teorias científicas.

Na "Introdução" à coletânea *The Structure of Scientific Theories* (1974), Suppe reconstrói o desenvolvimento da filosofia da ciência do empirismo lógico, ressaltando a importância que passa a ser atribuída, na versão final da chamada "received view", aos modelos como um dos componentes essenciais da estrutura das teorias físicas. Hertz é, significativamente, um dos autores mais citados por filósofos empiristas, como Braithwaite e Nagel, que analisaram o papel central dos modelos na estrutura das teorias científicas.

Para Nagel, "...Hertz tornou central o papel da teoria como um instrumento para possibilitar a inferência de eventos observados a partir de outros eventos observados". No contexto desta menção a Hertz, Nagel enfatiza a função heurística das teorias, o que pressupõe que nem todos os termos teóricos sejam explicitamente associados à observação (como era exigido na versão ortodoxa inicial da "received view"):

"...o papel primário de muitos símbolos ocorrendo em teorias é o de facilitar a formulação da teoria com grande generalidade, possibilitando transformações lógicas e matemáticas de maneira relativamente simples, ou de servir como

¹ Há várias convergências entre a filosofia da ciência de Hertz e as de Poincaré e Duhem. No caso de Duhem, uma influência filosófica direta é improvável, já que seus primeiros trabalhos filosóficos datam do período 1892-94. No entanto, não devemos descartar completamente a possibilidade de alguma influência indireta, já que os olhos da comunidade científica estavam voltados para os resultados das experiências de Hertz, e que muitas de suas idéias filosóficas, antes de serem formuladas explicitamente, já se encontravam "atuantes" em sua prática científica (por exemplo, uma determinada concepção da relação entre teoria e experiência; a este respeito, ver D'AGOSTINO, 1989). A respeito da influência de Hertz sobre Wittgenstein, consultar JANIK & TOULMIN, 1991, esp. cap. 4; HACKER, 1972; HALLER, 1990, p.10,74,86,98; WILSON, 1989, esp. p.258.

recursos heurísticos para a aplicação estendida da teoria" (NAGEL, 1961, p.103).

Além disso, os modelos possibilitam, segundo Nagel, o emprego do instrumental matemático que seria, de outro modo, inaplicável a conceitos diretamente vinculados à experiência. Hertz teria também claramente reconhecido a subdeterminação das teorias pela observação, ao considerar inevitável a presença de "relações supérfluas ou vazias" no arcabouço teórico.

Para Braithwaite, Hertz defende fundamentalmente, "...contra aqueles que exigiriam que a realidade deva assemelhar-se às nossas imagens (*pictures*) dela ,[que] a única semelhança exigida é a de estrutura formal" (1953, p. 91).

Algumas das análises de Hertz sobre diferentes "representações" teóricas possuindo uma mesma "significação interna", parecem antecipar a chamada abordagem semântica da estrutura das teorias científicas (cf. SUPPE, 1974, p.221).

Historiadores como Alexander (1983) e Cohen (1956) enfatizam, por sua vez, a contribuição de Hertz em mostrar a importância filosófica de reconstruções axiomáticas de teorias nas ciências empíricas.

Cassirer considera que a epistemologia de Hertz constituiu uma inflexão importante no desenvolvimento das imagens de conhecimento ligadas ao desenvolvimento da física matemática no séc. XIX. Hertz é visto como defensor de um método hipotético-dedutivo que pressupõe a liberdade da atividade teórica, que não estaria atrelada aos dados dos sentidos como na "física fenomenista" de um Kirchhoff ou de um Mach (CASSIRER, 1979, p.128).

Neste trabalho não pretendemos ir além dessas breves indicações sobre a influência de Hertz enquanto filósofo da ciência. Nosso intuito é o de explorar a articulação entre seu trabalho científico e suas análises meta-científicas.

Procuraremos mostrar que em *Electric Waves* (1ª ed., 1893) já se definem as posições metodológicas que Hertz generalizará e sistematizará na sua última obra (publicada postumamente), *The Principles of Mechanics* (1ª ed., 1894).²

Nas introduções a estas duas obras, Hertz desenvolve um conjunto de concepções a respeito da teoria física: seu objeto, sua estrutura, a participação da experiência e do pensamento em sua elaboração, critérios metodológicos para a sua avaliação, etc..

Há um tema meta-científico central que permeia as duas obras: o confronto entre diferentes "representações", "imagens" ou "modelos" dos fenômenos físicos (eletromagnéticos, em EW; mecânicos, em PM). Hertz investiga a origem desta pluralidade de imagens e se ela é inevitável (tema da subdeterminação das teorias pela experiência). Diante da evidência da subdeterminação, e dada a necessidade de se optar por uma das representações, estabelece critérios de seleção e tenta justificá-los. Estes são os problemas filosóficos centrais que Hertz discute nas duas introduções.

² Utilizaremos ao longo do trabalho as abreviações EW e PM para designar as obras de Hertz de 1893 e 1894 (1. ed.), respectivamente.

Como tais problemas surgiram na prática científica de Hertz, e de que modo esta condicionou as soluções que propôs para êles?

I. A TEORIA DE MAXWELL E A 'DESCOBERTA' DE 1888

As reflexões filosóficas de Hertz enraizam-se em seu trabalho teórico e experimental no domínio do eletromagnetismo, que culminou com a descoberta da propagação das ondas eletromagnéticas.

O referencial teórico inicial da série de experiências de Hertz não foi a teoria de Maxwell (ou seja, Hertz não tinha como objetivo inicial testar a principal consequência, aos nossos olhos, desta teoria), mas sim a teoria rival de Helmholtz. Esta última era uma típica teoria inserida no programa continental que pressupunha a ação à distância.

Tal fato não é surpreendente, já que os físicos continentais consideravam a teoria de Maxwell bastante obscura. Um dos pontos de "obscuridade" era exatamente a idéia de "eletricidade" (ou de carga) que ela pressupunha. Poincaré, na "Introdução" às suas lições de 1888 sobre a teoria de Maxwell, cita o comentário irônico de um físico francês da época: "Eu compreendo tudo na teoria de Maxwell, exceto o que é um corpo carregado" (POINCARÉ, 1890, p.xvii).

Hertz, desde 1884, trabalhava na comparação dos formalismos de ambas as teorias, na tentativa de distingui-las quanto às suas consequências empíricas. Helmholtz mostrara que a teoria de Maxwell podia ser obtida a partir da sua teoria eletrodinâmica (baseada na hipótese de uma ação eletrodinâmica à distância), levando-se ao limite determinados parâmetros da mesma. Exercícios formais desta natureza caracterizavam, à época, grande parte dos esforços no domínio do eletromagnetismo. Esta abordagem formalista era particularmente comum entre os físicos alemães da época, influenciados pelo fenomenismo matemático defendido por Kirchhoff e pelo próprio Helmholtz. Segundo esta concepção, as teorias matemáticas objetivam articular a experiência através de equações diferenciais, sem fazer uso de hipóteses (por exemplo, no caso da eletrodinâmica, hipóteses a respeito da natureza da eletricidade). Tal postura contrastava com a necessidade que sentiam os físicos britânicos de visualizarem fisicamente o formalismo, por exemplo, imaginando modelos mecânicos (ideal de uma *embodied mathematics*).

Hertz convence-se, entretanto, ao longo da realização de suas experiências, que a diferença de *significação física* das teorias rivais era relevante: a teoria de Maxwell previa de forma direta e simples a propagação de ondas eletromagnéticas (consequência que só podia ser obtida da teoria rival através de artifícios matemáticos). Hertz adota, então, a partir da espetacular comprovação experimental de 1888, a abordagem de Maxwell, que pressupunha que as ações eletromagnéticas transmitem-se de forma contígua e mediatizada.

Reconstrução da teoria de Maxwell

Este é o contexto científico em que se inserem as reflexões filosóficas ainda embrionárias da "Introdução" (parte B) a *Electric Waves*. Neste livro, Hertz propõe uma reconstrução axiomática da teoria de Maxwell, por considerá-la inaceitável (na formulação do físico escocês), dadas suas inconsistências.

Hertz considera ser impossível dar uma significação única ao termo 'eletricidade', do modo como êle é empregado por Maxwell no seu *Treatise*, publicado em 1873. Convivem, lado a lado na teoria, 2 concepções incompatíveis da relação entre "eletricidade" e "polarização", resultando na permanência de "idéias supérfluas e rudimentares"- termos de Hertz- tanto de natureza física quanto matemática. No *Treatise*, Maxwell oscila, segundo Hertz, entre diferentes "modos de representação" de sua teoria, o que explicaria as inconsistências apontadas. Sobre a relação entre teoria e seus "modos de representação" - um tema central em Hertz- voltaremos mais adiante.

Hertz coloca como um dos objetivos da reconstrução que empreende da teoria de Maxwell, reduzir ao máximo as "concepções que são arbitrariamente introduzidas por nós" (1962, p.28).

Na reconstrução que propõe, Hertz pretende adotar consistentemente o "modo de representação" em que todos os fenômenos eletrostáticos e eletromagnéticos são efeitos de processos (que Hertz considera serem mecânicos) ocorrendo no "espaço".

Hertz resume, então, as equações de Maxwell a somente 4, adotando-as como equações fundamentais em um sistema dedutivo, equações que são apresentadas como "relações entre magnitudes físicas que são efetivamente observadas, e não entre magnitudes que servem somente ao cálculo" (ibid., p.196).

Resulta uma teoria que, admite, aparenta ser "muito abstrata e sem colorido". E acrescenta:

"Não é particularmente agradável ver equações apresentadas como resultados diretos da observação e experimento, onde estávamos acostumados a ver longas deduções matemáticas como provas aparentes delas".

É o preço a se pagar por não confundir " a figura simples e familiar que nos é apresentada pela natureza, com os trajes vistosos com que habituamo-nos a vesti-la" (ibid., p.28; cf. van Fraassen, 1980, p.6).

Em EW já se definem, portanto, algumas posições metodológicas de Hertz e uma concepção da tarefa da filosofia da ciência:

1. A tese de que nossas "idéias físicas e matemáticas" constituem "modos de representação" dos fenômenos (que subdeterminam tais modos de representação).
2. Importância do critério lógico (consistência) na aceitabilidade da teoria científica.
3. A exigência metodológica de parcimônia no emprego de hipóteses nas teorias científicas (cf. HERTZ, 1962, p.242). Devemos reduzir a um mínimo as concepções "arbitrariamente" introduzidas por nós na teoria científica, garantindo sua "simplicidade". A reconstrução axiomática é considerada o método para alcançar tal objetivo, bem como o de garantir a consistência de nossas representações.

II. PRINCÍPIOS DA MECÂNICA

Hertz faleceu em janeiro de 1894, ano de publicação da obra *Princípios da Mecânica*, à qual dedicara os últimos três anos de sua vida. Hertz discute longamente, na

"Introdução" a este seu último livro, as teses metodológicas que destacamos e acena para uma fundamentação epistemológica das mesmas.

Para darmos maior sistematicidade à nossa apresentação, organizamos as reflexões da "Introdução" em um conjunto de temas, a saber:

1. Objeto (fim) da teoria científica.
2. Estrutura da teoria científica.
3. Papel da hipótese.
4. Explicação.
5. Metafísica.
6. Componente *a priori* de nossas representações
7. Teoria e Experiência
8. Mecanicismo

1. O objeto (fim) da teoria científica

A principal função do nosso conhecimento da natureza é, para Hertz, a previsão ("antecipação de eventos futuros"), que nos permite organizar o presente em vista do futuro.

Com este objetivo, "fazemos para nós imagens internas ou símbolos (*innere Scheinbilder oder Symbole*) dos objetos externos, e o fazemos de tal modo que as consequências necessárias das imagens no pensamento são sempre as imagens das consequências necessárias, na natureza, das coisas representadas".³

Com base em nossa experiência acumulada e em "modelos" que elaboramos, podemos "em curto espaço de tempo" chegar "às consequências que no mundo externo só surgiriam em um espaço de tempo muito mais longo, ou como resultado de nossa própria intervenção" (HERTZ, 1956, p.1).

Por experiência, segundo Hertz, sabemos que este isomorfismo pode realizar-se, evidenciando haver alguma "conformidade" entre pensamento e natureza.

Hertz não avança qualquer explicação para esta conformidade, um problema que não é considerado por ele como passível de solução "científica". Sua referência às formas kantianas da intuição sensível pode ser vista como um aceno nesta direção (cf. *ibid.*, p.45).

Nada podemos afirmar, além dessa 'conformidade empírica' (Hertz emprega o termo "correção"), que possibilita a previsão de fatos novos:

"Na verdade nós não sabemos, nem temos nenhum meio de saber, se nossas concepções das coisas estão em conformidade com elas em quaisquer outros aspectos, além deste *único* e fundamental"(HERTZ, 1956, p.2).

³ Usamos a tradução de Braithwaite (1953), e não a da edição inglesa de 1956. Em nosso texto, usamos a palavra "imagens" ou "representações" para traduzir "pictures" na tradução inglesa. No original alemão, Hertz usa o termo "Bilder" e, por vezes, "Darstellungen" (cf. BRAITHWAITE, 1953, p. 91, nota). Sobre a importância da distinção entre "Darstellung" e "Vorstellung", ver JANIK & TOULMIN, 1991. Estes autores consideram mais apropriado traduzir "Bild" por "modelo" (*ibid.*, p.156).

Hertz parece adotar aqui um ceticismo de corte claramente empirista (cf. FRAASSEN, 1980; ou fenomenista, cf. ELKANA, p.267, nota 50), em contraposição ao realismo (que, no séc. XIX, tinha os atomistas como principais representantes). Afirmar a previsão (e não a explicação) como o objeto das nossas teorias é também típico de uma concepção instrumentalista. Mary Hesse não hesita, portanto, em afirmar que "Hertz (...) retorna à visão positivista do início do séc. XIX..." (1970, p. 214), ao defender que "...o significado essencial de uma teoria científica esgota-se em seu conteúdo testável" (ibid., p.215).

Tentaremos mostrar que é, contudo, incorreto alinhar Hertz seja com o positivismo Comteano ou Machiano, seja com um fenomenismo matemático como o defendido por Kirchhoff, ou um fenomenismo energetista como o de Ostwald. O neo-kantismo de Hertz o faz, efetivamente, acreditar num isomorfismo entre a sequência de nossos pensamentos e a sequência de eventos no mundo. A importância que atribui às dimensões da teoria científica que não se reduzem à experiência, mas correspondem à atividade de uma autêntica 'imaginação científica', é dificilmente compatível com formas ingênuas de empirismo (cf. JANICK & TOULMIN, 1991, p. 155-163; COHEN, 1956). Veremos, além disso, que Hertz considera essencial a introdução de hipóteses sobre entidades inobserváveis nas teorias físicas.

Subdeterminação

A conformidade empírica não garante, contudo, univocidade às nossas imagens: "Várias imagens dos mesmos objetos são possíveis, e estas imagens podem diferir em vários aspectos" (HERTZ, 1956, p.2).

A experiência subdetermina, portanto, as teorias. Para Hertz esta subdeterminação é a contrapartida necessária do fato de que há uma participação nossa, do pensamento, na construção teórica. Ele afirma, por exemplo, que imagens (ou representações) sendo produtos de nossas mentes, não podemos evitar, de todo, a introdução de "relações vazias". As "relações vazias" são introduzidas por questão de conveniência, e não estão, portanto, diretamente vinculadas à experiência (ver seção 2, abaixo).

Crítérios Metodológicos

Para que possamos escolher uma, dentre as várias imagens que fazemos dos fenômenos, Hertz estabelece um conjunto de critérios:

1º **permissibilidade** (*Zulaessigkeit*) lógica: as imagens não podem contrariar as "leis do nosso pensamento". Utilizando expressões mais comuns hoje em dia, diríamos que as imagens não devem ser (logicamente) contraditórias;

2º **correção** (*Richtigkeit*): as imagens devem satisfazer à exigência de conformidade com os fatos (no sentido de que as suas consequências devem ser compatíveis com a experiência);

3º **adequação** (*Zwegmaessigkeit*, *appropriateness*): devemos dar preferência à imagem que melhor representa (*picture*) as "relações essenciais do objeto". Este 3º critério relaciona-se com a noção de "simplicidade", como veremos abaixo.

Hertz distingue, em nossas imagens, o que surge como "necessidade do pensamento, da experiência e da escolha arbitrária" (ibid. p.8). Os 3 critérios acima respondem por esta composição heterogênea de nossas representações.

Enquanto Hertz considera que, em dado momento histórico, não há ambiguidade quanto à aplicação do 2º critério (já que sua aplicação depende exclusivamente do "estado presente de nossa experiência"; ibid., p.3), nem tampouco do primeiro (que depende da "natureza da nossa mente"), há margem para se ter diferentes "opiniões" quanto ao critério de "adequação":

"Uma imagem pode ser mais adequada (*suitable*) para um propósito, outra para outro; somente testando gradualmente várias imagens podemos finalmente ter sucesso em obter a mais apropriada" (HERTZ, 1956, p.3).

Um aspecto distintivo da metodologia de Hertz (se a compararmos, por exemplo, com a defendida por Boltzmann; ver seção 6, abaixo) é a hierarquia que estabelece entre os 3 critérios, a "permissividade lógica" tendo uma clara precedência sobre os demais:

"O conhecimento maduro vê a clareza lógica como de importância primordial: somente imagens claras logicamente são testadas quanto à correção; somente imagens corretas são testadas quanto à sua adequação. Pela pressão das circunstâncias o processo é, frequentemente, invertido" (ibid., p.10).

Historicamente- e este é o caso, segundo Hertz, da representação newtoniana da mecânica, bem como da representação Maxwelliana do eletromagnetismo- esta hierarquia é desobedecida e convive-se com problemas lógicos. Hertz admite que esta atitude pode ser "sábua" (*wise*; ibid., p.9) nos "primórdios" de uma ciência, mas não pode ser admitida em sua "maturidade", impondo-se uma depuração lógica das inconsistências e indefinições.

2. A Estrutura da Teoria Científica

Para Hertz, a teoria científica pode ser reconstruída como um sistema dedutivo que possui em sua base um conjunto de relações- as leis fundamentais- das quais podemos deduzir consequências que devem ser confrontadas com a experiência. Os termos das relações que compõem a teoria são "idéias", que podem ser físicas ou matemáticas.

A uma determinada representação dos fenômenos corresponde um conjunto particular de relações fundamentais, a partir das quais eles podem ser deduzidos.

Assim, Hertz denomina "princípios da mecânica" aquelas proposições:

"...que satisfazem à exigência de que o conjunto da mecânica pode ser desenvolvido a partir delas através de raciocínio puramente dedutivo, sem qualquer apelo adicional à experiência" (HERTZ, 1956, p.4).

Através da escolha de diferentes conjuntos de proposições, obtém-se diferentes "representações" dos princípios da mecânica e, conseqüentemente, diferentes imagens das coisas. Os tres critérios acima permitem, então, selecionar uma dentre as diversas representações disponíveis.

Na representação newtoniana da mecânica, a idéia de força está presente nas relações fundamentais (leis de Newton e princípio de d'Alembert), enquanto que nas representações energista e hertziana esta idéia é derivada, não sendo necessária a

determinação e confirmação das propriedades da força pela experiência. Nas duas últimas representações, a idéia de força não está envolvida na avaliação da "correção" desta imagem, mas somente de sua "adequação" (cf. HERTZ, 1956, p. 15, 18).

Na representação energetista da mecânica, as idéias de massa e de energia (mas não a de "força") correspondem a entidades físicas, necessitando que "experiências concretas (...) estabeleçam sua presença" (ibid., p.15). Tempo e espaço seriam "idéias matemáticas". A relação fundamental é o princípio de Hamilton.

Na representação Hertziana da Mecânica, as idéias fundamentais são as de tempo, espaço e massa enquanto "objetos de experiência" e determinados por "experiências sensíveis". A relação fundamental é análoga à lei de inércia: " Todo movimento natural de um sistema material independente consiste em que o sistema segue com velocidade uniforme um de seus caminhos mais retilíneos" (ibid., p.27).

De modo análogo, em eletromagnetismo, a cada uma das três representações correspondem "idéias" que são articuladas através de relações fundamentais características. Na teoria eletromagnética de Maxwell, por exemplo, a idéia de "deslocamento elétrico" está presente em uma das equações fundamentais. Tal idéia não está presente nas 4 equações fundamentais (que imprecisamente chamamos hoje de "equações de Maxwell") da representação que Hertz propõe. Neste 3º modo de representação da teoria eletromagnética "...as expressões eletricidade, magnetismo, etc. não possuem qualquer valor adicional para nós além de serem abreviações" (ibid., p.25; grifo nosso).

Analisaremos mais adiante a exigência de Hertz de que as idéias presentes nas leis fundamentais sejam "símbolos" de propriedades determináveis experimentalmente. Uma idéia matemática, ao contrário, é introduzida exclusivamente por conveniência de nosso pensamento, não simbolizando nada na experiência.

Relações vazias

Vimos que, para Hertz, a conformidade empírica subdetermina as nossas imagens ou representações: não podemos eliminar completamente da estrutura das teorias científicas relações que são introduzidas arbitrariamente por nós, sem base na experiência.

Algumas dessas relações são elimináveis, por envolverem o que Hertz chama em EW de "idéias rudimentares e supérfluas" (como a de "deslocamento elétrico" na representação de Maxwell), que se encontram frequentemente na origem de inconsistências lógicas.

A eliminação das relações vazias constitui uma das tarefas fundamentais da reconstrução lógica das teorias, em fases maduras das ciências, evitando que continuemos a nos colocar "questões ilegítimas" (cf. Wittgenstein), por exemplo, a respeito da natureza da força ou da eletricidade.

Por que -pergunta-se Hertz -as naturezas da força e da eletricidade mantêm-se envolvidas em mistério?

"... por que as pessoas nunca [...] se perguntam qual é a natureza do ouro, ou a natureza da velocidade? A natureza do ouro é melhor conhecida por nós do que a da eletricidade, ou a natureza da velocidade melhor do que a natureza da

força? Podemos através de nossas concepções, através de nossas palavras, representar completamente a natureza de uma coisa qualquer? Certamente não. Eu imagino que a diferença está no seguinte. Com os termos "velocidade" e "ouro" nós conectamos um grande número de relações a outros termos; e entre todas estas relações nós não encontramos quaisquer contradições que nos ofendam. Nós estamos portanto satisfeitos e não nos colocamos questões adicionais. Mas nós acumulamos em torno dos termos "força" e "eletricidade" mais relações do que podem ser completamente reconciliadas entre si. Nós temos um sentimento obscuro disto e queremos ter as coisas aclaradas. Nosso desejo confuso encontra expressão na questão confusa a respeito da natureza da força e da eletricidade. Mas a resposta que nós queremos não é realmente uma resposta a esta questão. Não é descobrindo outras e novas relações e conexões que ela pode ser respondida; mas removendo as contradições existentes entre aquelas já conhecidas e ,portanto, talvez reduzindo seu número. Quando essas incômodas contradições são removidas, a questão a respeito da natureza da força não terá que ser respondida; mas nossas mentes, não mais perturbadas, cessarão de se colocar questões ilegítimas" (HERTZ, 1956, p.7).

A eliminação das relações vazias atenderia também à exigência de adequação de nossas representações, vinculada a um critério de simplicidade.

Regras de Correspondência

A concepção que Hertz possui da estrutura das teorias científicas aproxima-se bastante de concepções contemporâneas, que reconstróem as teorias como cálculos interpretados através de regras de correspondência.

O cálculo corresponderia ao que Hertz considera ser a componente *a priori* de nossas teorias (ver seção 6, abaixo).

O conteúdo empírico das teorias é estabelecido por procedimentos análogos às "regras de correspondência" da "received view" da estrutura das teorias científicas (cf. SUPPE, 1974).

Com o objetivo de dar conteúdo empírico a idéias, relações e definições introduzidas *a priori*, é necessário indicar:

"...leis de transformação através das quais nós traduzimos a experiência externa, i.e. sensações concretas e percepções, na linguagem simbólica das imagens que delas nos formamos, e pelas quais, inversamente, as consequências necessárias desta imagem são novamente referidas ao domínio de possíveis percepções sensíveis" (HERTZ, 1956, p. 141).

O procedimento de fornecer conteúdo semântico a um cálculo é portanto realizado conscientemente por Hertz.

Continuando esta comparação com concepções contemporâneas da estrutura das teorias científicas, poderíamos nos perguntar se Hertz admite definições implícitas de termos teóricos. Aparentemente, o papel que as "hipóteses" desempenham nas teorias científicas é exatamente a de definir implicitamente termos teóricos como a "massa" de objetos não observáveis (representação hertziana da mecânica). Por outro lado, Hertz

defende em diversas passagens que todos os termos presentes nas relações fundamentais das teorias devem ser símbolos de propriedades observáveis (as "leis de transformação" funcionando como definições explícitas dos termos teóricos; cf. *ibid.*, p. 141). Para avançarmos nesta discussão devemos analisar mais detidamente as concepções de Hertz a respeito das relações entre teoria e experiência.

Na exposição da sua Mecânica Hertz se coloca a questão da validade de tais "leis de transformação", se elas "fornecem medidas verdadeiras de tempo, espaço, e massa". Sua posição é que "com toda probabilidade [esta questão] deve ser respondida negativamente, na medida em que as nossas regras são, obviamente, em parte fortuitas e arbitrárias". Estranhamente, Hertz não considera que a resposta definitiva a esta questão seja relevante para o objetivo de previsão, que nos colocamos ao elaborar teorias. O que importa é que as regras "exprimam sem ambiguidade os resultados de experiências passadas e futuras" (HERTZ, 1956, p. 142).

Esta posição é, mais uma vez, claramente instrumentalista (em oposição à realista)- a questão da "veracidade" de nossas teorias não é relevante para os objetivos perseguidos pela ciência. Veremos, porém, que as posições de Hertz não são sem ambiguidade neste ponto, tanto pela reconhecida influência Kantiana em sua filosofia da ciência, quanto pelo seu compromisso com o programa do éter.

"Significação interna" comum a diferentes representações

Em EW, Hertz afirma que as 3 representações no domínio do eletromagnetismo têm a mesma "significação interna", que constitui para Hertz a parte "imperecível do trabalho de Maxwell": as 4 equações do eletromagnetismo.

Nesta passagem surge a frase frequentemente citada de Hertz: "À questão, 'o que é a teoria de Maxwell' eu não conheço uma resposta mais curta e definida do que a seguinte:- a teoria de Maxwell é o sistema de equações de Maxwell".

E continua:

"Toda teoria que conduz ao mesmo sistema de equações, e portanto abrange os mesmos fenômenos, eu consideraria como sendo uma forma ou caso especial da teoria de Maxwell; toda teoria que conduz a diferentes equações, e portanto a diferentes fenômenos possíveis, é uma teoria diferente" (HERTZ, 1962, p.21).

Esta identidade de formulação matemática, porém, não implica que as mesmas idéias estejam envolvidas nas três representações: " Idéias e concepções que são assemelhadas, porém diferentes, podem ser simbolizadas da mesma maneira nos diferentes modos de representação" (*ibid.*, p.21). As teorias de Helmholtz e de Maxwell, embora matematicamente equivalentes, "diferem fundamentalmente" do ponto de vista físico (*ibid.*, p.25).

Supondo-se que haja uma identidade de forma matemática nas 3 representações do eletromagnetismo, Hertz atribuiu, mesmo assim, importância às diferenças de significação física entre elas? Vimos que ele deu preferência ao ponto de vista de Faraday-Maxwell de ação contígua (mais especificamente o ponto de vista de que os fenômenos eletromagnéticos, como a eletrização, são efeitos de processos ocorrendo no meio etéreo).

Sua posição não nos parece, portanto, formalista (como a de Helmholtz), e sua pesquisa experimental deve ter sido determinante neste ponto.

Em PM, Hertz afirma que "o conteúdo físico é bastante independente da forma matemática" de uma imagem (HERTZ, 1956, p.29). Em nenhum momento ele afirma uma identidade de "significação interna" das três representações da mecânica. Pelo contrário, ele assinala em diversos momentos que elas prevêm diferentes fenômenos e que, portanto, o critério de "correção" poderá distingui-las. Mas Hertz está, então, pensando nas consequências, para o domínio do eletromagnetismo, de cada uma das imagens da mecânica. Isto explicaria porque Hertz distanciou-se de algumas de suas posições em EW, que podem ser interpretadas como formalistas (tese que defenderemos abaixo).

3. O papel da hipótese

Contrariamente ao fenomenismo, que se opunha terminantemente ao uso de hipóteses em ciência- que introduzem em nossas teorias termos relativos a entidades inobserváveis- Hertz defende que somente por meio de hipóteses podemos submeter os fenômenos à legalidade.

A 3ª "organização dos princípios da mecânica" que propõe, parte de somente três "concepções" fundamentais- tempo, espaço e massa- complementadas por uma "hipótese" que introduz corpos em movimento, inacessíveis aos nossos sentidos.

Esta hipótese responde pela insuficiência, para Hertz, de se considerar exclusivamente o que é "diretamente observado", se pretendemos "compreender os movimentos dos corpos", e submetê-los a uma legalidade universal:

"Nós nos convencemos de que a multiplicidade do universo real deve ser maior do que a multiplicidade do universo que nos é diretamente revelado através dos sentidos. Se nós desejarmos obter uma imagem do universo que seja bem acabada, completa, e conforme à lei, nós temos que pressupor, por trás das coisas que nós vemos, outras coisas invisíveis- imaginar vínculos escondidos, além dos limites de nossos sentidos" (HERTZ, 1956, p.25).

Nesta passagem, a posição de Hertz aproxima-se bastante do realismo, embora em nenhum momento afirme que as entidades postuladas "existem realmente" no mundo.

Hertz assinala que as idéias de força e de energia, nas imagens alternativas, respondiam exatamente por essa necessidade de submeter os fenômenos à legalidade, sendo substituídas, em sua representação, pela hipótese da existência de massas ocultas em movimento.

Ele insiste, contudo, que nesta última representação, o que está escondido não constitui uma categoria especial de coisa, mas reduz-se prosaicamente a massa e movimento. A hipótese é, de fato, formulada do seguinte modo:

"Nós pressupomos que é possível associar às massas visíveis do universo outras massas obedecendo às mesmas leis, e de tal maneira que o conjunto torna-se inteligível e conforme à lei [...] O que nós estamos acostumados a denotar como força e como energia agora torna-se nada mais do que uma ação de massa e movimento, mas não necessariamente de massa e movimento reconhecíveis através de nossos toscos sentidos"(HERTZ, 1956, p.26).

A "lei fundamental" da formulação hertziana da mecânica possui, ela mesma, o estatuto de uma hipótese, no sentido de que mesmo não contradizendo nenhuma experiência conhecida (à época), seguramente afirma mais do que "pode ser provado" com base nela. Em sistemas que não obedecem a esta lei, introduz-se hipóteses relativas a determinados "movimentos escondidos" de modo a que se submetam à legalidade.

A "lei" fundamental possui, na verdade, o caráter de uma regra, como o princípio de conservação da energia, em que hipóteses *ad hoc* são imaginadas cada vez que os fenômenos parecem infringi-la (cf. *ibid.*, p. 271).

Entre EW e PM, Hertz parece tornar-se mais liberal no uso da hipótese (Poincaré também é desta opinião; cf. POINCARÉ, 1897, p. 743). Em EW, Hertz recusa-se a fazer hipóteses sobre o éter (sobre sua interação com a matéria dos corpos em movimento), preferindo o risco de elaborar uma teoria menos "correta" (HERTZ, 1962, p.268)- em termos de correspondência com os fatos reais- mas com a vantagem de introduzir menos hipóteses "arbitrárias".⁴ Nos *Princípios*, Hertz passa a admitir hipóteses acerca de um meio universal, mecânico e contínuo, como condição para submeter os fenômenos à legalidade.

Por outro lado, uma das críticas de Hertz à Mecânica newtoniana é que, nesta representação, a centralidade do conceito de força, "obriga-nos a dirigir continuamente nossa atenção para átomos e moléculas". E continua:

"... é verdade que nós estamos agora convencidos que a matéria ponderável consiste de átomos; e nós temos noções definidas da magnitude desses átomos e de seus movimentos em certos casos. Mas a forma dos átomos, sua conexão, seu movimento na maior parte dos casos- tudo isto está inteiramente escondido de nós..." (HERTZ, 1956, p.18).

Conclui, então (referindo-se significativamente a Kirchhoff), que a hipótese atômica não deve figurar no fundamento de nossas "teorias matemáticas".

A vantagem que Hertz percebe no energetismo com respeito à representação newtoniana é, justamente, "de que nas hipóteses (...) entram somente características que são diretamente acessíveis à experiência..." (*ibid.*, p.18), evitando-se "hipóteses arbitrárias".

4. Explicação

Embora a previsão seja considerada por Hertz a finalidade básica da construção teórica, êle utiliza frequentemente o termo "explicação" na exposição que faz de diversas representações dos fenômenos físicos.

Assim, Hertz ressalta que na segunda "imagem de processos mecânicos" (o energetismo) deixa-se de lado o tipo básico de "explicação" adotada pela imagem anterior

⁴ Maxwell, em seu artigo de 1855 ("On Faraday's lines of force"), adota uma estratégia semelhante ao defender o "método de analogia", em lugar do "método de hipótese" (associado aos físicos laplacianos), ou do "método fenomenológico" (que êle associa a Fourier). As discussões metodológicas de Maxwell, espalhadas em seus diversos artigos científicos, são a nosso ver uma referência central para os diversos físicos-filósofos da 2ª metade do séc. XIX, incluindo Hertz e Boltzmann, mas também Poincaré e Duhem (ver ABRANTES, 1988). Elkana (1974, p.261) considera que Maxwell foi um precursor da concepção de teoria como *Bild*, em oposição a uma concepção realista (representada pelos atomistas).

(newtoniana)- envolvendo a redução dos fenômenos a ações-à-distância entre átomos de matéria. O energetismo substitui tal hipótese por um "modo de pensamento" que se inspira no recém-descoberto princípio de conservação da energia: os fenômenos são explicados com base nas transformações de energia envolvidas. Por sua vez, a mecânica de Hertz adota a ação contígua (de massas insensíveis) como tipo básico de explicação.

Em uma passagem de PM, Hertz esclarece o uso que faz desta noção, adotando claramente o que chamaríamos hoje um conceito nomológico-dedutivo de explicação:

"Nós consideramos um fenômeno do mundo material como mecanicamente, e portanto fisicamente, explicado quando nós provamos ser êle uma consequência necessária da lei fundamental e daquelas propriedades dos sistemas materiais que são independentes do tempo" (HERTZ, 1956, p.145).

A "lei fundamental" a que se refere neste contexto é a enunciada na representação hertziana da mecânica: "todo sistema livre persiste em seu estado de repouso ou de movimento uniforme na trajetória a mais retilínea" (ibid., p.144). Esta idéia de explicação é geral, aplicando-se, evidentemente, a qualquer outra representação caracterizada por um conjunto de "princípios" ou "leis" fundamentais.

Esta noção restrita de explicação é complementada por uma noção mais geral:

"A explicação completa dos fenômenos do mundo material abrangeria portanto: (1) sua explicação mecânica ou física; (2) uma explicação da lei fundamental; (3) a explicação daquelas propriedades do mundo material que são independentes do tempo. A segunda e terceira dessas explicações nós consideramos estar, contudo, além do domínio da física" (ibid., p.145).

Encontramos nesta passagem uma tentativa de delimitação entre física e metafísica, embora bastante fluida, pois depende de uma decisão, necessariamente arbitrária, com respeito ao ponto em que devemos parar na busca de princípios fundamentais (a partir dos quais um conjunto de relações pode ser deduzido). Hertz defende que o físico deve parar, nesta busca de fundamentos, quando conseguir submeter à legalidade o conjunto de fatos conhecidos em um domínio particular.

5. Metafísica

A principal crítica de Hertz à representação energetista da mecânica introduz novos elementos na delimitação da fronteira entre física e metafísica.

Segundo Hertz, há um pressuposto metafísico subentendido pelo princípio de Hamilton (que constitui a lei fundamental desta imagem da mecânica): a teleologia dos processos naturais.

Esta objeção envolve uma importante extensão do critério de "permissividade lógica", que introduz um elemento "holístico" na aceitabilidade de uma dada representação:

"Para que uma imagem de certas coisas externas possa, em nosso entendimento, ser permissível, não basta que suas características sejam consistentes entre si, mas [além disso] elas não devem contradizer as características de outras imagens já estabelecidas em nosso conhecimento" (p.23).

Esta passagem não deixa claro se tais "imagens estabelecidas" são imagens de natureza ou imagens de conhecimento (ou de ciência). A argumentação de Hertz envolverá, por um lado, a aplicação do critério de simplicidade para a aceitabilidade de uma dada representação e, por outro, a defesa de uma autonomia da física com respeito à metafísica.

Hertz considera o princípio de Hamilton de uma "complexidade extrema" (não admitindo um "significado físico" simples), justamente por envolver o pressuposto metafísico da teleologia nos processos naturais:

"Não somente ele faz o movimento presente depender das consequências que somente podem se exibir no futuro, atribuindo por conseguinte intenções à natureza inanimada; mas, o que é pior, ele atribui à natureza intenções que são destituídas de sentido [como a de tornar zero o valor de uma expressão matemática]" (HERTZ, 1956, p.23).

Hertz acrescenta então que "a física (...) não mais reconhece como seu dever ir ao encontro das exigências da metafísica". Não é, portanto, admissível usar, a favor de determinados princípios físicos, o argumento de que há "desígnio na natureza".

Mas ao apelar, acima, para o critério de simplicidade, Hertz também não estaria se comprometendo com um pressuposto metafísico? Hertz, coerentemente, admite que "... objeções com um caráter metafísico [como o de simplicidade] contra princípios [como o de Hamilton]", são igualmente ilegítimas.

Ele passa, então, a distinguir teses ontológicas- inaceitáveis- de exigências metodológicas- absolutamente legítimas (*sound and just sources of our needs*):

"É verdade que nós não podemos *a priori* exigir simplicidade da natureza, nem podemos julgar o que é simples na opinião da natureza. Mas com respeito a imagens de nossa própria criação, nós podemos estabelecer exigências. Nós estamos justificados em decidir que, se nossas imagens são bem adaptadas às coisas, as relações reais das coisas devem ser representadas por relações simples entre as imagens"(HERTZ, 1956, p.23).

E conclui:

"Portanto, nossa exigência de simplicidade não se aplica à natureza, mas às imagens dela que nós talhamos; e nossa repugnância com respeito a uma proposição complicada como uma lei fundamental somente expressa a convicção de que, se os conteúdos da proposição são corretos e abrangentes (*comprehensive*), ela pode ser formulada de forma mais simples por uma escolha mais conveniente das concepções fundamentais" (HERTZ, 1956, p.24).

Em outras palavras, Hertz não autoriza que hipostaziemos, como teses ontológicas, nossas exigências metodológicas. Ele subestima, contudo, a subjetividade inerente a critérios como o de "simplicidade": para um aristotélico a tese de que há "desígnio na natureza" seria considerada, sem dúvida, mais simples do que a tese mecanicista de que só atuam causas eficientes nos processos naturais (ver, porém, a discussão, na seção 1, do critério de "adequação")...

6. A componente *a priori* de nossas representações

Hertz expõe sua Mecânica em dois livros, que abordam, respectivamente, as componentes, numa Teoria Científica, que dependem exclusivamente do nosso pensamento, ou também da experiência:

"O assunto do primeiro livro [Geometria e Cinemática dos sistemas materiais] é completamente independente da experiência. Todas as asserções são julgamentos *a priori* no sentido de Kant. Elas estão baseadas nas leis da intuição interna e nas formas lógicas seguidas pela pessoa que faz as asserções; com sua experiência externa elas não têm qualquer outra conexão além das que essas intuições e formas podem ter" (HERTZ, 1956, p.45).

Na abertura do capítulo 1 (Time, Space, and Mass) Hertz enfatiza: " O tempo do livro primeiro é o tempo de nossa intuição interna" [...] O espaço do primeiro livro é o espaço tal como nós o concebemos"[...] " a massa do primeiro livro será introduzida por uma definição" (ibid., p.45)

Nesta 1ª parte, Hertz introduz também "uma série de proposições arbitrárias" (ibid., p.135).

A crença de Hertz na imutabilidade da componente *a priori* expressa-se na conclusão do livro I: "... a correção ou incorreção dessas investigações não podem ser nem confirmadas nem infirmadas por quaisquer possíveis experiências futuras" (ibid., p.135).

Poincaré defende uma tese análoga com respeito aos princípios da mecânica (POINCARÉ, 1938, cap. 6). Boltzmann divergir de Hertz exatamente neste ponto, afirmando que a adequação empírica deve permanecer, em qualquer caso, o critério fundamental de julgamento das nossas teorias (BOLTZMANN, 1974; cf. D'AGOSTINO, 1990). Além disso, Boltzmann, em sua última fase, abraçou uma epistemologia de tipo evolucionista (influenciado por Darwin), admitindo que mesmo as nossas formas de pensamento sofrem modificação ao longo da história humana (BOLTZMANN, 1974, p. 105; ELKANA, 1974; D'AGOSTINO, 1990).

O livro II (Mecânica dos Sistemas materiais) trata da componente que deriva da experiência, na representação hertziana. Nesta fase de elaboração teórica, "...tempos, espaços, e massas são símbolos para objetos da experiência externa...". As relações entre tais símbolos devem, portanto, "satisfazer não somente as leis de nossa intuição e pensamento, mas também a experiência" (HERTZ, 1956, p.139).

7. Teoria e Experiência

Parece-nos difícil dar consistência às concepções de Hertz da relação entre Teoria e Experiência. Em certas passagens, Hertz afirma que as relações fundamentais ("leis") das diversas representações podem ser confrontadas diretamente à experiência. Êle afirma, por exemplo, que toda a contribuição da experiência está contida na "lei fundamental": " a questão da correção de nossas proposições coincide, portanto, com a questão da correção ou validade geral daquela única proposição" (ibid., p.139).

Do mesmo modo, em EW, as 4 equações fundamentais da sua representação do eletromagnetismo são apresentadas como "relações entre magnitudes físicas que são efetivamente observadas, e não entre magnitudes que servem somente ao cálculo" (HERTZ, 1962, p.196). Como já assinalamos anteriormente, para Hertz o conjunto de leis

fundamentais de uma dada representação resume (em sua forma reconstruída) todo o conteúdo empírico da mesma.

Em outras passagens, contudo- como a que se segue a esta última- êle parece adotar uma posição holística semelhante à defendida por P. Duhem : "cada fórmula separada não pode ser especialmente testada pela experiência, mas somente o sistema como um todo" (ibid., p.197; cf. D'AGOSTINO, 1990, p. 391; COHEN, 1956). D'Agostino considera que este holismo, antes de ser explicitado, já estava sendo praticado por Hertz na série de suas experiências em eletromagnetismo, inaugurando uma nova concepção da relação teoria-experiência (D'AGOSTINO, 1989, p.69, 73).

8. Mecanicismo

Afirmamos acima que as posições metodológicas de Hertz não podem ser classificadas como anti-realistas (instrumentalistas ou fenomenistas), embora algumas de suas teses, tomadas isoladamente, tenham este caráter. Acreditamos que o mecanicismo de Hertz, evidenciado pelo seu comprometimento com o programa do éter, denuncia traços (moderadamente) realistas em sua filosofia da ciência.

Em PM, o vemos inicialmente defender, de forma cautelosa, o mecanicismo enquanto diretriz metodológica, associado ao critério de simplicidade: "... as idéias fundamentais da mecânica, juntamente com os princípios que as conectam, representam a imagem mais simples que a física pode produzir das coisas do mundo sensível e dos processos ocorrendo nele" (HERTZ, 1956, p.4).

Em outra passagem, Hertz mostra-se, contudo, crítico quanto a tentativas reducionistas. Êle insiste que o seu sistema de Mecânica aplica-se, restritamente, à "natureza inanimada" (ibid., p.38), suas leis sendo "simples e estreitas demais para responder mesmo pelos processos os mais elementares da vida". Além disso, seu sistema não pretende ter qualquer aparência de "necessidade": " ele nos permite reconhecer que tudo poderia ser bastante diferente" (ibid., p.38). A representação tradicional da mecânica, ao contrário, daria margem, segundo Hertz, a veleidades reducionistas (ibid., p.39).

Acreditamos, porém, que as convicções mecanicistas de Hertz fortaleceram-se com sua adesão final ao "ponto de vista de Maxwell" em eletromagnetismo, afastando-o da abordagem continental baseada na ação à distância (e portanto em um pressuposto fundamental da representação newtoniana da mecânica), representada por seu mestre Helmholtz.

Um historiador contemporâneo da ciência sugeriu que a eletrodinâmica de Hertz, ao eliminar os andaimes que possibilitaram a Maxwell construir a sua teoria, teria sido um importante passo em direção à des-mecanização do eletromagnetismo (HIROSIGE, 1976).

Os *Princípios da Mecânica*, porém, não constituem, a nosso ver, um mero exercício de "reconstrução lógica" ou "racional" (COHEN, 1956), no sentido da filosofia da ciência do empirismo lógico, mas uma contribuição científica ao programa do éter. Se esta interpretação é correta, a tese supra-citada de Hirosige, embora possa traduzir a recepção do trabalho de Hertz pela comunidade científica do final do séc. XIX , não traduz as verdadeiras intenções deste último.

Para Hertz, as diversas imagens da Mecânica não podem ser simultaneamente corretas, mesmo admitindo-se as vantagens e desvantagens de cada uma quanto ao critério de permissibilidade e de adequação. Êle acredita que a sua representação é a mais correta no contexto de uma teoria unificada do éter, que englobaria também o eletromagnetismo.

Para Hertz, a batalha decisiva dar-se-ia numa teoria geral do éter, remetendo (*tracing back*) as "supostas ações à distância [...] a movimentos em um meio que permeia tudo e cujas partes menores estão submetidas a conexões rígidas; um caso que parece estar próximo de ser realizado na esfera [das forças elétricas e magnéticas]" (HERTZ, 1956, p.41).

Fica claro, portanto, que os *Princípios de Mecânica* inserem-se numa tradição mecanicista que remonta a Maxwell, compromissada com a hipótese de que a ação física se transmite de forma contígua e mediatizada, e com o objetivo de desenvolver uma teoria "completa" dos fenômenos eletromagnéticos (cf. ABRANTES, 1988).

Defendemos tal tese mesmo diante de afirmações do próprio Hertz, de que espera que sua contribuição seja avaliada exclusivamente a nível do "arranjo e colocação do conjunto- o aspecto lógico ou filosófico do assunto" (HERTZ, 1956, p.xxiv). Em outras passagens, Hertz sugere também que tanto a sua representação do eletromagnetismo quanto a da mecânica não são (heurísticamente) úteis ao trabalho científico. Tais afirmações devem ser, contudo, qualificadas, quando percebemos existir uma unidade fundamental entre sua 'pesquisa de fundamentos' e seu trabalho teórico e experimental como físico.⁵

LISTA BIBLIOGRAFICA

- ABRANTES, P. A metodologia de J.C. Maxwell e o desenvolvimento da teoria eletromagnética. *Cadernos Catarinenses de Ensino de Física*, v.5, junho, 1988. Número especial.
- ALEXANDER, P. La filosofía de la ciencia, 1850-1910. In: O'CONNOR, D.J. (comp.) *Historia crítica de la filosofía occidental*. Barcelona: Paidós, 1983. V. 6.
- BOLTZMANN, L. On the fundamental principles and equations of mechanics. IN: McGUINNESS, B. (ed.) *Theoretical physics and philosophical problems*. Dordrecht: Reidel, 1974.
- BRAITHWAITE, R.B. *Scientific Explanation*. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1953.
- CASSIRER, E. *El problema del conocimiento*. Mexico: Fondo de Cultura Económica, 1979. V. 4.
- COHEN, R. S. Hertz's philosophy of science: an introductory essay. In: HERTZ, R. *The Principles of Mechanics*. New York: Dover, 1956.
- D'AGOSTINO, S. Pourquoi Hertz et non pas Maxwell, a-t-il découvert les ondes électriques? *Centaurus*, v.32, n. 1, p.66-76, 1989.
- _____. Boltzmann and Hertz on the *Bild*-conception of physical theory. *History of Science*, v. 28, p. 380-398, 1990.
- ELKANA, Y. Boltzmann's scientific research program and its alternatives. In: ELKANA, Y. (ed.) *The interaction between science and philosophy*. Atlantic Highlands, N.J.: Humanities Press, 1974.

⁵ Gostaria de registrar os meus agradecimentos ao Prof. Ildeu de Castro Moreira, do Instituto de Física da UFRJ, que se dispôs a criticar e discutir em diversas oportunidades este trabalho, mas que seguramente continuará divergindo, em vários pontos, da leitura de Hertz aqui apresentada.

- FRAASSEN, Bas C. van. *The Scientific Image*. New York: Oxford Univ. Press, 1980.
- HACKER, P.M.S. *Insight and Illusion*. Oxford: Clarendon Press, 1972.
- HALLER, R. *Wittgenstein e a filosofia austríaca: questões*. São Paulo: EDUSP, 1990.
- HERTZ, R. *Electric Waves*. New York: Dover, 1962.
- _____. *The Principles of Mechanics*. New York: Dover, 1956.
- HIROSIGE, T. The ether problem, the mechanistic world view, and the origins of the theory of relativity. *Hist. Stud. Phys. Sci.*, v. 7, p. 3-82, 1976.
- HESSE, M. *Forces and Fields*. Westport: Greenwood Press, 1970.
- JANIK, A.; TOULMIN, S. *A Viena de Wittgenstein*. Rio de Janeiro: Campus, 1991.
- NAGEL, E. *The structure of science*. London: Routledge & Kegan Paul, 1961.
- POINCARÉ, H. *Electricité et Optique*. 1. ed.. Paris: G. Carré, 1890. V. 1.
- _____. Les idées de Hertz sur la mécanique. *Revue Générale des Sciences*, t.8, p.734-43, 1897.
- _____. *La Science et l'Hypothèse*. Paris: Flammarion, 1938.
- SUPPE, F. (ed.) *The structure of scientific theories*. Chicago: Univ. of Illinois Press, 1974.
- WILSON, A.D. Hertz, Boltzmann and Wittgenstein reconsidered. *Stud. Hist. Phil. Sci.*, v. 20, n. 2, p. 245-63, 1989.