



Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Centro de Ciências Sociais

Instituto de Filosofia e Ciências Humanas

Andre Carli Philot

**A função e natureza das convenções e hipóteses segundo o
convencionalismo francês da virada do século XIX para o XX: relações
entre ciência e metafísica nas obras de Henri Poincaré, Pierre Duhem e
Édouard Le Roy**

Rio de Janeiro

2015

Andre Carli Philot

A função e natureza das convenções e hipóteses segundo o convencionalismo francês da virada do século XIX para o XX: relações entre ciência e metafísica nas obras de Henri Poincaré, Pierre Duhem e Édouard Le Roy



Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre ao Programa de Pós-Graduação em Filosofia da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Filosofia Moderna e Contemporânea.

Orientador: Prof. Dr. Antonio Augusto Passos Videira

Rio de Janeiro

2015

CATALOGAÇÃO NA FONTE
UERJ/REDE SIRIUS/CCSA

P751f Philot, Andre Carli.

A função e natureza das convenções e hipóteses segundo o convencionalismo francês da virada do século XIX para o XX: relações entre ciência e metafísica nas obras de Henri Poincaré, Pierre Duhem e Édouard Le Roy /Andre Carli Philot. – 2015.
118 f.

Orientador: Antonio Augusto Passos Videira.
Dissertação (mestrado) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Instituto de Filosofia e Ciências Humanas.
Bibliografia.

1. Poincare, Henri, 1854-1912. 2. Duhem, Pierre Maurice Marie, 1861-1916. 3. Le Roy, Edouard, 1870-1954. 4. Metafísica - Teses. I. Videira, Antonio Augusto Passos. II. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Instituto de Filosofia e Ciências Humanas. III. Título.

CDU 111

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta dissertação, desde que citada a fonte.

Assinatura

Data

Andre Carli Philot

A função e natureza das convenções e hipóteses segundo o convencionalismo francês da virada do século XIX para o XX: relações entre ciência e metafísica nas obras de Henri Poincaré, Pierre Duhem e Édouard Le Roy

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre ao Programa de Pós-Graduação em Filosofia da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Filosofia Moderna e Contemporânea.

Aprovada em 15 de abril de 2015.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Antonio Augusto Passos Videira (Orientador)
Instituto de Filosofia e Ciências Humanas – UERJ

Prof. Dr. Rogério Soares da Costa
Instituto de Filosofia e Ciências Humanas – UERJ

Prof.^a Dra. Tatiana Marins Roque
Universidade Federal do Rio de Janeiro

Rio de Janeiro

2015

DEDICATÓRIA

Ao cachorro mais “cachorrudo”, Zeus.

AGRADECIMENTOS

À minha família, em especial minha mãe Dóris, minha vó Teresa, minha tia Márcia e minha esposa Kim por serem uma constante em minha vida. Eu vos amo.

Ao meu augusto orientador, Antonio Videira, mestre solícito e exemplar.

Aos membros da Banca Examinadora pelo tempo e atenção despendidos.

A todos os docentes, técnicos e discentes do Programa de Pós-Graduação da UERJ que se dedicam ao conhecimento.

À CAPES pela bolsa de estudos que permitiu dedicar-me a esta pesquisa.

Ao Grupo de Estudos de CTS pelo acolhimento e estímulo à pesquisa, além do clima espirituoso.

A todos meus queridos amigos, em especial Vinícius Carvalho da Silva e Pablo Guimarães pelos entusiasmados debates filosóficos.

Aos amigos gauleses Gabriel Alban-Zapata, Bérénice Escande, Romain Dostes e Charline Huet pelo acolhimento e a calorosa companhia.

A *Bibliothèque nationale de France* e seus funcionários por terem me oferecido acesso a seu acervo monumental.

A todos os funcionários da *American International School – West Campus* pelo apoio e, em especial, Jerri Fryar, Sherin AbdelHay, Ilene Magdales e Walther Hetzer por terem me oferecido um espaço no qual eu pude criar minha rotina de pesquisa.

RESUMO

PHILOT, A. C. *A função e natureza das convenções e hipóteses segundo o convencionalismo francês da virada do século XIX para o XX: relações entre ciência e metafísica nas obras de Henri Poincaré, Pierre Duhem e Édouard Le Roy*. 2015. 118 f. Dissertação (Mestrado em Filosofia) – Instituto de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

Nesse trabalho apresentamos a função e determinamos a natureza das convenções e hipóteses para os fundamentos científicos segundo a corrente convencionalista que surgiu na França na virada do século XIX para o XX, composta por Henri Poincaré, Pierre Duhem e Édouard Le Roy. Além disso, analisamos a relação que as convenções e hipóteses podem estabelecer com teses metafísicas através dos critérios utilizados pelos cientistas para determinar a preferência por certas teorias. Para isso, promovemos uma interpretação imanente das obras publicadas entre 1891 e 1905. Como resultado, revelamos que os autores, apesar de serem classificados como pertencentes a uma mesma corrente, não possuem apenas posições comuns, mas também divergências. Poincaré e Le Roy concordam que as convenções geométricas são escolhidas de acordo com o critério de conveniência. Contudo, eles discordam sobre o valor que a conveniência agrega ao conhecimento científico. Em relação aos fenômenos naturais, os três autores concordam que a realidade não pode ser descrita univocamente por um mesmo conjunto de convenções e hipóteses. Porém, Poincaré e Duhem acreditam que há critérios que tornam umas teorias mais satisfatórias que outras. Analisamos os critérios experimentais, racionais e axiológicos que justificam a satisfação dos cientistas com certas teorias e apontamos como estes critérios se relacionam com a metafísica. Concluimos que os convencionalistas, mesmo que cautelosamente e de modo implícito, buscaram se aproximar da metafísica com o intuito de justificar a própria atividade científica.

Palavras-chave: Convencionalismo. Poincaré. Duhem. Le Roy. Convenção. Hipótese. Metafísica.

ABSTRACT

PHILOT, A. C. *The function and nature of conventions and hypotheses according to French conventionalism by the turn of the XIX century to the XX: relations between science and metaphysics in the works of Henri Poincaré, Pierre Duhem and Édouard Le Roy.* 2015. 118 f. Dissertação (Mestrado em Filosofia) – Instituto de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

In this work, we present the function and we determine the nature of conventions and hypotheses for the scientific foundations according with the conventionalist doctrine that arose in France during the turning of the XIX century to the XX. The doctrine was composed by Henri Poincaré, Pierre Duhem and Édouard Le Roy. Moreover, we analyze the relation that conventions and hypotheses can establish with metaphysical thesis through criteria used by scientists in order to determine the preference for certain theories. Thereunto, we promote an immanent interpretation of published works between 1891 and 1905. As result, we reveal that the authors, though being classified as belonging to the same doctrine, don't have only common grounds, but also divergences. Poincaré and Le Roy agree that geometrical conventions are chosen in accordance with convenience criteria. However, they disagree about the value convenience aggregate to scientific knowledge. In regards to natural phenomena, the three authors agree that reality can't be described univocally by the same set of conventions and hypotheses. Yet, Poincaré and Duhem both believe that there are experimental, rational and axiological criteria that justify scientist's satisfaction with certain theories and we indicate how those criteria are related with metaphysics. We conclude that conventionalists, even if warily and implicitly, searched to approach metaphysics in order to justify scientific activity.

Keywords: Conventionalism. Poincaré. Duhem. Le Roy. Conventions. Hypotheses. Metaphysics.

SUMÁRIO

	INTRODUÇÃO	9
1	CONVENÇÕES NA GEOMETRIA	15
1.1	Poincaré: convenções como axiomas geométricos	16
1.1.1	<u>A equivalência entre as geometrias euclidianas e não euclidianas</u>	16
1.1.2	<u>Os axiomas tradicionais são definições disfarçadas</u>	19
1.2	Le Roy e as convenções geométricas como criações do espírito	21
1.3	Conclusões sobre a natureza das convenções geométricas	23
2	O PAPEL DAS CONVENÇÕES E HIPÓTESES NAS CIÊNCIAS NATURAIS	29
2.1	Duhem e o período indutivista	30
2.1.1	<u>Convenções e hipóteses na teoria física</u>	30
2.1.2	<u>Convenções na química e hipóteses atomísticas</u>	34
2.2	Poincaré e as convenções e hipóteses nas ciências naturais	38
2.2.1	<u>Os princípios da termodinâmica são convenções?</u>	38
2.2.2	<u>As convenções na mecânica newtoniana</u>	43
2.2.3	<u>As hipóteses físicas</u>	48
2.3	Le Roy: Fatos, leis e teorias como convenções	51
2.4	Conclusões sobre a natureza das convenções e hipóteses científicas	55
3	OS CRITÉRIOS QUE CONDUZEM A ESCOLHA DAS CONVENÇÕES E HIPÓTESES	62
3.1	Os principais critérios: experiência e razão	63
3.1.1	<u>Espaço representativo e teoria dos grupos</u>	63
3.1.2	<u>Duhem e a preponderância da experiência e da indução</u>	70
3.1.3	<u>A parte devida a experiência e a parte imposta pela razão nos princípios inverificáveis da física</u>	76
3.2	Simplicidade comodidade e outros critérios axiológicos	80
3.2.1	<u>Poincaré: conveniência, a origem evolutiva dos critérios epistêmicos e a relação desses critérios com a metafísica</u>	80
3.2.2	<u>Le Roy: a contingência dos critérios e a via do absoluto</u>	88
3.2.3	<u>Duhem: os critérios epistêmicos capazes de tornar a representação teórica próxima do ideal e o combate às hipóteses mecanicistas</u>	92

CONCLUSÃO.....	102
REFERÊNCIAS.....	111

INTRODUÇÃO

As discussões abordadas em nossa dissertação pertencem à linha de pesquisa filosófica denominada “Teoria do conhecimento e Filosofia das ciências”. Por mais que algumas questões que abordaremos possuam relação geral com o primeiro campo dessa linha de pesquisa, nossa investigação concentra-se no segundo, analisando autores que debateram a natureza e fundamentação de uma forma específica de saber: as ciências. Tal debate pode ser remontado desde os primórdios filosóficos. Contudo, limitaremos nosso universo de análise à justificação que as ciências receberam em particular na modernidade e contemporaneidade. Portanto, ainda que nosso exame se atenha a ciências como a geometria e a física que podem ter suas origens traçadas para além dos limites temporais que impomos, nosso foco estará direcionado para as justificações tal como foram formuladas pelos modernos e contemporâneos.

A essa limitação temporal adicionaremos também um limite geográfico/político/cultural. As filosofias das ciências que estudaremos estão inseridas no contexto francês. Esse universo, que abarca personalidades desde René Descartes a Bruno Latour, ainda que seja menor que os anteriores, continua sendo extremamente vasto. O período da filosofia das ciências francesa que estudaremos se aproxima da classificação estabelecida por Moulines (2006, p. 7), na qual esta atividade estaria passando por uma “fase de germinação ou pré-formação” antes de se tornar disciplina acadêmica institucionalizada. Esta fase seria caracterizada por reflexões epistemológicas e metodológicas promovida por cientistas e filósofos dotados de bom conhecimento científico. Os filósofos desta fase não se contentaram com a crítica geral das ciências, promovendo uma análise profunda dos seus métodos e assimilando o espírito próprio de tal atividade. Os cientistas, por sua vez, partindo das teorias em direção à filosofia, examinaram atentamente os princípios e os valores de suas próprias pesquisas (PARODI, 1920, p. 201). Contudo, é possível notar os resquícios da hostilidade entre ciência e metafísica engendrada pela geração anterior, responsável pela formulação da doutrina filosófica científica conhecida pelo nome de positivismo¹.

Não é nosso objetivo apresentarmos um quadro detalhado do contexto da filosofia das ciências anterior à fase que delimitamos para esta dissertação. Contentar-nos-emos em apontar de modo superficial e geral as principais tendências que atuavam neste meio. No

¹ Não se deve confundir este positivismo com o positivismo lógico do Círculo de Viena, grupo de filósofos organizados em torno de Moritz Schlick no período entreguerras.

campo da filosofia da ciência, Auguste Comte e seus discípulos eram sem dúvida a tendência mais relevante no período que antecedeu a “fase de germinação” acima mencionada. Eles foram responsáveis por formular a filosofia positiva que reivindicava o primado da ciência como único método de conhecimento válido, rejeitando todo problema de origem e condenando de uma maneira absoluta a metafísica (REY, 1908, p. 21) e a teologia. Defensores do otimismo em relação aos poderes da ciência, eles promoveram o culto ao fato e à experiência como fonte de certeza. Estabeleceram-se como forte influência em meados do século XIX e, mesmo que não tenham sido capazes de perpetuar o apreço às suas ideias por muito tempo, sem dúvida produziram uma marca indelével no campo da filosofia da ciência. Sua ênfase na crítica à metafísica tradicional, bem como a exaltação dos métodos científicos tornaram-se teses comuns na obra de muitos filósofos posteriores. Ernest Renan, filósofo que atingiu seu acme no mesmo período de prestígio do positivismo, considerava a metafísica como “[...] especulação semelhante à poesia ou até mesmo ao sonho [...]” (COPLESTON, 1974, p. 109). Essa posição foi uma resposta à Étienne Vacherot que propôs que a metafísica poderia ser transformada em uma ciência (VACHEROT, 1858). Separado por algumas décadas, mas possuído pelo mesmo espírito, Émile Durkheim viria propor o estudo científico dos fatos sociais naquilo que pode ser considerado o surgimento da sociologia.

Ao prestígio das teses positivistas houve uma reação que afirmou a relevância do espírito sobre a matéria, da liberdade sobre o determinismo, na forma de uma crítica à atividade científica e à exaltação da união das formas de conhecimento desenvolvidas pela ciência e filosofia. Esse movimento, denominado espiritualismo, teve como uma de suas principais figuras Félix Ravaisson. As origens do espiritualismo remeteriam ao pensamento de Maine de Biran, defendendo que a filosofia poderia conquistar um “[...] acordo definitivo com a ciência positiva [...]” (VACHEROT, 1868, p. 953). Émile Boutroux, filósofo que pertenceu à fase que analisaremos neste trabalho, foi também um defensor dessa filosofia. Ele afirmou que quanto mais a ciência capta o concreto, mais a dinâmica ganha transcendência sobre a mecânica, e o qualitativo sobre o quantitativo (HÖFFDING, 1922, p. 294). Contudo, sua filosofia não condenava a possibilidade das ciências positivas. Pelo contrário, ele fazia referência incessante aos dados, à coleta dos fatos e considerava o respeito à observação e a experiência como indispensáveis (FREULER, 1995, p. 31).

Essas e outras tendências das gerações imediatamente anteriores poderão ser entrevistadas na análise que procederemos. O problema da relação entre ciência e metafísica, a fundamentação da metodologia científica e o valor da ciência como saber, permanecerão temas relevantes para o período que investigaremos. Todavia, nosso trabalho não pretende

oferecer uma visão geral dos diversos personagens que fizeram parte desse período, entre eles Paul Tannery, Jules Tannery, Louis Couturat, Émile Picard, Paul Painlevé, Jacques Hadamard, André Lalande, Émile Borel (BOUTROUX, 1908, p. 699), para citar os nomes principais. Iremos nos concentrar na corrente de filosofia das ciências mais marcante da França na virada do século XIX para o XX: o convencionalismo.

A historiografia é inconsistente ao enumerar os membros do convencionalismo francês. Enquanto Barberousse, Kistler e Ludwig (2000) incluem Henri Poincaré e Édouard Le Roy como os defensores dessa posição filosófica, Reale e Antiseri (2005) adicionam à lista Pierre Duhem. Além disso, Schmid (2006) e Brenner (2004) incluem também Gaston Milhaud sob a rubrica convencionalista. Não será nosso desejo promover um debate sobre o mérito da alcunha convencionalista. O critério que utilizaremos em nosso trabalho não pretende solucionar esta polêmica e será imposto unicamente por razões práticas: desejamos analisar as obras dos autores que utilizaram consistentemente o termo “convenção” na fundamentação das ciências naturais. De acordo com tal critério, achamos pertinente excluir Milhaud, já que sua obra concentra-se principalmente na análise dos fundamentos das ciências matemáticas. Nosso trabalho, portanto, utilizará as obras de Poincaré, Duhem e Le Roy.

Henri Poincaré nasceu em 29 de abril de 1854 na cidade de Nancy e veio a falecer em 17 de julho de 1912 em Paris. Estudante da *École Polytechnique* e da *École des Mines*, completou seu doutorado em ciências matemáticas pela Universidade de Paris no ano de 1879, tornando-se rapidamente encarregado do curso de análise matemática da Universidade de Caen no mesmo ano. Em 1881 ele passa a lecionar a mesma disciplina, mas dessa vez como mestre de conferências na Faculdade de Ciências de Paris, posteriormente assumindo outros cursos na mesma universidade, como o de mecânica física e experimental, física matemática e cálculo das probabilidades e, por fim, astronomia matemática e mecânica celeste. Participou como membro de diversas sociedades e instituições científicas francesas e do exterior, vindo a presidir a Sociedade Matemática da França em 1886 e novamente em 1900, o *Bureau des Longitudes* em 1899 e novamente em 1909 e 1910, a Sociedade Astronômica da França de 1901 a 1903 e a Sociedade Francesa de Física em 1902. A Academia de Ciências o elegeu membro em 1887, enquanto a Academia Francesa o recebeu em 1908. Entre os prêmios que recebeu ao longo de sua vida, destacam-se o *Grand Prix* promovido pelo rei Oscar II da Suécia em 1899 por seu trabalho em mecânica celeste envolvendo o “problema dos três corpos”.

Dentre suas principais publicações de filosofia das ciências destacam-se quatro obras: “A ciência e a hipótese” publicada em 1902, “O valor da ciência” de 1905, “Ciência e

método” de 1908 e “Últimos pensamentos”, publicado postumamente em 1913. Através destes livros Poincaré passou a ser conhecido como defensor dos princípios convencionais, tanto em geometria quanto na física.

Pierre Duhem, nascido no dia 9 de junho de 1861 em Paris e morto em 14 de setembro de 1916 na pequena cidade de Cabrespine. Licenciado em matemática e física pela *École Normale Supérieure*, formou-se doutor em ciências no ano de 1888 pela Sorbonne. Tornou-se mestre de conferências da Faculdade de Ciências de Lille de 1887 até 1893, quando se mudou para Rennes e assumiu o posto de professor de física por apenas um ano. Em 1894 Duhem tomou posse da cadeira de física na Universidade de Bordeaux. Foi eleito membro correspondente da Academia de Ciências em 1900.

Em ciência Duhem foi defensor do energetismo, doutrina que buscou descrever os fenômenos químicos e físicos, incluindo a mecânica, eletricidade e magnetismo, a partir dos princípios da termodinâmica. Como filósofo da ciência, sua principal foi publicada em 1906 sob o título “A teoria física: seu objeto e sua estrutura”. Nele Duhem defendeu sua famosa posição apelidada pela historiografia como “holismo” e que, posteriormente, deu origem a tese Duhem-Quine. O holismo defende que todas as partes da teoria física participam do teste experimental. Por essa razão, quando a teoria é malsucedida não é possível determinarmos qual parte deve ser alterada. Em outras palavras, a uma subdeterminação da teoria em relação à experiência. Como historiador da ciência Duhem tornou-se conhecido por contrariar a historiografia tradicional e retrair as origens da ciência moderna aos tempos medievais, mais precisamente no pensamento de figuras do século XIII e XIV como Alberto da Saxônia, Jordanus de Nemore, Jean Buridan e Nicole d’Oresme. Sua principal obra de história da ciência intitula-se “O sistema do mundo”, dividida em dez tomos, sendo que os seis últimos foram publicados postumamente graças a sua filha Hélène.

Édouard Le Roy nasceu em Paris na data de 18 de junho de 1870 e morreu em 10 de novembro de 1954, na mesma cidade. Ingressou na *École Normale Supérieure* em 1892 e tornou-se doutor em ciências seis anos depois. Sucedeu Henri Bergson no *College de France* em 1921 e também na Academia Francesa em 1945. Em 1919 foi eleito para a Academia de Ciências Morais e Políticas. De 1924 à 1940 foi conferencista no ramo da matemática na Faculdade de Ciências de Paris (BACHELARD, 1960, p. 13).

Entre suas principais obras em filosofia da ciência podemos destacar três artigos publicados entre 1899 e 1900, intitulados “Ciência e Filosofia”. Neles, Le Roy caracterizou os princípios científicos como contingentes e arbitrários, capazes de produzir apenas um

conhecimento prático, apontando a necessidade de uma reaproximação com a filosofia com o intuito de unificar o pensamento.

Nosso trabalho analisará a existência e importância das convenções e hipóteses para a teoria científica de acordo com as obras destes três autores. A partir de tal análise pretendemos demonstrar que tais elementos teóricos são partes indispensáveis dos fundamentos da ciência. Além disso, buscaremos mostrar que as convenções e hipóteses não são totalmente determinadas pela experiência ou pela razão, revelando que a distância entre o experimento e a teoria enseja múltiplas interpretações científicas.

Na busca de tais objetivos compreenderemos que o movimento científico-filosófico do qual os três autores fazem parte promoveu na virada do século XIX para o XX uma revisão profunda e crítica dos fundamentos da ciência. Tal ação foi empreendida na busca de acomodar e organizar as transformações pelas quais a ciência estava passando, muitas das quais nossos protagonistas participaram não só como observadores privilegiados, mas também como agentes decisivos. Entre tais transformações, podemos citar a aceitação das geometrias não euclidianas como teorias legítimas e úteis, sendo utilizadas inclusive na solução de equações diferenciais. A unificação dos fenômenos elétricos e ópticos promovida pela nova teoria eletrodinâmica liderada por Maxwell, assim como a extensão de princípios da termodinâmica a outras áreas, como a mecânica química², também são bons exemplos das transformações que estavam em curso.

A constatação de que convenções e hipóteses constituem quando não o todo, pelo menos boa parte dos fundamentos científicos, foi um dos resultados marcantes dessa revisão. As convenções, que antes da análise dos nossos autores eram meras auxiliares na constituição teórica, foram erigidas à categoria de axiomas geométricos e princípios físicos. As hipóteses, vistas como nocivas e dispensáveis por figuras como Newton e Ampère, eram agora necessárias e constavam explicitamente no início dos tratados. *Hypotheses non fingo*, um lema perseguido com afinco, deu lugar a meta de elencar explicitamente todos os princípios necessários à sustentação das teorias.

Porém, se por um lado a estratégia de revelar o caráter convencional e hipotético dos pilares teóricos ofereceu respostas para as questões levantadas pelas transformações científicas que ocorriam, por outro lado mais dúvidas surgiram em relação ao alcance e legitimidade da ciência. Enquanto as reflexões adotadas ofereciam soluções para problemas

² Termo utilizado à época para se referir à “[...] teoria das mudanças de estado físico ou de constituição química [...]”, tais como os fenômenos de combinação, dissociação, fusão, vaporização e dissolução (DUHEM, 1897, p. V).

como o pluralismo teórico, ao mesmo tempo elas abalavam concepções bem estabelecidas de ciência, como a imagem de ciência produzida pelo movimento positivista. No intento de demonstrar que não era o capricho que guiava as transformações, eles revisaram o papel da experiência e da razão na determinação dos princípios, discutindo a natureza pretensamente empírica ou *apriorística* deles. Com isso, percorreram caminhos diferentes que, ao cabo, conduziram-nos a reconhecer que a realidade é capaz de admitir múltiplas representações.

A metodologia deste trabalho fará recurso a interpretação imanente dos textos dos autores em foco, recorrendo circunstancialmente a contextualizações históricas. Os textos que receberão o foco de nossa interpretação rangem de 1891 até 1905, período em que os três autores analisados utilizaram constantemente o termo “convenção” em suas obras. 1891 foi o ano em que Poincaré publicou o primeiro artigo no qual utiliza o termo “convenção” em um contexto filosófico, com o intuito de defender a equivalência entre das geometrias não euclidianas em relação à euclidiana. Já em 1906, Pierre Duhem consolidou uma posição que havia começado a ser formulada desde 1894 (BRENNER, 1990, p. 31). Tal posição, já mencionada por nós através da denominação “holista”, recebeu sua formulação final através da publicação de “A teoria física: seu objeto e sua estrutura”. Concordando com Maiocchi (1990), julgamos que este livro apresenta teses contra o convencionalismo. Na verdade, pouquíssimas são as vezes em que o autor cita o termo convenção nesta obra e, quando o faz, busca de maneira a diferenciar suas teses das posições de Poincaré e Le Roy. Essas são as razões que justificam nosso corte histórico.

1 CONVENÇÕES NA GEOMETRIA

Neste capítulo buscaremos mostrar que as posições dos autores envolvidos convergem acerca da presença e relevância das convenções em relação aos fundamentos da geometria. Com isso, pretendemos demonstrar que as convenções são necessárias a formulação das teorias científicas estudadas. No entanto, os caminhos que conduziram cada autor a chegar a essa mesma conclusão tem origens diferentes. Poincaré parece ter generalizado sua posição convencionalista a partir de suas reflexões acerca da geometria³. Le Roy parece ter adotado, em um primeiro momento, as teses filosóficas de Poincaré. Duhem, por ter partido da análise das teorias físicas sem se concentrar nas questões referentes à geometria, não receberá nossa atenção especial neste capítulo, mas apenas no próximo. No entanto, ao analisar o percurso individual de cada autor, assim como as possíveis influências entre si, indicaremos nitidamente suas opiniões acerca da presença e função das convenções para a ciência.

Nas obras científicas dos três autores é comum encontrarmos a utilização do termo “convenção”. Nesses casos, os autores desejam estabelecer uma definição que posteriormente participará de uma demonstração. Uma vez estabelecida tal definição, o papel das convenções está concluído. Outra expressão bastante comum que se encontra nas obras científicas dos autores analisados é a “convenientemente escolhido”. Utiliza-se tal expressão quando alguma variante ou ponto de partida foi escolhido devido à conveniência que ela proporciona aos cálculos, ou seja, a simplicidade que tal escolha confere ao raciocínio científico que se pretende desenvolver. Por alguma razão, seja de origem etimológica ou de costume, o termo “convenção” parece estar relacionado à conveniência e, por essa razão, é frequente encontrar no mesmo artigo tanto o termo quanto a expressão conjugados.

Empregar o termo “convenção” ou “convenientemente escolhido” não é prática exclusiva dos autores em evidência, sendo comum também no resto do meio científico de sua época. . Tomando isso em consideração, o fato de que os autores são reconhecidos como “convencionalistas” nos leva a crer que eles adotaram uma postura diferente do resto da comunidade científica em relação às convenções. Tal postura não pode ser notada pelos textos de abordagem exclusivamente científica. A diferença é notada nos textos que os autores

³ Não pretendemos defender com essa afirmação que as reflexões filosóficas de Poincaré a respeito das ciências naturais possam ser reduzidas às suas reflexões a respeito da geometria. Defendemos com DE PAZ (2014, p. 115) que há “certa independência” entre esses dois modos de “convencionalismos”. Ao longo do trabalho essas diferenças se tornarão explícitas. Nossa afirmação tem o intuito apenas de indicar a origem histórica da crítica de Poincaré a respeito da importância da convenção nos princípios científicos.

abordam de maneira filosófica o assunto. Propomos, portanto, analisar em quais textos essa diferença de postura surge e qual é a postura de cada um dos analisados.

1.1 Poincaré: convenções como axiomas geométricos

1.1.1 A equivalência entre as geometrias euclidianas e não euclidianas

A primeira tese científico-filosófica de Poincaré que veio a público diz respeito à equivalência epistemológica entre as geometrias euclidianas e não euclidianas. Sua doutrina convencionalista, posteriormente desenvolvida, depende do estabelecimento dessa equivalência. Essas posições foram desenvolvidas a partir do trabalho do autor com as geometrias não euclidianas. Visando, portanto, uma maior compreensão do significado de suas teses, prosseguiremos a uma breve contextualização das novas geometrias.

As geometrias não euclidianas surgiram no início do século XIX pelas mãos de Gauss, Bolyai, Lobachevsky e Riemann. Tais geometrias foram desenvolvidas, basicamente, da negação do quinto postulado tal como exposto por Euclides em seu livro “Elementos”:

Se uma reta, ao incidir sobre duas retas, forma dois ângulos internos menores que dois ângulos retos, as duas retas prolongadas indefinidamente se encontrarão no lado em que se encontram os (ângulos) menores que dois ângulos retos⁴ (EUCLIDES, 1991, p. 197-198, tradução nossa).

A partir da negação de tal postulado, também conhecido como postulado das paralelas, duas outras geometrias com consequências contraintuitivas podem ser deduzidas. Uma dessas consequências diz respeito ao número de paralelas que podem ser traçadas a uma reta dada: enquanto na geometria de Euclides há somente uma, na geometria de Lobachevsky há uma infinidade e na de Riemann nenhuma. Enquanto a soma dos ângulos de um triângulo, por exemplo, equivale a dois ângulos retos na geometria euclidiana, na geometria de Lobachevsky a soma é pouco menor que dois ângulos retos e na de Riemann pouco maior que dois ângulos retos. Tais consequências soaram absurdas ao serem comparadas ao edifício da geometria

⁴ O texto em língua estrangeira é: “Y que si una recta al incidir sobre dos rectas hace los ángulos internos del mismo lado menores que dos rectos, las dos rectas prolongadas indefinidamente se encontrarán en el lado en el que están los (ângulos) menores que dos rectos.”

euclidiana, visto por séculos como exemplo de perfeição e, como tal, modelo para as outras ciências. Por essa razão, as geometrias euclidianas não receberam muita atenção na época em que foram criadas, sendo consideradas meras curiosidades matemáticas por parte da comunidade científica (POINCARÉ, 1984; GRAY, 2013).

Foi então que a partir de 1881, partindo de estudos sobre funções automórficas, Henri Poincaré começou a utilizar as geometrias não euclidianas na solução de diversos problemas matemáticos, particularmente na integração de equações diferenciais⁵. Em um desses casos, Poincaré foi capaz de solucionar um problema referente à teoria das formas quadráticas ao relacionar o comportamento de um segmento de reta na geometria de Lobachevsky ao comportamento de uma circunferência que corta ortogonalmente o plano fundamental da geometria euclidiana (POINCARÉ, 1950, p. 270).

Através destas aplicações o autor não só comprovava a utilidade das geometrias não euclidianas, como também sua consistência lógica. Já em 1886 o autor afirmava que a geometria de Lobachevsky era tão verdadeira quanto à de Euclides, desde que saibamos interpretar o significado de alguns elementos teóricos básicos, como a linha reta (POINCARÉ, 1886, p. 19).

No entanto, só em 1887 que Poincaré irá publicar um artigo no qual discute as implicações filosóficas promovidas pela equivalência epistemológica das geometrias (POINCARÉ, 1956). O artigo tem como objetivo geral encontrar as proposições indemonstráveis comuns às geometrias euclidianas e não euclidianas. Tais proposições receberam diversos nomes ao longo da história, tais como hipóteses fundamentais, axiomas ou postulados. Neste artigo todos esses termos são empregados com o mesmo significado. O projeto de correção e generalização dos postulados de Euclides proposto por Poincaré parecia necessário, sobretudo visto que outras geometrias poderiam ser construídas a partir da negação de um dos seus axiomas fundamentais.

Para tal, Poincaré inicia uma crítica aos axiomas tradicionalmente elencados como tais, apontando que alguns deles não são axiomas próprios à geometria, como o postulado que estabelece a igualdade (“Duas quantidades iguais a uma terceira são iguais entre si”), axioma próprio da Análise (POINCARÉ, 1956, p. 80). Outros axiomas seriam definições, enquanto outros não são realmente indemonstráveis e, portanto, não merecem ser considerados como tais, como é o caso do axioma que estabelece a linha reta como o caminho mais curto entre

⁵ Anos mais tarde o autor irá relatar o processo criativo que o conduziu a aproximar repentinamente tais campos da matemática, evidenciando a importância do trabalho inconsciente em suas descobertas (POINCARÉ, 1908, p. 362; POINCARÉ, 1924, p. 51).

dois pontos. Por fim, outras hipóteses seriam esquecidas de serem incluídas no início dos tratados geométricos porque seu uso é implícito e os hábitos de nosso espírito nos fazem esquecer sua vital importância. Enfim, o objetivo de Poincaré era elencar, de modo estrito, todos os princípios necessários à construção das geometrias, e nessa empreitada ele não estava sozinho, afinal outros cientistas da mesma época se dedicaram a diversos projetos de axiomatização, como é o caso de Peano, Hilbert, Zermelo, Russell e Whitehead, para citar os mais conhecidos.

No intuito de comparar as três geometrias sob uma base comum, Poincaré traduz os termos das geometrias euclidianas e não euclidianas a duas dimensões em termos da geometria quadrática. Nesta interpretação, a geometria de Riemann é equivalente à geometria esférica reduzida a duas dimensões, ou em outras palavras, basta que chamemos de reta os grandes círculos de uma esfera que, então, será possível deduzir os mesmos teoremas da geometria plana. A mesma tática, então, é utilizada para a geometria de Lobachevsky. Nesse caso, basta que “reta” signifique “seções planas diametrais de uma superfície de segunda ordem” e que “circunferências” signifique “seções planas não diametrais”.

Com a criação desse dicionário, no qual cada termo adquire uma nova forma quando traduzido, Poincaré foi capaz de reduzir as geometrias euclidianas e não euclidianas a três geometrias quadráticas principais: a geometria de Riemann tornou-se a geometria da superfície elipsoidal; a de Lobachevsky a geometria de superfície hiperboloide de duas folhas; e a geometria de Euclides a geometria de superfície paraboloides elíptica.

Então, ele inicia uma análise das geometrias a partir da teoria dos grupos de Sophus Lie. Tal teoria parte do pressuposto de que cada variação de posição que uma figura pode sofrer forma um grupo. Se a posição de uma figura em um plano depende de variantes finitas para ser estabelecida, o número dessas variantes não ultrapassa oito. No caso da geometria plana, Poincaré demonstra que as figuras são passíveis de sofrerem seis tipos de variações, que podem ser agrupadas em três grupos, as chamadas dimensões espaciais. A partir desse raciocínio Poincaré conclui que um dos axiomas necessários às três geometrias quadráticas é que “a posição de uma figura plana é determinada por três condições”, sendo tais condições as coordenadas dimensionais.

Outra relevante conclusão que a teoria dos grupos auxilia Poincaré a formular diz respeito a um postulado que Euclides adotou implicitamente em suas demonstrações. Tal postulado afirma que “se uma figura plana não deixa seu plano e se dois de seus pontos permanecem imóveis, a figura inteira permanece imóvel”. Poincaré demonstra que outras geometrias quadráticas, como as de superfície hiperboloide de uma folha, podem ser

construídas tendo este axioma como base. Mas no caso das três geometrias estudadas, este axioma é necessário.

Em posse desses dois axiomas, Poincaré agrega outros dois ao rol dos axiomas necessários as três geometrias quadráticas que equivalem às geometrias euclidianas e não euclidianas. Como se trata de um estudo dos axiomas necessários à geometria plana, é necessário que se postule o plano a duas dimensões. Por fim, como demonstrado ao longo do artigo, o postulado das paralelas é o responsável pela diferenciação das geometrias, mas sua formulação tal como consta nos “Elementos” de Euclides exclui a possibilidade das outras geometrias. Portanto, a formulação proposta por Poincaré é a seguinte: “A soma dos ângulos de um triângulo é uma constante”.

Ao demonstrar que as três geometrias equivalem à aplicação da geometria quadrática a três tipos de superfície, e que os termos básicos dessas geometrias adquirem diferentes formas dependendo da superfície utilizada, sendo que os significados são traduzíveis de um sistema a outro, Poincaré deseja apontar que as geometrias são equivalentes entre si. A possibilidade de deduzir as geometrias de postulados comuns é também outro argumento a favor dessa equivalência. Além disso, a partir do estudo da teoria dos grupos, o autor conclui que a existência de um grupo de transformações não é incompatível com a existência de outros grupos, evidenciando que as verdades alcançadas pelas geometrias são compatíveis entre si. A verdade que as diferentes geometrias são capazes de alcançar é comparada à verdade que diferentes coordenadas (cartesianas ou polares) alcançam.

À geometria de Euclides na qual os axiomas pareciam naturais e evidentes, Poincaré contrapôs um cenário no qual a existência e equivalência de outras geometrias nos conduziram a questionar, dentre outras coisas, como são estabelecidos os axiomas geométricos. Em posse das ferramentas de tradução, parece que o privilégio de uma interpretação geométrica sobre outra se torna sem sentido. Afinal, qual a natureza dos axiomas geométricos?

1.1.2 Os axiomas tradicionais são definições disfarçadas

O primeiro texto no qual é possível afirmar que Poincaré utilizou a palavra convenção (*convention*) em um contexto filosófico foi publicado em 1891 pela *Revue Générale des Sciences Pures et appliquées* sob o título *Les Géométries non euclidiennes*. Este artigo tem

como objetivo principal a apresentação de argumentos a favor da validade e utilidade das geometrias não euclidianas.

No primeiro parágrafo do texto Poincaré defende a tese estabelecida por Aristóteles de que toda ciência dedutiva, em particular a geometria, necessita recorrer a axiomas fundamentais indemonstráveis, afinal a recorrência infinita é impossível. Tomado esse ponto de partida, o autor prossegue sua argumentação. Supostamente, alguns cientistas poderiam duvidar da consistência das novas geometrias pelo fato de que as deduções até então extraídas não haviam conduzido a nenhuma contradição. O fato circunstancial de que contradições não haviam sido detectadas até então não implicava uma certeza sobre o conjunto de todas as consequências que poderiam ser extraídas. Por mais que no artigo anterior Poincaré tenha provado a consistência das geometrias não euclidianas ao reduzi-las às geometrias quadráticas, um ramo da geometria plana, tal prova referia-se estritamente às geometrias traduzidas a duas dimensões, o que não implicava que elas permaneceriam consistentes em suas três dimensões originais.

Visando, portanto, provar a consistência das geometrias não euclidianas a três dimensões, Poincaré recorreu novamente ao argumento do dicionário de termos. Desta vez, o dicionário apresenta termos da geometria euclidiana de um lado e termos da geometria de Lobachevsky do outro, “[...] como se correspondem, nos dicionários comuns, palavras de duas línguas cuja significação é a mesma [...]” (POINCARÉ, 1891a, p. 771; POINCARÉ, 1984, p. 49). Adotando essa estratégia, o autor deseja comparar as geometrias às diferentes línguas do mundo que, apesar de adotarem um conjunto de signos diferentes, tem o mesmo poder de expressar os fatos do cotidiano. Dessa forma, teoremas de uma geometria poderiam ser traduzidos nos teoremas da outra e vice-versa, provando que a geometria de Lobachevsky é tão consistente quanto à de Euclides. Mas como é possível que a partir dos mesmos axiomas – a exceção do postulado das paralelas – geometrias que possuam comportamentos tão distintos sejam deduzidas?

Na visão do autor, os axiomas da geometria são algo além daquilo que é estritamente enunciado; eles possuem aquilo que ele apelidou de axiomas implícitos. Por exemplo, na geometria de Euclides, ao se declarar a igualdade de duas figuras, imagina-se que é possível deslocar uma figura fazendo-a coincidir com outra. O que esse movimento admite implicitamente é que é possível executá-lo sem nenhuma deformação das figuras. Essa suposição pode nos parecer óbvia, mas não seria se vivêssemos em um mundo em que os objetos se comportam como fluidos. A proposição nos parece evidente exatamente porque vivemos em um mundo no qual o movimento invariável capturado pela geometria euclidiana

é muito próximo dos movimentos dos objetos reais com os quais estamos habituados. Da mesma forma, a noção da linha reta euclidiana nos soa tão intuitiva e indubitável. Mas, ao invés de estarmos apenas utilizando a noção evidente de linha reta, o que estamos de fato fazendo é *definindo* aquilo que chamamos de linha reta. Nossa definição, obviamente, depende da suposição de que tal movimento invariável é possível e, como apontado anteriormente, tal possibilidade não é óbvia em si.

O argumento das definições disfarçadas favorece a visão convencionalista acerca dos axiomas geométricos, pois chama atenção para o fato de que muitos axiomas não simplesmente descrevem um fato evidente acerca do espaço, mas pelo contrário, *definem* o que são e como devem se comportar certos elementos geométricos. Ao tomarmos consciência da existência de outras geometrias, notamos que aquilo que considerávamos evidente e óbvio é, na verdade, um ato de costume e que outras definições são possíveis. Dada a possibilidade e validade de outras definições, a utilização de uma geometria ou outra deixa de ser uma questão acerca da escolha da verdadeira ciência do espaço e torna-se uma questão sobre qual geometria adota a definição de linha reta com a qual estamos mais habituados. Torna-se, portanto, uma questão de conveniência.

Com isso, Poincaré nos revela que a determinação dos axiomas é uma determinação convencional. Considerando a legitimidade das novas geometrias e, portanto, a existência de diversas possibilidades de axiomas que podem ser adotados, o autor conclui que a geometria depende da escolha dos axiomas fundamentais. Tal escolha deve levar em conta que nenhuma geometria é mais verdadeira que outra e que, portanto, escolheremos os axiomas que nos parecem mais cómodos.

1.2 Le Roy e as convenções geométricas como criações do espírito

O primeiro artigo de Le Roy a discutir a função das convenções nas ciências e, em particular na geometria, é também seu primeiro artigo de caráter científico-filosófico. O artigo em questão foi publicado em 1894 na *Revue de Métaphysique et Morale* sob o título *Sur la méthode mathématique* e assinado em cooperação com Georges Vincent, seu companheiro de estudos na *École Normale Supérieure*. Não é a toa que Le Roy aborda um tema já estudado por Poincaré, considerado a primeira inspiração para a elaboração de seus próprios trabalhos

(LE ROY, 1949, p. 398). Dessa forma, podemos afirmar que o trabalho de Le Roy se apoia inicialmente sobre as conclusões alcançadas por Poincaré.

Le Roy inicia sua argumentação a partir de uma perspectiva tradicional. Em sua opinião, a matemática é o resultado criativo da razão pura, enquanto a geometria é o resultado dessa razão agindo sobre os dados da experiência. Dessa forma, o autor considera a geometria como matemática aplicada às quantidades sensíveis. Geometria não estuda a extensão em si, mas suas leis de limitação; é a ciência dos fenômenos extensos, a ciência das aparências sensíveis nas quais se manifestam a nós uma das propriedades desconhecidas da matéria.

Segundo o autor, o espírito possui um poder criativo que permite escolher livremente e compor a seu prazer os conceitos analíticos. Porém, as noções fundamentais da geometria, como as noções de espaço e movimento, encontram-se fora do domínio da razão pura, pois são formas da nossa percepção. Essas noções, complexos confusos oferecidos em bloco pela percepção, são a matéria prima informe e indeterminada da geometria. Seu conteúdo é desconhecido tanto por cientistas quanto por filósofos. Dessa maneira, a razão toma de fora os materiais necessários à construção na qual medita, mas, uma vez adquiridos, eles não configuram obstáculos à liberdade criativa, permitindo que o geômetra os disponha à sua vontade.

Le Roy considera que um objeto geométrico, em sua origem, é um objeto físico que foi definido através de uma imagem mental. O papel do geômetra concentra-se em retirar dessas imagens mentais sua função lógica. Através da eliminação de características sensíveis insignificantes e considerando apenas as propriedades necessárias à solidez dos raciocínios, ele produz a definição das noções geométricas fundamentais. Esse processo de dissociação a fatores úteis possui um limite e os seres particulares resultantes deste procedimento estão em menor número do que podemos imaginar.

Utilizemos um exemplo oferecido por Le Roy com o intuito de clarificar seu próprio pensamento. Segundo o autor, a adoção de um postulado, como o axioma das paralelas, envolve três atos sucessivos que podem ser logicamente resumidos da seguinte maneira: primeiro, define-se livremente um conceito que seja destituído de qualquer acidente e que possua uma função lógica, no caso, a função lógica da paralela. Em seguida, como a definição anterior é livre e demasiadamente vaga, é necessário que se postule, através de uma convenção, uma hipótese restritiva que limite o conceito anteriormente definido. Em outras palavras, a definição da paralela não conduz necessariamente à conclusão que somente uma paralela pode ser traçada a uma reta dada, vide a existência de outras geometrias que negam exatamente essa possibilidade. Uma convenção deve ser acrescentada à definição anterior,

postulando uma hipótese arbitrária do ponto de vista lógico, mas necessária do ponto de vista da utilidade. Por fim, a intuição oferece uma notação gráfica que representará o ato lógico definido e postulado anteriormente.

Por essas razões, Le Roy vê os postulados geométricos, em sua função lógica, como convenções livres, ou seja, hipóteses que não possuem nada de necessário, mas que nos agradam, pois cessam a ação criativa do nosso espírito. Os axiomas são descrições de certas intuições primordiais, cuja origem não é racional, mas na qual a razão se apodera para entrar em relação com o mundo exterior. Em um segundo ponto de vista, os postulados são regras que fixam a gramática da linguagem da percepção. A geometria aparece, então, como tradução de um sistema de fatos analíticos relativos aos fenômenos externos. Enquanto o primeiro ponto de vista garante seu caráter rigoroso, o segundo confere um sentido físico.

Não é a toa que a geometria oferece essa aparência de rigor. Isso advém do fato que seus princípios foram reduzidos ao menor número possível e, além disso, “[...] a data de formação definitiva e, por assim dizer, a idade dos conceitos [...]” (LE ROY; VINCENT, 1894, p. 685) é responsável por sua reputação de verdade absoluta. Para Le Roy, a geometria só é vista como mais exata e certa que a física porque a primeira destas ciências está em voga a mais tempo.

Por mais que este artigo trate também dos fundamentos da física, preferimos interromper nossa análise já que aparentemente o objetivo traçado no início desta subseção tenha sido suficientemente exposto, ou seja, que tenhamos demonstrado que na opinião de Le Roy as convenções são partes constitutivas dos postulados geométricos porque elas cumprem o papel de interromper a atividade criativa do espírito, determinando um ponto de partida e conferindo rigor ao raciocínio geométrico. As reflexões deste autor acerca dos fundamentos da física parecem terem sido mais bem desenvolvidas num artigo posterior de 1899 intitulado *Science et philosophie*, e por essa razão este será o próximo texto que abordaremos deste autor.

1.3 Conclusões sobre a natureza das convenções geométricas

A solução encontrada por Poincaré diante do abalo provocado pelo surgimento das geometrias não euclidianas foi considerar os axiomas da geometria, tais como o axioma das paralelas, convenções. Se essas geometrias são tão legítimas quanto à de Euclides, torna-se

urgente analisar a natureza dos axiomas que até então eram considerados, segundo a tradição kantiana, como juízos sintéticos *a priori*, ou seja, condições de possibilidade do conhecimento.

A argumentação de Poincaré é relativamente simples. Primeiro ele prova a consistência lógica das novas geometrias através da construção de um dicionário que relaciona termo a termo os teoremas da antiga e da nova geometria. Como Poincaré considerava a geometria uma ciência exata e, logo, não experimental, a prova da consistência lógica das novas geometrias é considerada suficiente para dar direito de existência matemática a elas. Portanto, se as geometrias não euclidianas são tão logicamente consistentes quanto à geometria tradicional, elas merecem o mesmo status matemático e podem, enfim, serem consideradas existentes e legítimas.

A prova da existência das geometrias não euclidianas é a mesma prova que Poincaré utiliza para refutar a tese de que os axiomas são juízos sintéticos *a priori*, ou mesmo juízos analíticos. Se sua natureza fosse sintética *a priori* ou analítica seria impossível a existência das geometrias não euclidianas, pois elas surgem justamente da negação de um dos axiomas euclidianos. Como elas existem, o autor considera ser prova suficiente que os axiomas são de uma natureza diversa. Para reforçar sua posição, Poincaré apresenta aquilo que ele considera um verdadeiro juízo sintético *a priori*: se um teorema é verdadeiro para 1 e se demonstramos que ele é verdadeiro para $n+1$, desde que seja também para n , ele será verdadeiro para todos os números inteiros positivos. Por fim ele ressalta que seria impossível fundar uma aritmética baseada na negação de tal juízo.

Nega, também, que os axiomas sejam verdades experimentais, juízos sintéticos *a posteriori*. Essa foi, por exemplo, a posição adotada por Bertrand Russell que se envolveu em uma polêmica denominada pela historiografia como o “debate Russell-Poincaré” (*Russell-Poincaré debate*). A polêmica foi travada através de revistas acadêmicas (RUSSELL 1898; POINCARÉ 1899a; RUSSELL 1899; POINCARÉ 1900a; RUSSELL 1905; POINCARÉ 1906; RUSSELL 1906) partindo da discussão acerca da natureza dos axiomas geométricos, mas generalizando-se a uma crítica sobre os fundamentos da matemática. Como apontado por Gross (1974, p. 39), Russell veio eventualmente a abandonar a defesa da geometria euclidiana como experimentalmente estabelecida por se dar conta da impossibilidade de um *experimentum crucis* que prove a real natureza do espaço.

Os argumentos utilizados por Poincaré para convencê-lo visavam demonstrar que a geometria não lida com objetos materiais, mas com uma idealização desses objetos. O que ela herda da experiência é somente a propriedade dos corpos sólidos. Além disso, Poincaré chama

atenção para o fato de que se a geometria fosse baseada em fatos experimentais, ela seria uma ciência que estaria em constante revisão, perdendo, assim, sua exatidão. Além disso, tal geometria seria falha, pois não há no mundo nenhum sólido que seja rigorosamente invariável. Se os homens tivessem acesso somente a “experiências euclidianas” e se essas experiências determinassem a criação da geometria, não seria possível sequer imaginar a possibilidade de outras geometrias que não a euclidiana.

Para Poincaré a experiência não determina a geometria, ela simplesmente a sugere. O cientista é capaz, apesar dos conselhos da experiência, de fundar outra geometria. Nesse aspecto, o cientista age como um monarca esclarecido: houve os conselhos de sua corte, mas permanece soberano para decretar o que deseja. Como há possibilidade de adotar diferentes axiomas, Poincaré deduz que uma geometria é determinada a partir da *escolha* dos axiomas que o geômetra julga conveniente: “Nossa escolha, entre todas as convenções possíveis, é *guiada* por fatos experimentais; mas ela permanece *livre* e só é limitada pela necessidade de evitar qualquer contradição.” (POINCARÉ, 1984, p. 54, grifo do autor). Como dito anteriormente, para que esses objetos matemáticos existam, basta que sua adoção não incorra em absurdo.

Por se tratar de uma escolha *guiada* por fatos experimentais, ao invés de *determinada* por eles, é possível afirmar que os postulados permanecerão válidos mesmo que uma experiência com objetos reais nos mostre que eles não se comportam exatamente como os objetos geométricos. Dessa maneira, o autor considera a geometria como uma ciência essencialmente dedutiva e matemática. A experiência, em um primeiro momento, sugeriu que a adoção de certos axiomas seria cômoda devido às semelhanças entre a propriedade dos objetos geométricos e as propriedades dos corpos sólidos, da propagação da luz, da constituição dos nossos órgãos de percepção e do nosso corpo. Mas apesar dessa semelhança, os objetos com os quais a geometria lida são diferentes dos corpos sólidos; eles são entidades matemáticas.

Analisando o conjunto da argumentação de Poincaré a respeito dos axiomas geométricos, é possível identificar uma batalha em duas frentes: na primeira frente ele busca defender a posição de que os axiomas não são determinados pela razão, seja através da imposição dos juízos analíticos ou por uma forma imposta ao nosso conhecimento; na segunda frente ele defende a posição de que os axiomas não são determinados pela experiência. Entre a tensão dessas duas batalhas Poincaré busca a criação de uma terceira via epistemológica, como apontado por Pulte (2000, p. 51/52). Essa via abre espaço entre os limites que antes pensávamos serem impostos, oferecendo maior liberdade para o cientista.

Uma crítica exemplar que caracteriza essa atitude “libertária” é aquela dirigida aos axiomas implícitos, também denominados “definições disfarçadas”. O uso desses termos se explica porque muitos axiomas da geometria assumem de forma implícita a maneira como os elementos básicos (linha reta, plano, figura, etc) se movimentam e comportam. Sua adoção é reflexo do hábito e não a expressão de uma necessidade, seja experimental ou racional. Ao tornarmos consciência desses axiomas implícitos e percebermos que ao invés de serem impostos eles são *escolhidos*, a ciência pode, enfim, libertar-se e abrir caminho para o desenvolvimento de novos conhecimentos. As convenções revelam, em certa medida, o papel ativo que as escolhas dos cientistas exercem na construção da ciência.

Se a liberdade do cientista no estabelecimento dos axiomas é uma vantagem do ponto de vista de Poincaré, para Le Roy ela é sinal de fraqueza do conhecimento adquirido. A necessidade de intervenção do cientista para que a ciência prossiga é, para este último, uma evidência de que o conhecimento é relativo e contingente. Se a ciência buscasse a verdade no sentido próprio da palavra, não seria absurdo imaginar que diante de um impasse os geômetras poderiam deixar a questão em aberto, esperando uma evidência que a própria natureza nos revelaria eventualmente. Mas esse impasse, por envolver os próprios fundamentos, impede o desenvolvimento científico. A convenção, então, é estabelecida não por uma necessidade urgida da natureza, mas pelo imperativo da ação.

De acordo com a interpretação de Le Roy, a experiência oferece os dados com os quais o geômetra irá trabalhar e, nessa etapa, não é possível que ele intervenha. Porém, uma vez adquirido esses dados, o cientista possui a liberdade de organiza-los da maneira que quiser. Essa liberdade é resultado do poder criativo do espírito, capaz de imaginar inúmeras possibilidades e pontos de vista sobre um mesmo objeto. As convenções, portanto, possuem a função de cessar essa atividade criativa do espírito em vista da prática e, por essa razão, elas são vistas como cômodas. O estabelecimento dessas convenções, apesar de ser orientado por critérios de coerência interna, respondem, em última instância, a uma necessidade de agir e não às exigências de um conhecimento profundo da realidade. Nesse sentido as convenções se aproximam das necessidades do senso comum, estabelecendo aquilo que Le Roy chama de “gramática da linguagem da percepção”.

Duhem, pelo que pesquisamos, não publicou nenhum artigo no qual discute de forma relativamente extensa os fundamentos da geometria. Na verdade, o único artigo no qual é possível identificarmos de forma evidente uma discussão relacionada à filosofia da matemática foi publicado em 1912 (DUHEM, 1912) como uma crítica ao primeiro capítulo do livro “A ciência e a hipótese” de Poincaré, tratando sobre a natureza do raciocínio matemático

(ARIEW; BARKER, 1996, p. 222). Tal crítica, infelizmente, não obteve resposta já que o destinatário veio a falecer no mesmo ano. Dessa maneira, as opiniões de Duhem acerca da geometria são escassas e dispersas.

Esse autor chegou a expressar em algumas raras oportunidades seu apreço e confiança na geometria euclidiana. As primeiras publicações, no entanto, não fazem distinção entre geometria euclidiana e não euclidiana. É bastante provável que essa falta de distinção nos primeiros textos seja justificada pela falta de conhecimento profundo das novas teorias por parte do autor. Apesar de ter tido uma sólida formação matemática no colégio Stanislas e, posteriormente, no curso de física da *École Normale Supérieure*, é bastante provável que as novas geometrias não tenham sido lecionadas em nenhuma dessas instituições. Em física, área de formação de Duhem, as geometrias não euclidianas só foram receber grande atenção anos depois, através da interpretação da teoria da relatividade especial de Einstein formulada por Minkowski. É também sabido que a França careceu de publicações relacionadas ao assunto entre os anos de 1870 e 1890 (VOELKE, 2005, p. 277), exatamente durante os anos de formação do autor analisado.

Suas primeiras publicações provavelmente refletem o otimismo com o qual a comunidade havia tratado a geometria de Euclides antes que ela fosse desafiada pelas formulações de Lobachevsky, Riemann, etc. Em um desses textos ele afirma, por exemplo, que em geometria só há uma única boa definição de um dado conceito, como o de ângulo reto (DUHEM, 1989, p. 16). Em outro ele diz que as definições de ângulo reto e perpendicular não possuem nenhuma ambiguidade e que se elas fossem negadas a geometria seria conduzida à contradição (DUHEM, 1892a, p. 398-399). Ambas as afirmações foram feitas num contexto de diferenciação entre as teorias físicas e as teorias matemáticas. Para ele, as teorias matemáticas admitem apenas uma definição possível de um conceito, enquanto as teorias físicas admitem uma infinidade de definições. Como vimos, a posição de Poincaré e Le Roy caminha na direção oposta, admitindo a possibilidade de diferentes definições na geometria.

Já em 1915, no livro *La science allemande*, há uma ligeira mudança de postura. Duhem parece admitir a legitimidade lógica da geometria de Riemann, bem como as diferentes definições que traz consigo. Porém, analisando o método pelo qual essas definições são estabelecidas, ele considera que o resultado adquirido é uma espécie de geometria artificial, sem contato com as noções comuns oferecidas por nossa intuição, como a noção de espaço. A geometria de Riemann, em sua visão, aceitaria somente noções que fossem definidas de uma maneira estritamente algébrica. Porém, a noção de espaço, por pertencer ao senso comum, é uma noção incapaz de ser definida de modo rigoroso. Por mais que a nova

geometria ganhe em rigor com a definição que produz, ela perderia em certeza, pois o senso comum é considerado pelo autor um importante critério capaz de determinar o vínculo das criações teóricas com a realidade.

Devido à escassez de informações oferecidas pelo autor, não é possível chegarmos a uma conclusão determinante a respeito de sua posição em relação aos fundamentos das diferentes geometrias. Aparentemente, Duhem acredita que as noções fundamentais com as quais a geometria trabalha deveriam ser oferecidas exclusivamente pelo senso comum e não por um processo algébrico que busque somente o rigor. Se este último método for perseguido, o geômetra parece perder o solo firme que norteia seu raciocínio, produzindo uma geometria a partir de postulados estabelecidos arbitrariamente (DUHEM, 1915, p. 138). Essa crítica não se restringiu à geometria de Riemann, estendendo-se também à física da relatividade de Einstein. As críticas, no entanto, permaneceram as mesmas. Segundo Duhem, estas ciências não lidavam com as noções comuns de tempo, espaço e movimento que todas as pessoas são capazes de conceber claramente, mas com suas próprias noções fabricadas.

Apesar de essas críticas estarem sendo dirigidas diretamente à ciência alemã, fato que pode ser justificado pela Primeira Guerra Mundial (ARIEW; BARKER, 1996, p. 251), é possível imaginar que elas também poderiam ser dirigidas à Poincaré. Afinal, esse último teve sua parcela de contribuição no desenvolvimento das geometrias não euclidianas e da teoria da relatividade. No entanto, não seria cortês, patriótico ou mesmo inteligente pôr o matemático na mira de suas críticas. Poincaré havia falecido alguns anos antes e o sobrenome, no momento em que o artigo foi publicado, estava associado ao presidente da França que liderava a guerra contra Alemanha. Além disso, como bem relatado por Rollet (2015), Poincaré foi tratado como herói nacional no período que sucedeu sua morte, tornando-se objeto de culto patriótico e militar.

2 O PAPEL DAS CONVENÇÕES E HIPÓTESES NAS CIÊNCIAS NATURAIS

Neste capítulo analisaremos a relevância das “convenções” e “hipóteses” para as ciências naturais. Por mais que tais conceitos estejam bastante próximos, parece que alguns autores promovem sutis distinções entre eles, assim como suas devidas funções dependendo do ramo da ciência natural da qual participam. Por essa razão, pretendemos apresentar a(s) postura(s) de cada autor, assim como as diferenças que possuem entre si. Nossos esforços serão dirigidos a demonstrar que as hipóteses e convenções, portanto, são relevantes aos fundamentos das ciências naturais, em particular à física, assim como as convenções são importantes às geometrias, tal como nas opiniões já apresentadas de Poincaré e Le Roy.

Duhem, num artigo que pode ser considerado o esboço de sua mais importante obra, *La théorie physique*, estabelece quatro momentos constitutivos da teoria física. O primeiro seria a definição de grandezas, no qual o papel da convenção é primordial, e o segundo é a escolha das hipóteses. Através da simples apresentação desse esquema já é possível notarmos a vital importância desses dois conceitos para sua obra. Porém, não nos contentaremos apenas com tal constatação geral e buscaremos mostrar detalhadamente o papel e função desses conceitos na estrutura teórica da física e da química.

Mostraremos que para Duhem as convenções são necessárias porque elas estabelecem uma relação simbólica entre a realidade e a teoria ou, mais precisamente, entre as grandezas físicas e sua correspondente magnitude. No entanto, devido há multiplicidade de maneiras pelas quais essas convenções podem ser estabelecidas, o autor irá propor, naquilo que a historiografia caracterizará como uma primeira fase “indutivista”, uma redução das convenções ao mínimo possível. Nosso papel será descrever como o autor foi conduzido a este diagnóstico, assim como a viabilidade de seu projeto reducionista.

As hipóteses, seguindo a mesma lógica indutivista, deveriam ser deduzidas das leis físicas indubitavelmente estabelecidas com o auxílio do senso comum. Elas estabelecerão uma relação matemática entre as magnitudes definidas anteriormente, mas essa relação, novamente, é estabelecida livremente. Dessa maneira, e apoiado sobre uma crítica às teorias mecanicistas, Duhem irá propor que as hipóteses físicas devem perseguir um ideal teórico que seria mais bem expresso através de proposições simbólicas e abstratas, destituídas de qualquer significação metafísica.

A análise de Poincaré concentrou-se em dois campos físicos: a mecânica e termodinâmica de um lado e as demais teorias físicas, como a eletrodinâmica, de outro. Para

ele, as leis da mecânica e da termodinâmica, confirmadas aproximadamente em casos particulares, ensejam a criação de seus princípios que, por convenção, assumem generalidade e precisão. Apesar de terem uma origem experimental, uma vez transformada em princípios as teorias não devem temer revisões futuras, pois assumem uma flexibilidade capaz de resistir a qualquer experimento. Nosso papel será analisar como essas convenções são instituídas e como é possível tal proteção diante de testes experimentais.

Na análise das demais teorias físicas Poincaré irá concentrar sua análise na importância de um conjunto de hipóteses que, justamente por serem indispensáveis, recebem especial atenção, sendo, inclusive, classificados de acordo com suas origens e funções. Desse estudo, as hipóteses classificadas como indiferentes estarão no foco de nossa análise, afinal julgamos que, ao contrário do que o adjetivo sugere, tais hipóteses são tão relevantes que chegam mesmo a determinar a impossibilidade do estudo de um fenômeno a partir de determinada perspectiva, como, por exemplo, a perspectiva mecanicista.

Finalmente, apresentaremos as consequências filosóficas que Le Roy retira das conclusões dos autores até então analisados. Atento às produções filosóficas dos cientistas de sua época, Le Roy parece generalizar a importância dada às convenções, considerando que sua influência, restrita aos princípios, irradia ao conjunto teórico, determinando a natureza dos fatos, das leis e até da teoria. Para ele, o conjunto da ciência é convencional, e uma das importantes razões disso advém do fato que a ciência, conduzida pelo senso comum, visa atender às necessidades industriais, deixando de lado a sede de conhecimento puro. Com isso, Le Roy não pretende negar valor ao conhecimento científico, mas reavaliar esse valor, aproximando-o de um conhecimento relativo e subjetivo que não visa à construção de um conhecimento profundo das causas, mas apenas um útil guia para a prática. Descreveremos, portanto, passo a passo o processo que o conduziu a estas conclusões.

2.1 Duhem e o período indutivista

2.1.1 Convenções e hipóteses na teoria física

Em 1892 foi a vez de Pierre Duhem escrever seus primeiros artigos de abordagem científico-filosófica no qual discute o papel das convenções. O primeiro destes artigos,

intitulado *Quelques réflexions au sujet des théories physiques* e publicado na *Revue des questions scientifiques*, constitui uma análise de Duhem acerca da natureza das teorias físicas, seus objetivos e limites, assim como as etapas de sua formação e como futuras transformações podem ocorrer. Especial atenção é dada ao mecanicismo na parte em que se discutem as transformações pelas quais as teorias físicas estavam passando à época, bem como à defesa da separação entre metafísica e física. Através de um olhar retrospectivo é possível interpretarmos tal artigo como um primeiro esboço da grande obra de Duhem *La théorie physique: son objet, et sa structure* a ser publicada na íntegra em 1906, mesmo que algumas de suas posições tenham se modificado.

A respeito das convenções, Duhem defende que elas possuem relevância na fase inicial de formação das teorias físicas, quando as noções físicas são relacionadas a uma grandeza. Segundo Duhem, cada noção física possui um número bem limitado de propriedades fundamentais. O autor não explicita como tais propriedades são adquiridas, porém, podemos assumir que ele considera que tais propriedades são imediatamente notadas através do nosso contato com diversas manifestações do mesmo fenômeno. A grandeza que pretende representar certa noção física deve possuir características que reflitam as propriedades fundamentais desta última. Mas, além dessas características, a grandeza pode possuir outras que não sejam àquelas imediatamente retiradas da experiência, como aquelas a respeito da constituição da matéria.

Então, Duhem oferece um exemplo retirado da teoria física que pretende lidar com o fenômeno do calor. Segundo o autor, nossa noção de calor possui algumas propriedades básicas, como a capacidade de ser comparada. Em outras palavras, ela nos permite determinar se um corpo é mais quente que outro ou até se uma parte de um corpo é tão quente quanto outra parte. Porém, essa noção não nos permite *medir* o calor; não sabemos se a quantidade de calor do corpo A é igual à quantidade de calor do corpo B somada à quantidade de calor do corpo C. A noção de calor é qualitativa e, portanto, não possui a propriedade aditiva, não é redutível a uma grandeza.

Para solucionar tal problema, o cientista escolhe uma grandeza na qual suas propriedades matemáticas mais simples representarão as propriedades do calor; essa grandeza é chamada *temperatura* (DUHEM, 1989, p. 15). Entre calor e temperatura não existe nenhuma relação *natural*. O calor pode nos ser agradável ou desagradável, esquentar ou queimar, enquanto que a temperatura é passível de ser multiplicada ou dividida por um número, afinal, é uma grandeza. A temperatura possui apenas uma relação *simbólica* com o

calor. Essa relação é uma convenção, tal como em um dicionário, onde cada nome corresponde a um objeto.

É necessário notarmos que Duhem utiliza o termo “grandeza” em um sentido diferente do que atualmente o compreendemos. “Grandeza” geralmente é definida como uma magnitude acompanhada por seu respectivo sistema de medida. Duhem, porém, utiliza grandeza em um sentido *lato*, significando, além disso, todas as formulações que uma grandeza pode adotar. Dessa maneira, quando o autor afirma que uma noção física pode ser relacionada a diferentes grandezas ele não está apenas referindo-se às diferentes escalas de medida na qual uma noção física pode ser medida, mas também às diversas convenções que podem ser agregadas à definição das grandezas. Nesse sentido, as convenções podem, inclusive, ditar sobre a própria natureza do calor; como na teoria cinética, por exemplo, que supõe o calor como o resultado de choques incessantes de partículas.

Na fase posterior de elaboração das teorias físicas os cientistas escolhem as hipóteses que funcionarão como princípios. Tais hipóteses irão estabelecer relações entre as grandezas definidas no passo anterior e, em consequência, pretende-se deduzir o conjunto das leis experimentais que a teoria propõe-se representar. Se as leis deduzidas não estiverem de acordo com os experimentos que pretendem prever, a teoria deve ser modificada.

Dentre os métodos pelos quais uma teoria pode ser construída, Duhem considera inviável aquele que pretende livrar-se do uso de hipóteses. Uma teoria física sem hipóteses é impossível porque o material com o qual os cientistas trabalham se restringe aos fenômenos perceptíveis, sendo que suas causas permanecem ocultas. Como diversas combinações de hipóteses podem dar conta da classificação de um mesmo conjunto de leis naturais, o cientista nunca pode estar certo de que seus princípios são os mesmos daquela teoria ideal que classificaria perfeitamente as leis da natureza. No entanto, suas hipóteses podem se aproximar desse ideal de representação sem, contudo, nunca substituí-las.

Algumas vezes, para que os cientistas aproximem-se desse ideal, é necessário operar mudanças profundas na teoria. O autor, então, analisa como ocorrem tais mudanças. Elas ocorrerem devido à alteração das definições apresentadas no princípio de toda teoria. Como a teoria física funciona como um encadeamento lógico de diferentes elementos teóricos, a alteração de um elemento teórico no princípio acarretará uma alteração de todas as etapas teóricas até seu fim. A mudança das convenções provocará uma mudança das hipóteses e, logo, de suas expressões matemáticas. Mas essa mudança pode ser meramente formal caso as convenções previamente estabelecidas sejam traduzidas por meio de diferentes magnitudes que mantenham o significado original da noção física que representa. Cito:

[...] uma mesma hipótese em dois sistemas de símbolos diferentes não constituem duas hipóteses distintas, assim como os enunciados de uma mesma proposição em francês, em latim e em grego não constituem três proposições diferentes (DUHEM, 1989, p. 22).

Portanto, podemos concluir que Duhem acredita que as mudanças profundas de uma teoria dependem das diferentes convenções que compõem uma definição, desde que essas diferenças não sejam apenas formais. Como todas as hipóteses resultam de uma transformação imposta pelos cientistas às leis experimentais, as hipóteses serão tão variadas quanto as possíveis transformações que os cientistas podem impor.

Na próxima parte do artigo o autor dedica-se a combater as teorias físicas baseadas em definições mecanicistas. Tais teorias estariam infringindo os limites impostos à teoria física ao se colocarem como uma explicação dos fenômenos e oferecerem formulações acerca da natureza última dos mesmos. Segundo essa visão, a natureza seria essencialmente material. A partir dessa posição outras escolas surgem, divergindo, entre outras coisas, acerca da constituição contínua ou descontínua da matéria. De acordo com Duhem, essa concepção estaria unindo física e metafísica, confundindo os limites impostos a cada uma dessas áreas.

Duhem propõe que a solução para tal problema seria a aproximação das definições e hipóteses a uma teoria ideal na qual esses elementos seriam a fiel representação das leis experimentais. Em outras palavras, os cientistas deveriam deduzir as definições e hipóteses apenas das leis experimentais das quais a teoria pretende representar. Duhem admite que tal empreitada seja fadada ao fracasso, afinal toda teoria física se baseia em hipóteses que não são a adequada tradução das leis experimentais. Porém, disto não se deve concluir que uma teoria não possa ser aperfeiçoada, aproximando-se, portanto, do ideal apregoadado.

A convenção surge uma segunda vez no artigo. Dessa vez em uma conotação mais geral do que a anteriormente utilizada. Antes a convenção apenas coordenava uma noção física a uma grandeza, mas agora ela se refere às proposições representativas que são arbitrariamente escolhidas e, como as convenções a respeito da natureza da matéria, carregam consigo os pressupostos metafísicos defendidos por cada escola de pensamento. Cito:

[...] Ora, entre as hipóteses sobre as quais repousa uma teoria mecânica, há um grande número que não tem a experiência por origem e que resulta somente de exigentes **convenções** arbitrariamente colocadas pelo físico (DUHEM, 1989, p. 24, nosso grifo).

O que podemos concluir do uso que Duhem faz das convenções é que elas intervêm exatamente em situações nas quais existe uma grande margem de indeterminação, permitindo o estabelecimento não só das convenções necessárias, mas de outras de caráter supérfluo. De qualquer modo, através de nossa análise compreendemos que Duhem considera as convenções indispensáveis, em particular na fase inicial de definição das grandezas, afinal elas estabelecem uma relação representativa entre a realidade e a teoria, oferecendo um símbolo com o qual a teoria pode manipular.

Neste mesmo cenário de indeterminação, as hipóteses também surgem como elementos teóricos indispensáveis. Elas são o vínculo lógico entre os princípios das teorias e as leis naturais. No diagnóstico de Duhem, alguns cientistas abusam dessa indeterminação, imputando hipóteses dispensáveis à descrição dos fenômenos e extrapolando os limites da ciência. Por mais que o autor condene a utilização dessas hipóteses específicas, ele permanece convicto de que a teoria física não pode ser estabelecida sem a utilização de hipóteses.

2.1.2 Convenções na química e hipóteses atomísticas

No mesmo número da revista do artigo acima analisado, Duhem publicou outro texto intitulado *Notation atomique et hypothèses atomistiques*, no qual o termo “convenção” volta a ser mencionado. Esse texto procura reforçar algumas teses recém-defendidas em *Quelques réflexions au sujet des théories physiques* através da apresentação de exemplos encontrados na química. A teoria por detrás das notações atômicas, por exemplo, é comparada ao processo de formação das teorias físicas tal como exposto no artigo anterior. Por fim, as hipóteses atomísticas que estavam sendo utilizadas em química sofrem a crítica de Duhem por supostamente infringirem a tese da independência da ciência em relação à metafísica.

Duhem inicia o artigo dissertando sobre os pesos dos diversos elementos que compõem uma combinação. Segundo o autor, os pesos dos elementos em cada combinação obedecem a uma lei experimental que estabelece relações absolutamente fixas entre os elementos. Tal lei, que ele denomina “lei de proporções definidas”, funciona como um livro de receitas, enumerando as quantidades e proporções de elementos básicos para obter determinados compostos. Porém, como o número de compostos é bastante grande, assim como a possibilidade de combinações, tal lei exige demais de nossa memória.

Para auxiliar nossa memória, os cientistas fazem corresponder um número a cada corpo simples, o chamado número proporcional. Além disso, fazem corresponder cada corpo simples a uma letra, como por exemplo, a letra “O” ao oxigênio. Agora que cada letra corresponde a um corpo simples e seu número proporcional, é possível descrevermos o composto químico através de uma fórmula. A lei de proporções definidas estará presente na fórmula através da relação dos números proporcionais de cada elemento entre si, ou então pela multiplicação desses números proporcionais por um número inteiro simples que será incluído na fórmula.

Se, por exemplo, escolhermos 1 como o número proporcional do hidrogênio (designado pela letra “H”) e 16 como o número proporcional do oxigênio (O), a fórmula H^2O estará representando uma proporção de oito partes de oxigênio para cada parte de hidrogênio. Isso porque a relação entre o número proporcional do oxigênio (16) com o dobro do número proporcional do hidrogênio (2×1) equivale a uma proporção de oito para um, que segundo a lei de proporções definidas corresponde ao composto denominado “água”. Importante notar que Duhem considera as “receitas” condensadas pela lei de proporções definidas como os únicos dados experimentais da teoria. Ele provavelmente considerava que tais “receitas” eram os dados positivos, sendo o resto da teoria o resultado de uma generalização que não teria o mesmo grau de certeza dos dados nos quais originalmente se baseiam.

A conclusão que podemos retirar do contexto do artigo é que Duhem considera que o número proporcional de cada elemento químico funciona como uma magnitude. Essa magnitude fará parte da grandeza que o teórico pretende construir para representar a relação de pesos expressa pela lei de proporções definidas. Julgamos que a grandeza que o químico pretende construir tem como símbolo a fórmula química. Dessa maneira, a análise que Duhem opera sobre as notações atômicas pode ser comparada a análise acerca da temperatura feita no artigo anterior.

Duhem, então, descreve o caráter arbitrário que a fórmula química adquire. Afinal, a um mesmo composto é possível fazer corresponder muitas fórmulas diferentes. Por exemplo, se multiplicarmos os pesos equivalentes de cada corpo por um mesmo número inteiro, é possível respeitar a proporção contida na lei e mesmo assim obter fórmulas diferentes entre si. Usando o mesmo exemplo encontrado acima, relativo à fórmula química da água, poderíamos representá-la tanto por H^2O , como por H^4O^2 , H^6O^3 , etc.

Outra faceta da arbitrariedade das fórmulas químicas, segundo Duhem, é a determinação do número proporcional. Afinal, é possível mudar o número proporcional de cada corpo simples por outro número, bastando multiplica-lo ou dividi-lo por um número

inteiro e, ainda assim, continuar respeitando a lei de proporções definidas, mas através de fórmulas bastante distintas entre si. Utilizemos novamente a fórmula da água como exemplo, na qual os números proporcionais de hidrogênio e oxigênio são, respectivamente, 1 e 16. Se dividirmos pela metade o número proporcional do oxigênio, a fórmula tomará a configuração “HO”. Se o mesmo procedimento for repetido, teremos então “HO²”, etc.

Visando dar fim à arbitrariedade das fórmulas, Duhem propõe o estabelecimento de uma *convenção*: “Buscaremos representar através de fórmulas análogas os compostos químicos análogos.”⁶ (DUHEM, 1892a, p. 397). Então, por exemplo, se o ácido sulfídrico for análogo à água, os compostos devem ter fórmulas análogas. Portanto, se a água adquire a fórmula H²O, o ácido sulfídrico deve ter a fórmula H²S. Porém, essa convenção não é capaz de liquidar a arbitrariedade das fórmulas. Afinal, a convenção estabelece que uma relação análoga deva ser estabelecida sem, no entanto, fixar qual relação. Dessa maneira, a ambiguidade permanece, com exceção da seguinte regra: uma vez estabelecida o número proporcional de um elemento análogo, o número proporcional do outro elemento análogo também é definido. Ou seja, se utilizarmos HO como fórmula da água, HS deve ser a fórmula do ácido sulfídrico. Mas a fórmula da água pode também ser H⁴O², desde que a fórmula do ácido sulfídrico tome a forma H⁴S².

Essa dificuldade começa a ser superada quando analogias químicas passam a ser feitas entre os mais diversos elementos químicos. Inicialmente, os elementos químicos são reunidos em famílias devido a analogias que Duhem chama de “indubitáveis”. É o caso das relações entre o cloro, o bromo, o iodo e o flúor. Uma vez estabelecido o número proporcional de qualquer um desses elementos, o mesmo acontece com os outros da mesma família. Então, os químicos passam a estabelecer analogias químicas entre diferentes famílias químicas como, por exemplo, entre a família do cloro e a família do oxigênio. Dessa forma, uma vez estabelecido o número proporcional de um elemento que pertença a alguma dessas famílias, os números proporcionais de todos os outros elementos dessas famílias também são definidos. Assim, é possível criar uma série de analogias químicas entre famílias que resulta na definição de um sistema unificado de números proporcionais.

Porém, tal solução repousa sobre a suposição de que todos os químicos são capazes de chegar a um acordo em relação às analogias químicas que devem ser adotadas. A analogia química é uma convenção impossível de ser definida sem ambiguidade, dependendo em demasia da avaliação pessoal de cada químico ou escola de pensamento. Duhem explica que

⁶ O texto em língua estrangeira é : « On cherchera à représenter par des formules analogues les composés chimiques analogues. »

enquanto em geometria é possível estabelecer uma definição sem nenhuma ambiguidade, o mesmo não acontece em química. Para ilustrar, Duhem utiliza, curiosamente, o exemplo da igualdade de dois ângulos retos e do postulado de Euclides. Segundo ele, se essas definições forem negadas a lógica nos conduziria a uma contradição. Já em química não existiria apenas uma definição correta, mas várias: o consenso não é, de um ponto de vista lógico, necessário para que se pratique ciência.

Há convenções que parecem mais adequadas que outras por revelarem similaridades entre elementos que seriam difíceis de discordar. Em um esforço para criar consenso na comunidade científica, os químicos deixaram de discutir a melhor definição de analogia química e passaram apenas a exigir coerência com a definição adotada. Em outras palavras, uma vez escolhida a analogia química que determinada escola julga ser a melhor, os químicos devem respeitá-la em todo o seu trabalho. Foi através dessa tática que Duhem considera que os químicos da escola chamada “atomista” foram capazes de superar a definição de analogia química adotada pela escola dos “equivalentistas”. Os atomistas foram capazes de criar um sistema coerente que fazia uso generalizado da convenção inicialmente adotada, enquanto os chamados “equivalentistas” faziam um uso seletivo de suas próprias convenções.

Duhem, então, analisa como que a partir da concepção de analogia química se desenvolveu a noção de substituição química. A noção de substituição química logo se tornou independente da noção de analogia química e, a partir dela, surgiram as noções de tipo químico, tipos condensados e, finalmente, valência. O sistema que acabou de ser apresentado, por razões históricas, recebeu o nome de “sistema de pesos atômicos” e não de “pesos equivalentes”. Duhem pensa que tal denominação implica uma hipótese que é, no mínimo, inútil. Se o sistema é capaz de ser apresentado sem fazer nenhuma referência às hipóteses materialistas, tais hipóteses seriam dispensáveis logicamente. Além disso, ele aponta que as hipóteses atomísticas, por buscarem uma explicação dos fenômenos químicos ao invés de sua simples classificação, conferem interpretação física às noções abstratas da química e, dessa maneira, tornam a ciência dependente de teses filosóficas. Essa dependência, ao invés de gerar consenso entre a comunidade científica, promove sua dissidência. Ainda, a interpretação física de conceitos abstratos causam contradições difíceis de serem resolvidas pela química como, por exemplo, a interpretação da valência como uma propriedade do elemento em si e não da relação entre elementos pertencentes a determinados tipos químicos.

O artigo, em sua conclusão, parece sugerir que a teoria química pode ser fundada sem o uso de hipóteses. Duhem chega mesmo a afirmar que os químicos não deveriam confiar sequer por um instante nelas, afinal todas as hipóteses atualmente aceitas desaparecerão da

ciência no futuro (DUHEM, 1892a, p. 453). Em sua defesa ele cita Sainte-Claire Deville que, dentre outras coisas, afirma que as hipóteses, felizmente, são dispensáveis (DUHEM, 1892a, p. 454).

Mas é necessário compreender que Duhem não está se referindo a todas as hipóteses, mas somente as hipóteses atomísticas. Na citação de Sainte-Claire há menção particular às “hipóteses dos átomos”. Ao colocar as afirmações de Duhem dentro do contexto argumentativo do artigo percebemos, na verdade, que ele deseja afirmar que a necessidade do uso de hipóteses não está atrelada a necessidade de hipóteses materiais. Ao mesmo tempo, Duhem reafirma sua concepção acerca da natureza das hipóteses. Sejam elas atomísticas ou não, elas sempre serão uma aproximação da hipótese ideal e, por essa razão, é natural que elas sejam modificadas no decorrer do desenvolvimento científico. Mas, acima de tudo, Duhem deseja enfatizar que o sucesso de uma teoria não é capaz de transformar a natureza dos princípios de hipotéticos em empíricos. Em outras palavras, mesmo que teorias atomísticas apresentem certo sucesso – condição não concedida pelo autor -, isso jamais nos permitirá afirmar a existência do átomo.

Como podemos perceber através da análise dos dois últimos artigos de Duhem, a convenção é uma proposição que faz parte da definição de uma determinada noção científica. No caso da física, essa noção pode ser a temperatura, a pressão, a massa, a energia cinética, etc; enquanto na química e, mais precisamente na teoria das notações atômicas, as principais noções são a de analogia química e de substituição química. As convenções ajudam a reduzir a imprecisão das noções científicas que são vagas e confusas. As propriedades fundamentais de cada noção são muito reduzidas para que elas sejam definidas sem ambiguidade. Enquanto que a definição de uma noção sempre terá convenções que representam as propriedades fundamentais desta mesma noção, ela também poderá ter outras convenções. Essas outras convenções são possíveis de serem estabelecidas porque a física e a química não se assemelham à geometria no sentido que diferentes definições não conduzirão a teoria a uma contradição.

2.2 Poincaré e as convenções e hipóteses nas ciências naturais

2.2.1 Os princípios da termodinâmica são convenções?

Em 1892 Poincaré publicou um livro intitulado *Cours de physique mathématique: Thermodynamique*. O livro consiste de lições proferidas na Faculdade de Ciências de Paris durante o semestre de 1888/1889 e redigidas por um dos alunos de Poincaré, Jules Blondin. As lições têm como foco o estudo de noções básicas da termodinâmica, como o princípio de Carnot-Clausius, a dinâmica de gases, líquidos e vapores, entropia, etc. Porém, o princípio de conservação de energia é um tema que permeia todo o livro. Ao final do livro, avanços recentes da teoria são analisados, como os estudos de Helmholtz, Thomson e Duhem voltados aos fenômenos elétricos envolvendo pilhas e os trabalhos de Helmholtz e Ludwig Boltzmann acerca da redução dos princípios da termodinâmica aos princípios gerais da mecânica.

Duas questões abordadas neste livro nos interessam. A primeira diz respeito aos princípios da termodinâmica e a segunda sobre a função das convenções na determinação de grandezas, como a temperatura. As razões pelas quais tais questões nos interessam estão relacionadas diretamente com o objetivo proposto nesta seção, ou seja, apontar a relevância das convenções aos princípios da termodinâmica e analisar as possíveis influências dos autores entre si. Observaremos que a postura de Poincaré, na questão relativa aos procedimentos teóricos envolvidos na medição da temperatura, assemelha-se com a de Duhem tal como apresentamos na subseção anterior.

É no prefácio desta obra que identificamos uma abordagem filosófica para tratar dos princípios da termodinâmica. Não é a toa que uma parte desse prefácio será reproduzida no capítulo VIII de uma das principais obras de filosofia da ciência de Poincaré, “A ciência e a hipótese” (ROLLET, 1999, p. 340). Na verdade, somente a partir da comparação da postura do autor em relação à mecânica, tal como será apresentado em artigos posteriores ou mesmo no livro supracitado, que podemos questionar as razões que levaram o autor a não considerar os princípios da termodinâmica como convenções. Tanto na obra em questão quanto em artigos posteriores, Poincaré não irá declarar explicitamente que os princípios da termodinâmica são convencionais. Nesta subseção buscaremos apresentar os princípios da termodinâmica, revelando que eles possuem a mesma função para a teoria termodinâmica que os princípios da mecânica têm para sua respectiva teoria. A discussão sobre a razão que conduziu Poincaré a considerar estes últimos como convenções e deixou de afirmar explicitamente o mesmo juízo sobre os primeiros será transferida para o próximo capítulo.

A questão que abre o prefácio e conduz a argumentação do autor diz respeito à solidez dos dois princípios mais conhecidos da termodinâmica, o princípio de Meyer e de Clausius, conhecidos hoje como, respectivamente, primeira e segunda leis da termodinâmica. Poincaré

concentra-se inicialmente na análise do princípio de Meyer - aquele que estabelece a conservação da energia - questionando se ele se trata de um fato experimental.

Segundo o autor, o princípio de Meyer possui mais generalidade e precisão do que as experiências que serviram a lhe demonstrar. Como é possível que a precisão que não está presente em experiências particulares possa ser finalmente encontrada nos princípios mais gerais? Poincaré afirma que sem esse poder de generalização a ciência não conseguiria ser edificada, afinal, as condições de um experimento jamais se repetirão exatamente no futuro. Portanto, a generalização é uma condição que deve ser aceita para que se possa fazer ciência.

No entanto, uma mesma proposição pode ser generalizada de infinitas maneiras. Dentre todas as opções, qual o cientista deve escolher? Segundo Poincaré, a mais simples generalização é a melhor opção. O cientista é levado a agir como se uma lei simples fosse mais provável que uma lei complexa. Alguns cientistas haviam justificado essa escolha pelo suposto amor à simplicidade exibido pela natureza. Poincaré discorda dessa justificação. Em sua opinião, a escolha pela lei mais simples obedece a uma necessidade inescapável *do nosso espírito*.

Mas há nas leis algo além do que a simples expressão dessa necessidade. Para o autor, o princípio de Meyer sobreviverá às leis particulares das quais foi deduzido da mesma maneira que a lei de Newton sobreviveu às leis de Kepler. Essa confiança é reforçada por duas razões: 1- a negação do princípio de conservação de energia abriria caminho à possibilidade do movimento perpétuo e; 2- o princípio é capaz de produzir um efeito inesperadamente harmonioso nos dados caóticos da experiência. Essa última razão conduz os cientistas a pensarem que uma ordem inesperada não foi produzida por acaso.

Porém, essas razões não são suficientes para estabelecer a solidez do princípio, afinal a harmonia pode esconder um caos oculto imperceptível aos instrumentos, condenando o princípio. O que reafirma a segurança dos cientistas no princípio segue do fato de que a energia adquire um significado ao menos provisório em casos particulares. Em sistemas fechados, ou seja, isolados de influências externas, a energia adquire um sentido objetivo. Em uma linguagem matemática, nos casos em que a soma algébrica das forças externas é nula, somos capazes de encontrar uma diferencial exata que satisfaça a função linear do sistema interno. Essa diferencial encontrada pela matemática é o que os físicos chamam de energia.

Contudo, não há sistema totalmente isolado na natureza e, apesar de encontrarmos uma solução para casos particulares, esses resultados são imprecisos. A imprecisão é justificada pela perda ou pelo ganho de energia devido a influências externas. Então, para que a solução se torne exata é necessário generalizar a lei de conservação de energia. O problema,

segundo Poincaré, é que a lei generalizada se transforma em uma tautologia e a energia perde a objetividade que tinha em casos particulares. Afinal, a lei estendida a todo o universo equivale à afirmação de que há algo que permanece constante. Em linguagem matemática isso equivale a dizer que há inúmeras integrais que permanecerão constantes em uma equação diferencial. Dessa maneira, o físico teria que enfrentar o duro dilema de escolher qual dessas integrais ele daria o nome de energia.

Poincaré conclui que o princípio de Meyer é uma forma suficientemente flexível para nos permitir introduzir nela tudo que quisermos. Mas isso não significa que ela não possua realidade objetiva ou que seja apenas uma tautologia. Afinal, nos casos particulares que mencionamos e contanto que não desejemos estendê-la ao absoluto, ela possui um sentido perfeitamente claro. O autor ainda afirma que quase tudo que foi dito sobre o princípio de Meyer pode ser estendido ao princípio de Clausius, com a diferença que tal princípio é expresso por uma desigualdade, ao invés de uma igualdade.

Apesar de Poincaré não ter dito explicitamente que os princípios de Meyer e Clausius são convenções, observaremos a seguir que as críticas feitas aos princípios da mecânica de Newton são praticamente as mesmas, assim como as funções que eles assumem no edifício teórico. É com base nessa comparação que questionamos as razões que conduziram o autor a declarar que os princípios de uma teoria são convenções, enquanto silenciou-se sobre a natureza epistemológica dos princípios da outra teoria.

Antes de partir à análise dos princípios mecânicos, porém, vejamos a posição de Poincaré a respeito da aferição das temperaturas. Para o autor, primeiro é estabelecida uma definição sobre a igualdade de temperaturas: dois corpos possuem temperaturas iguais ou estão em equilíbrio de temperatura se, postos em presença um do outro, seus volumes não sofrem variação (POINCARÉ, 1892a, p. 16). Em seguida, para que a medição seja possível, Poincaré afirma que é necessário ser feita outra convenção, ou seja, a igualdade anteriormente definida também é considerada uma convenção.

A nova convenção relaciona uma grandeza centesimal ao volume do mercúrio em dois casos limites, o grau zero, quando o volume do mercúrio entra em equilíbrio térmico com a água congelada, e o grau máximo (100), quando o volume do mercúrio entra em equilíbrio térmico com a água em ebulição. Poincaré, assim como Duhem, ressalta que tal convenção é inteiramente arbitrária, por duas razões: a primeira relaciona-se ao material escolhido que poderia ter sido outro ao invés de mercúrio; a segunda razão refere-se à grandeza que poderia ser modificada desde que o novo sistema de grandezas refletisse as diferenças de temperatura presentes no sistema inicialmente adotado.

No que diz respeito à arbitrariedade envolvida no processo de aferição de temperatura, Poincaré e Duhem parecem estar totalmente em acordo. Isso significa que, no que diz respeito às convenções presentes nas teorias físicas, os autores tem a mesma opinião? Esboçar uma resposta, antes que tenhamos compreendido melhor as posições dos autores seria apressado. No entanto, com respeito à calorimetria, podemos afirmar que Poincaré e Duhem tem acordo sobre o papel da convenção?

Uma das diferenças que podem ser notadas entre os autores reside no foco que cada um escolhe para definir a temperatura. Enquanto Duhem fundamenta sua posição na comparação entre as propriedades fundamentais da noção (*notion*) de calor com as propriedades matemáticas de uma grandeza, Poincaré possui uma visão mais instrumental, relacionando a temperatura à variação de volume de um corpo ao entrar em equilíbrio térmico com outro corpo. Dessa forma, Poincaré evidencia a arbitrariedade envolvida na escolha do material que será utilizado para medir a temperatura, enquanto Duhem evidencia a arbitrariedade relacionada ao valor da grandeza.

Por fim, no último capítulo do livro, intitulado *Réduction des principes de la thermodynamique aux principes généraux de la mécanique*, Poincaré pondera sobre a possibilidade de redução dos princípios da termodinâmica aos princípios gerais da mecânica, da mesma maneira como fará um ano mais tarde em um de seus primeiros artigos enviados à *Revue de Métaphysique et Morale*, denominado *Mécanisme et expérience* (POINCARÉ, 1893a). Em ambas as fontes o autor chega às mesmas conclusões: os princípios da termodinâmica não podem ser reduzidos aos princípios gerais da mecânica.

Tal conclusão, apesar de ter sido embasada por um complexo raciocínio matemático no livro, se apoia em um argumento bastante simples, tal como apresentado no artigo. Poincaré afirma que, segundo a hipótese mecanicista, todos os fenômenos devem ser reversíveis. Porém, diversos fenômenos tratados pela termodinâmica nos são revelados como irreversíveis. Maxwell chegou mesmo a imaginar um ser que, mais astuto que os humanos, seria capaz de separar as moléculas aquecidas das moléculas resfriadas, tornando os fenômenos aparentemente irreversíveis em reversíveis. Este ser foi apelidado de “demônio de Maxwell” (POINCARÉ, 2008, p. 182). Apesar desse engenhoso esforço, Poincaré desconfia da validade desses artifícios, pois em termos lógicos é impossível concluir a reversibilidade dos fenômenos a partir de premissas que partem de sua irreversibilidade.

2.2.2 As convenções na mecânica newtoniana

Antes de abordarmos diretamente os textos nos quais Poincaré analisou os princípios da mecânica newtoniana, iremos dar um passo atrás e apresentar um artigo no qual este autor refletiu sobre as convenções envolvidas na medição do tempo. Acreditamos que esse recuo seja necessário por duas razões. A primeira e mais importante delas justifica-se pelo fato de que os princípios da mecânica assumem a possibilidade da medição do tempo. A segunda razão é que nos artigos relacionados aos princípios da mecânica, o autor fará constante referência a tal artigo.

Em 1898, Poincaré publica o artigo *La mesure du temps* novamente na *Revue de Métaphysique et de Morale*, dessa vez estendendo suas reflexões acerca das convenções para o campo da física. Neste artigo Poincaré discute a simultaneidade em seu sentido físico e os problemas tanto metodológicos quanto conceituais que sua aplicação faz surgir. Segundo Galison (2004, p. 175), Poincaré escreveu este artigo após ter trabalhado no *Bureau des Longitudes* francês cumprindo, entre outras tarefas, a determinação da posição exata das cidades de Dakar e Saint-Louis no Senegal, mostrando, dessa forma, que os problemas expostos no artigo fizeram parte do seu cotidiano de trabalho.

Poincaré, contrariando as ideias de Bergson, afirma que não possuímos intuição direta nem da igualdade de duas durações e, portanto, nem da simultaneidade. Dessa forma, adotamos instrumentos físicos para que exerçam essa função como, por exemplo, o balanço do pêndulo ou a rotação da terra. Ao adotarmos esses artifícios, diversas perturbações de ordem física surgem. Afinal, como é possível determinar que o pêndulo consome exatamente o mesmo tempo todas as vezes que balança? Além disso, Poincaré ressalta o fato de que assumimos implicitamente a seguinte definição ao construirmos tais instrumentos: as mesmas causas tomam o mesmo tempo para produzir os mesmos efeitos (POINCARÉ, 1898a, p. 4; POINCARÉ, 1995, p. 29).

Tal definição, porém, deve ser revista, afinal, os fenômenos físicos são o resultado de um conjunto imenso e intrincado de diferentes causas que provavelmente nunca se repetirão exatamente em seu conjunto. Portanto, a definição a ser adotada para que possamos criar o método físico de determinação da simultaneidade é que causas mais ou menos idênticas tomam mais ou menos os mesmos tempos para produzir mais ou menos os mesmos efeitos. Tal definição certamente não é exata, porém, Poincaré afirma que a possibilidade de imaginar um ser que possa servir de critério imparcial e objetivo para a medição do tempo não nos é

útil, pois a inteligência de tal ser nos seria impenetrável. É inegável que neste ponto Poincaré está dirigindo uma crítica a Newton, especificamente à noção de tempo absoluto.

Após a determinação de tal definição, ainda outras deverão ser feitas. Em observações astronômicas de um evento em dois pontos distintos do globo, por exemplo, os astrônomos consideram implicitamente que a luz possui velocidade constante e homogênea em todas as direções e, além disso, que o mesmo fenômeno é observado simultaneamente por todos os pontos no globo.

Como tais definições não são verdadeiras em si e um experimento que pudesse afirmar sua veracidade ou falsidade são irrealizáveis, fica claro que tais definições funcionam como convenções. Para ele, outras convenções poderiam ser inventadas, o que reafirma a liberdade do cientista diante da criação e adoção das convenções. Porém, diante de tal liberdade o cientista deve escolher suas convenções pela comodidade que elas proporcionam: “A simultaneidade de dois eventos, a ordem de sua sucessão, a igualdade de duas durações devem ser definidas de tal maneira que o enunciado das leis naturais seja tão simples quanto possível.” (POINCARÉ, 1989a, p. 13).

O principal argumento apresentado por Poincaré neste artigo é o de que não há um princípio natural, ou seja, um princípio absoluto que possa ser deduzido de experimentos para a correta medição do tempo. Assim, cabe ao cientista a postulação de tais princípios. Já que somos responsáveis por tal escolha, devemos escolher os princípios mais simples, pois eles nos fornecerão leis, equações e cálculos simples e, portanto, cômodos.

O primeiro artigo no qual Poincaré analisou a presença de convenções nos princípios da mecânica foi publicado em 1901 com o título *Sur les principes de la mécanique* (POINCARÉ, 1901). No ano seguinte, este artigo foi reproduzido com pequenas modificações nos capítulos VI e VII do livro “A ciência e a hipótese”. O artigo possui dois objetivos: de um lado, demonstrar que a mecânica é uma ciência experimental e que, por essa razão, os professores do continente europeu, em contraposição aos professores ingleses, estavam equivocados em ensiná-la como uma ciência dedutiva; por outro lado, comprovar que a mecânica, apesar de experimental, não precisa temer a revisão ou o abandono de seus princípios em vista de novas experiências.

Antes de iniciar sua análise, Poincaré chama atenção para o fato de que a mecânica utiliza em suas demonstrações algumas convenções, como por exemplo, o espaço absoluto, o tempo absoluto, a simultaneidade de dois acontecimentos e, logicamente, a geometria euclidiana. A reflexão de Poincaré acerca das três dessas últimas convenções assumidas pela mecânica já foram expostas neste trabalho. O autor, por ter abordado tais assuntos em outros

artigos, concentra-se somente na análise do espaço absoluto e dos princípios próprios à mecânica newtoniana. Essa estratégia de Poincaré visa demonstrar que muitas das condições consideradas “impostas à mecânica” são, em realidade, postuladas pelo cientista para que a enunciação das leis fundamentais dessa ciência seja o mais simples possível.

Em seguida, Poincaré expressa um pensamento que poderia por a tese que defendemos nesse primeiro capítulo da dissertação em xeque. Ele afirma que seria possível enunciar as leis fundamentais da mecânica independentemente dessas convenções (espaço e tempo absoluto, geometria euclidiana, etc), mas caso isso acontecesse os enunciados tornar-se-iam extremamente complexos, afinal, as funções das convenções seriam exatamente de fornecer uma linguagem simplificada e abreviada dos fenômenos. Acreditamos que o que Poincaré desejava expressar com esse argumento era que as leis fundamentais da mecânica, *uma vez construídas e abreviadas por convenções*, poderiam, então, serem traduzidas em uma linguagem livre dessas convenções. Contudo, sem essas convenções, ou seja, sem essa simplificação inicial, *seria impossível construir o edifício complexo da mecânica*. A tradução em uma linguagem complexa só é possível após o estabelecimento de uma linguagem simplificada, assim como uma aproximação exata só pode ser conquistada após uma aproximação mais ou menos exata.

A argumentação do artigo segue com Poincaré analisando, primeiramente, o princípio da inércia, também conhecida como primeira lei de Newton. Segundo ele, tal princípio não é determinado *a priori* porque formulações diferentes poderiam ser concebidas sem que o princípio de razão suficiente fosse abalado. Ao invés de assumir que um corpo livre de atrações seguiria uma trajetória retilínea e uniforme poderíamos acreditar que os corpos movimentam-se circularmente, o movimento perfeito segundo os gregos. Ele tão pouco seria um princípio experimental, afinal não é possível fazer experimentos com objetos que estejam livres de ações externas e, mesmo se fosse, não teríamos meios de verificar se os corpos estão ou não sob a ação de nenhuma força.

De acordo com o autor, o que faz a lei da inércia ser considerada experimentalmente verificada é o fato de que, em astronomia, basta que saibamos a posição e a velocidade inicial de um planeta para que possamos determinar sua trajetória. Se a validade da lei é determinada experimentalmente, é plausível pensar que a lei pode vir a sofrer revisão, tanto através de experiências mais precisas ou pelo fato de que parâmetros experimentais podem vir a se modificar com o tempo. Contudo, essa revisão teria que ser pautada por uma prova decisiva, o chamado *experimentum crucis*.

Mas essa prova definitiva é impossível, tanto porque os parâmetros iniciais de um experimento nunca se repetirão, como também pelo fato de que a física lida não somente com corpos visíveis, mas também invisíveis, permitindo que o cientista suponha a influência de corpos invisíveis para que a lei estabelecida anteriormente seja salvaguardada. Portanto, Poincaré conclui que a lei de inércia, verificada experimentalmente em casos particulares oferecidos pela astronomia, pode ser erigida em princípio geral sem temer que a experiência confirme ou contradiga sua validade.

Em seguida Poincaré trata da segunda lei de Newton, a também chamada “lei da aceleração”. Os argumentos relacionados a este tópico tal como aparecem no artigo original são relativamente escassos e, provavelmente por essa razão, receberam novos aportes no respectivo capítulo de “A ciência e a hipótese” (ROLLET, 1999, p. 401). Consideraremos esses aportes na exposição deste tópico.

Poincaré questiona se a lei da aceleração pode ser verificada experimentalmente. Tal lei estabelece que a *aceleração* de um corpo seja igual à *força* que age sobre ele dividida por sua *massa*. Um dos métodos imaginados para que essa verificação seja possível depende da medição das três grandezas com o intuito que a igualdade estabelecida possa ser confirmada ou não. No caso da grandeza “aceleração” é evidente que a problemática medição do tempo, como exposta anteriormente no artigo *La mesure du temps*, interfere e, não desejando se repetir, o autor deixa de lado essa discussão e concentra-se em expor os procedimentos estabelecidos para medir a *força* e a *massa*.

A primeira etapa da medição da força é o estabelecimento de sua igualdade. Uma das maneiras de estabelecer experimentalmente esta igualdade é nos casos em que forças aplicadas a uma mesma massa imprimem uma mesma aceleração. Poincaré expõe, primeiramente, uma falha conceitual dessa definição, pois é impossível saber como se comportariam duas forças que não se opõem diretamente *caso* elas se opusessem diretamente. Além disso, existem outras dificuldades que esse experimento omite, como os parâmetros que são modificados entre uma medição e outra. Por exemplo, pode haver uma mudança da força gravitacional aplicada à massa pela segunda força, afinal é sabido que a proximidade com a linha do Equador aumenta a influência da gravidade. Outras modificações semelhantes ocorrem, como a mudança de temperatura que altera a elasticidade da mola de um dinamômetro, etc. Por fim, somos obrigados a assumir que tais influências são insignificantes, o que equivale a admitir que nossa lei não seja rigorosa.

Mesmo que esses parâmetros não fossem modificados, a medição da força ainda envolveria outro problema. Como as forças que são comparadas não estão sendo opostas

diretamente, é necessário que a igualdade da ação e da reação seja introduzida, obviamente não como lei experimental, mas como definição, provocando uma aparente petição de princípio.

Considerações análogas aos experimentos de medição da força agem igualmente na medição da massa. O experimento que estabelece a igualdade entre as massas opõe dois corpos em equilíbrio e assume que as únicas forças que agem sobre eles provêm deles próprios, como se fosse possível o total isolamento de forças externas. Novamente, para determinar a igualdade das massas é necessário fazer intervir a igualdade da ação e da reação, não como uma constatação experimental, mas como uma postulação do cientista. A massa, enfim, é considerada como um coeficiente cuja introdução nos cálculos mostrou-se útil (POINCARÉ, 1984, p. 89).

Poincaré, então, inclui sua análise sobre o princípio da conservação de energia tal como exposto no prefácio a seu curso de termodinâmica, publicado em 1892 e já analisado por nós. A inclusão desse tópico no artigo oferece outro importante indício de que o autor, apesar de não ter expressamente declarado, considera que os princípios da termodinâmica também são convenções.

Após percorrer os argumentos desenvolvidos ao longo do artigo, tem-se a impressão de que Poincaré concluirá que os princípios da mecânica são, de fato, apenas convencionais e que, em consequência, os professores do continente teriam razão em ensinar tal disciplina como uma ciência dedutiva. Mas aproximando-se da conclusão do artigo é possível notarmos a verdadeira postura de Poincaré e a razão que o levou a conduzir os argumentos naquela específica ordem.

A primeira vista parece que os argumentos de Poincaré contra a impossibilidade de deduzir os princípios da mecânica unicamente da experiência conduziram o autor a uma posição cética. Porém, sua tática visava demonstrar dois tipos de impossibilidade: de um lado a impossibilidade de deduzir princípios rigorosos com a única ajuda da experiência e, por outro lado, a impossibilidade de testes experimentais com os princípios da mecânica devido à generalidade que possuem. Vistas por esse ângulo, as grandezas, tais como a força e a massa, perdiam objetividade, parecendo ser apenas coeficientes que facilitam o cálculo. Essa tática visava chamar atenção para a importância das leis como meio termo entre o princípio e a experiência, pois em sistemas mais ou menos isolados de influências externas é possível verificar a validade das leis da mecânica de modo aproximado e atestar o poder de sua aplicabilidade.

A partir dessas leis aproximadas e verificadas de uma maneira mais ou menos exata em casos particulares, estabelece-se uma convenção que generaliza sua aplicabilidade ao conjunto do universo. Graças às essas convenções, uma lei que era aproximada torna-se um princípio rigoroso. No entanto, ao mesmo tempo em que o princípio ganha generalidade, ele perde objetividade, tornando impossível que a experiência o confirme ou refute, ou seja, estabelecendo a impossibilidade de um *experimentum crucis*. A introdução do elemento convencional é fundamental para a mudança do status da lei experimental em princípio (DE PAZ, 2014, p. 86)

Como é possível notar, tanto os princípios da mecânica quanto os da termodinâmica são formulados a partir da generalização de uma lei que é verificada de modo aproximado em casos particulares. Ao ganhar generalidade, ambos perdem em objetividade. Se a função dos princípios em relação as suas respectivas teorias é a mesma, qual razão conduziu Poincaré a declarar que um desses princípios é convencional, silenciando sobre a natureza do outro?

2.2.3 As hipóteses físicas

O primeiro artigo no qual Poincaré expressou o grau de importância das hipóteses para à física, assim como as diferentes funções que elas assumem no procedimento de formulação teórica, foi publicado em 1900 sob o título *Les relations entre la physique expérimentale et la physique mathématique*. Segundo Rollet (1999, p. 402), o artigo é reproduzido nos capítulos IX e X do livro “A ciência e a hipótese” com pequenas alterações.

O objetivo do artigo relaciona-se diretamente com as circunstâncias nas quais foi escrito. O texto é resultado de uma conferência oferecida por Poincaré em ocasião do primeiro Congresso Internacional de Física (1900, p. 37), convocada como parte dos eventos da Exposição Universal de 1900. Em um clima de reflexão sobre os resultados alcançados pela ciência no século que chegava ao fim, Poincaré ressaltou o auxílio que a física matemática, área de estudo na qual mais se dedicou, poderia oferecer à física experimental, área de estudo que recebeu boa parte da atenção do congresso.

Nesse sentido ele buscou defender a cooperação entre essas duas áreas, destacando que a física matemática possui a importante tarefa de organizar os fatos, oferecendo uma maneira econômica e eficiente com a qual o físico experimental pode exercer seu trabalho. Para que essa organização seja possível é imprescindível que o cientista possa generalizar os

fatos. Mas, segundo o autor, não é o bastante generalizar os “fatos nus” (POINCARÉ, 1900b, p. 706), pois isso conduziria a leis bem estranhas. O físico, antes, *corrige* os fatos, escolhendo aqueles que são mais simples.

Além disso, “[...] toda generalização é uma hipótese [...]” (POINCARÉ, 1984, p. 121) e, logo, podemos concluir que as hipóteses são imprescindíveis à física. Mas há diversos tipos de hipóteses. Neste artigo é possível identificar ao menos quatro delas: as aparentes, as naturais, as indiferentes e as verificáveis. Analisemos detalhadamente cada uma delas.

As hipóteses aparentes são aquelas que os cientistas assumem sem estar conscientes delas. Elas são perigosas porque, sendo tácitas, podem parecer que são condições impostas à ciência. A física matemática, devido seu rigor, pode oferecer importante auxílio na identificação dessas hipóteses, apontando as contingências das hipóteses adotadas e propondo outras possibilidades. Essas hipóteses são chamadas de aparentes porque elas são, na verdade, definições ou convenções disfarçadas. Por serem postuladas, elas não podem ser nem verdadeiras nem falsas. Apesar do autor não indicar quais convenções ou definições poderiam ser qualificadas como hipóteses aparentes, podemos indicar a partir das reflexões apresentadas até aqui que o quinto postulado de Euclides, o tempo absoluto e o espaço absoluto seriam bons exemplos destas hipóteses.

Hipóteses naturais são aquelas condições que o cientista adota inicialmente para que o desenvolvimento teórico seja possível, mas que são experimentalmente inacessíveis de serem verificadas. Alguns exemplos que o autor oferece são: a suposição de que a influência de corpos muito afastados é inteiramente negligenciável, de que os pequenos movimentos obedecem a uma lei linear, de que o efeito é uma função contínua de sua causa, bem como condições impostas pela simetria (POINCARÉ, 1984, p. 121-122). Nós adicionaríamos, a partir da interpretação do conjunto da obra do autor, que ele considera a unidade e simplicidade da natureza como pertencentes a esse tipo de hipótese, assim como a suposição de que a natureza é determinista. Essas hipóteses formam o fundo comum das teorias e são as últimas que os cientistas devem abandonar.

A próxima hipótese analisada pelo autor são as qualificadas como indiferentes. Segundo Poincaré essas hipóteses tem um sentido metafórico. São também úteis e didáticas, pois facilitam a visualização dos fenômenos. Elas serão perigosas unicamente se o cientista exagerar sua função, ou seja, se acreditar que uma teoria que receba confirmação empírica possa comprovar a existência dessas hipóteses. Exemplos desse tipo de hipótese são: a suposição contínua ou descontínua da matéria, bem como a capacidade dos corpos de transferir movimento, seja por choque ou à distância.

Tais hipóteses estão diretamente ligadas a teses metafísicas a respeito da constituição da natureza, sua ontologia (HEINZMANN, 2009, p. 173). É curioso notar que Poincaré adota uma posição neutra diante de um tema tão importante não só para a filosofia, mas também para física. Como apresentado anteriormente neste trabalho, o próprio autor considera que a adoção de uma perspectiva mecanicista impede a análise dos fenômenos termodinâmicos, ou seja, que a adoção de um dos pares opostos de hipóteses indiferentes pode resultar em vias drasticamente diferentes.

Como a adoção de hipóteses indiferentes opostas produzem teorias irreconciliáveis, a unidade da ciência poderia ser questionada. A mudança de postura de Poincaré, portanto, visa acalmar qualquer clima de disputa no seio da comunidade científica. Em sua visão, duas teorias baseadas em hipóteses indiferentes opostas poderiam ambas revelar relações reais que a aparência de contradição estaria escondendo. Ele recorre à clássica oposição aparência/essência para solucionar o problema criado pelas disputas metafísicas. Admitir a presença dessas hipóteses, mas negar o valor que elas poderiam assumir é o antídoto encontrado pelo autor para manter o consenso e apontar o caminho da unidade: “não é mais escravo quem pode escolher o seu senhor”, disse Poincaré no mesmo artigo.

O último tipo de hipóteses analisado pelo autor são as consideradas fecundas. Essas hipóteses, verdadeiras generalizações dos fatos, são experimentalmente verificáveis e, portanto, é a partir delas que ciências tais como a eletrodinâmica se desenvolvem. Sendo passíveis de serem confirmadas ou contraditas pela experiência, essas são as hipóteses genuínas.

Exatamente por se tratarem de generalização que Poincaré avalia que o cálculo das probabilidades tem importância especial para essas ciências. O cálculo poderia oferecer um argumento sólido o bastante para justificar a generalização dos fatos. No entanto, o cientista deve tomar cuidado para não multiplicar as hipóteses desnecessariamente, pois se a experiência vier a condenar o conjunto delas pode acontecer que apenas algumas são falsas, enquanto outras são verdadeiras. Por essa razão, segundo o autor, as hipóteses devem ser feitas e testadas uma após a outra.

Não deixa de ser curioso notar que Poincaré, em um congresso no qual a física experimental estava em foco, ofereceu uma conferência versando sobre diversos tipos de hipótese e, dentre eles, somente um é capaz de receber confirmação ou não da experiência. É inegável que o autor adotou essa estratégia para dar solidez ao edifício teórico. Nessa visão, a física deve partir de algumas hipóteses que são supostamente sólidas porque não podem ser contraditas pela experiência (naturais, tácitas e indiferentes). Ao mesmo tempo, a experiência

não valida essas hipóteses. Ela só pode validar ou condenar um tipo de hipótese que seriam como a ponta extrema da ciência. Dessa forma, se tais hipóteses forem negadas, o edifício científico não sofre abalo estrutural.

2.3 Le Roy: Fatos, leis e teorias como convenções

Le Roy frequentou alguns cursos professados por Poincaré, sendo inclusive responsável por redigir as lições sobre potencial newtoniano professadas no semestre 1894-1895 (POINCARÉ, 1899b). Por outro lado, Poincaré também comissionou a publicação de diversas notas de Le Roy no *Comptes rendus* da Academia de Ciências (LE ROY, 1895a, 1895b, 1896a, 1896b, 1896c, 1897, 1899a, 1900b, 1900c), relatando em uma publicação compartilhada com Paul Appell como as “ideias originais” e “a engenhosidade dos procedimentos” empregados por Le Roy estavam contribuindo ao “progresso dos métodos da física matemática” (APPELL; POINCARÉ, 1897). A tese de doutorado de Le Roy, tratando da integração de equações relacionadas à propagação do calor, foi dedicada em “homenagem de profundo respeito” à Poincaré, ele próprio um dos participantes da banca examinadora (LE ROY, 1898).

Assim, podemos notar como Poincaré foi importante na formação do jovem Le Roy enquanto cientista profissional. Essa influência não foi restrita ao campo científico, perpetuando-se também no campo filosófico. Suas primeiras publicações nesta área, apesar de conterem ideias tão originais quanto às criadas no campo matemático, podem ser vistas como uma espécie de continuação e generalização do pensamento de Poincaré. Partindo dos temas tratados por seu mestre, como a presença das convenções nos princípios científicos, Le Roy exacerba o caráter cético dos argumentos, levando às últimas consequências as incongruências da tese poincareana.

O texto de referência no qual Le Roy trata da presença das convenções nos princípios científicos foi enviado à *Revue de Métaphysique et Morale* em três partes sob o título *Science et philosophie* (LE ROY, 1899b; LE ROY, 1900a). O autor analisa três doutrinas que representam a realidade: o senso comum, a ciência e a filosofia. Segundo ele, cada doutrina é capaz de atingir diferentes objetivos, mas que correspondem, em última instância, a orientações intelectuais pertencentes em todos os espíritos. Por essas razões, nenhum dos três conhecimentos deveria se sobrepor a outro. A partir dessa posição, Le Roy examina os limites

próprios de cada uma dessas orientações, dirigindo uma crítica acentuada ao conhecimento científico que, segundo seu diagnóstico, almejava pretensões aquém de sua alçada. Além da influência de Poincaré é possível notar, sobretudo, a presença de teses de Henri Bergson, que defenderá até o fim de sua carreira. Essa aproximação conduziu Le Roy a suceder Bergson nas cadeiras do *Collège de France* e da *Académie Française*.

Para Le Roy a ciência recebe do senso comum o material com o qual ela irá trabalhar. Esse material é constituído de um fundo (*fond*) objetivo, que o conecta a realidade, e uma forma (*forme*) relacionada à nossa capacidade de abstração. Entre o senso comum e a ciência não há mudança radical de método ou atitude. O senso comum visa a adaptação do real aos interesses da prática e às exigências da vida social, enquanto a ciência, por seu lado, visa o discurso rigoroso e a organização sistemática. Para isso, ambos necessitam que o real passe por métodos de simplificação, como a fragmentação (*morcelage*) e a espacialização (*spatialisation*), nos oferecendo uma forma fácil de manusear. A fragmentação, por exemplo, separa em objetos independentes aquilo que a intuição pura concebe como continuidade indivisível. O conhecimento positivo, próprio à ciência, é um prolongamento imediato desse conhecimento vulgar. No entanto, como a ciência valoriza o rigor da forma, é necessário que o cientista, partindo das primeiras aproximações do senso comum, imponha convenções mais precisas à natureza. Dessa maneira, apesar de não visar diretamente a satisfação dos interesses da vida prática, a ciência herda e trabalha sobre os hábitos criados anteriormente pelo senso comum.

Como é possível notar, Le Roy defende a posição de que o cientista não descobre ou constata o fato; pelo contrário, o cientista o cria, o constitui. Essa criação é comparada à obra de arte que, através de um *fiat* criador, estabelece um mundo harmonioso naquilo que parecia caótico. O caos aparente é reflexo da ausência de forma e de descontinuidade na natureza. Percebemos a natureza em um único bloco perceptivo. Para ser possível, a ciência deve dar forma e criar as separações. Como não há objetos isolados na natureza, a separação obedece a um ponto de vista particular. Dessa maneira, todo fato é o resultado de uma colaboração entre a natureza e o cientista. O fato mantém um fundo objetivo, mas o que interessa à ciência não é esse fundo, mas sua forma artificial que servirá como símbolo representativo do real.

No entanto, não há uma única forma possível que possamos imprimir à natureza. A separação da matéria em pequenos átomos individuais sólidos e indivisíveis é tão legítima quanto sua separação em pequenos átomos animados por movimentos de turbilhão ou em fluxos de energia que conservam sua quantidade apesar de adquirirem as mais diversas formas. Diante da ausência desse critério absoluto que possa decidir de uma vez por todas

qual separação a natureza deve adotar, o senso comum surge como uma maneira de conquistar consenso: “Os fatos são, portanto, moldados pelo espírito a partir da matéria amorfa do Dado pelo mesmo mecanismo já empregado pelo senso comum, mas com outra intenção: preparar o estabelecimento de um discurso rigoroso [...]” (LE ROY, 1899b, p. 517). Esse senso comum é determinado tanto por experiências individuais quanto por experiências da raça. Portanto, a ação dos cientistas é guiada, sobretudo, por um instinto que pertence originalmente ao exercício da vida prática cotidiana.

Le Roy, então, nos oferece suas reflexões sobre a natureza das leis. Para ele, as leis expressam uma relação constante e sempre permanente, não importa a infinidade de circunstâncias na qual os fenômenos são produzidos. Elas representam, portanto, o elemento de estabilidade que transparece vagamente nas experiências, a constância em meio a incessantes e inumeráveis modificações sofridas pelos corpos. A lei é uma espécie de “fato de segunda ordem”, uma segunda camada de simplificação que a afasta ainda mais do contato imediato com a natureza. No entanto, as leis não são a consequência inevitável da reunião dos fatos. Elas, pelo contrário, substituem o conjunto dos fatos, antes incoerentes, em um resumo cômodo e simplificado. Por essas razões, Le Roy repete as mesmas conclusões direcionadas aos fatos: as leis não são extraídas das coisas; elas são o produto da elaboração do espírito que é capaz de variar seu ponto de vista a fim de encontrar a constância.

O autor também realça o caráter contingente das leis, uma crítica à ciência que se tornou recorrente à época graças a seu compatriota Émile Boutroux (BOUTROUX, 1898). Le Roy, por sua vez, ressalta as condições de determinação nas quais as leis estão submetidas, com o intuito de demonstrar que essas condições, longe de serem necessárias à busca do conhecimento puro, estão relacionadas às exigências práticas. O recurso a formas gerais herdadas do senso comum como o espaço, o tempo e o movimento é uma das condições contingentes para a expressão das leis. Outras condições de determinação são a geometria euclidiana e a fragmentação da matéria e da duração. Ao apontar esses dois exemplos, Le Roy está utilizando em seu trabalho as reflexões formuladas por Poincaré a respeito da legitimidade das geometrias não euclidianas, assim como a publicação de “Matéria e memória” (BERGSON, 1999) na qual Bergson irá defender a irredutibilidade do conceito de “duração” ao tempo científico. Outra condição que malgrado o sucesso das teorias jamais será experimentalmente verificada, devendo ser postulada como uma condição *a priori*, é o determinismo das leis. Não importa a natureza do fenômeno, o cientista deve assumir que ele pode ser descrito de maneira determinística.

As leis, por outro lado, não dependem somente de condições estabelecidas, mas também de procedimentos de medição. Tais medições só adquirem significado a partir de suas definições que, segundo o autor, são determinadas arbitrariamente. Em apoio à defesa da arbitrariedade da definição do tempo o autor se restringe a fazer referência a um artigo de Poincaré (POINCARÉ, 1898a). A respeito da arbitrariedade da medição do comprimento ele enfatiza as contingências envolvidas na escolha de um padrão de medição, como as condições minuciosamente estabelecidas para que a barra de platina e irídio depositada no pavilhão de Breteuil em 1869 seja considerada a medida padrão, o metro. O autor generaliza as conclusões a respeito da arbitrariedade da medição do tempo e do comprimento para outras magnitudes, como o peso, a massa e a temperatura. Ele conclui, assim, que as medições são baseadas em escolhas totalmente arbitrárias, não em uma necessidade imposta pela natureza.

Por fim, como as teorias coordenam uma série de leis à primeira vista dispersas, Le Roy acredita que as mesmas críticas dirigidas aos fatos e às leis podem ser repetidas às teorias. Entre a lei e a teoria há a mesma distância que entre a metáfora e o mito (LE ROY, 1899b, p. 527).

As teorias, por se tratarem de definições, escapam de maneira radical a qualquer verificação experimental. Se novas experiências parecem apontar a presença de uma contradição na teoria, não é necessário modificar suas partes já estabelecidas, sendo possível constituir novos fatos de maneira que a teoria *necessariamente* seja verificada. Em outras palavras, não existe a possibilidade de um *experimentum crucis*, sendo sempre possível operar modificações *ad hoc* que salvem a teoria. Na termodinâmica, por exemplo, é sempre possível encontrar uma constante que receba o nome de energia.

Além disso, por serem representações simbólicas da realidade, são passíveis de modificações infinitas, oferecendo ao longo da história diversas formulações para explicar o mesmo fenômeno. Le Roy cita, como exemplo, o fenômeno da luz que à época era explicado tanto pela teoria elástica quanto pela teoria eletromagnética. Segundo ele, ambas as teorias refletiam um ponto de vista legítimo sobre o fenômeno e ambas eram bem sucedidas na previsão de certos efeitos. Adotar uma das teorias se tornava uma questão de mera predileção relacionada aos objetivos que as teorias poderiam alcançar, assim como os gostos pessoais de cada cientista. Dessa forma, o autor discordava da concepção defendida por Duhem de que as teorias se aproximariam progressivamente de uma teoria limite universal que seria verdadeira no sentido próprio da palavra. Le Roy, pelo contrário, defende que não há teorias mais verdadeiras que outras, mas apenas teorias mais cômodas, como a geometria euclidiana em relação às outras geometrias.

A ciência, por visar o discurso rigoroso, depende da utilização de convenções, afinal, elas são capazes de transformar as percepções caóticas que recebemos da natureza em uma ordem harmoniosa. Essa ordem, no entanto, por ter surgido da cooperação entre a natureza – que ofereceu o Dado – e o espírito – que organiza esse dado através de um ponto de vista arbitrário –, responde mais às exigências práticas da vida como, por exemplo, a capacidade de previsão ou reprodução de um fenômeno, do que à busca de um conhecimento profundo da realidade. Os fatos, as leis e as teorias correspondem a três níveis nos quais o cientista exerce, cumulativamente, sua liberdade de criação. Assim, as teorias não são verdadeiras no sentido próprio da palavra, mas apenas ferramentas que se revelam cômodas ou incômodas dependendo do objetivo que o cientista almeja ao utilizá-las.

2.4 Conclusões sobre a natureza das convenções e hipóteses científicas

Nesse item buscaremos uma síntese do que já foi exposto acerca das convenções e hipóteses, contrapondo as posições de cada autor entre si com o intuito de esclarecer qual a opinião dos autores a respeito da natureza das convenções e hipóteses. Até aqui nos concentramos principalmente em apresentar as funções das convenções e hipóteses, assim como sua proximidade com os princípios científicos das diferentes disciplinas segundo Le Roy, Duhem e Poincaré. Os principais argumentos que justificam a introdução desses elementos nas diversas teorias científicas foram expostos. Agora buscaremos encontrar uma sinopse desses argumentos, realçando as partes onde é possível vislumbrar de forma mais evidente os significados das convenções e hipóteses para a teoria. Justapondo as diferentes atitudes pretendemos verificar se é possível encontrar similaridades, bem como diferenças nas reflexões dos cientistas analisados.

Poincaré, por exemplo, acredita que não temos intuição direta de algumas noções fundamentais da física, como o espaço ou tempo absoluto, bem como a simultaneidade de dois eventos. Essas afirmações são suportadas pelo fato de que é impossível realizar um *experimentum crucis* que prove a existência dessas entidades. Este autor notou que nossas definições de tempo e espaço interferem diretamente na medição dessas grandezas, ou seja, que o resultado de um experimento depende das premissas adotadas.

Como é possível garantir que um relógio que esteja em repouso e outro que esteja em movimento em relação ao mesmo sistema referencial marquem precisamente o mesmo

intervalo de tempo? Como é possível medir a velocidade da luz? As diversas experiências que podemos imaginar para testar a existência dessas grandezas só ganham sentido a partir de uma interpretação que estabeleça certas convenções como, por exemplo, que os relógios se comportam da mesma maneira tanto em repouso quanto em movimento, e que a luz mantenha sua velocidade constante e homogênea em todas as direções. Essas foram as convenções assumidas por Poincaré em 1900, no artigo *La théorie de Lorentz et le principe de réaction*, na qual ele oferece uma interpretação física das transformações de Hendrik Lorentz. O “tempo local” da teoria de Lorentz é interpretado por ele como o tempo marcado por um relógio em movimento, tornando as equações mais simples.

Os conceitos fundamentais da física, tais como o tempo e o espaço, são para Poincaré pressupostos que o cientista deve adotar para dar sentido e tornar a representação do fenômeno mais simples. Não é a experiência ou a razão que determinam o estabelecimento dessas convenções, mas o cientista. Da mesma maneira que os axiomas da geometria, essas convenções não são verdadeiras ou falsas, mas cômodas, pois oferecem uma representação simplificada da realidade.

Le Roy também considera que toda medição em física baseia-se em escolhas. Em sua visão, os aparelhos de laboratório e todas as técnicas experimentais dependem de um número desconhecido de definições, postulados, convenções e decretos que são estabelecidos arbitrariamente pelo cientista. As críticas dirigidas aos fundamentos da física são essencialmente as mesmas dirigidas aos fundamentos geométricos, afinal ele considera tanto a geometria, a física e a mecânica como matemáticas aplicadas a quantidades sensíveis. Nesse ponto Le Roy e Poincaré divergem, pois este último defendia que a geometria é diferente do estudo dos corpos sólidos, enquanto o primeiro não vê nenhuma diferença de natureza entre o conceito de esfera e o conceito de líquido perfeito (LE ROY; VINCENT, 1894, p. 685). Desta forma, como Le Roy não concebe nenhuma fronteira entre geometria e física no que diz respeito à natureza de seus objetos, as críticas dirigidas à primeira ciência são essencialmente as mesmas feitas à segunda.

As convenções surgem, novamente, como um artifício científico estabelecido arbitrariamente e destituído de valor objetivo cuja finalidade é o estabelecimento de uma linguagem comum orientada para a satisfação de interesses práticos e não de um conhecimento profundo da realidade. Nota-se que Le Roy identifica conhecimento profundo da realidade com a obediência de critérios absolutos. A partir de tal pressuposto é improvável que o surgimento das novas teorias, tanto geométricas quanto físicas, venha a ser encarados com otimismo; pelo contrário, as críticas aos fundamentos dessas ciências tradicionais

(geometria euclidiana e física newtoniana) foram vistas como a derradeira prova da contingência das verdades científicas.

Mesmo Poincaré, criador de algumas dessas críticas, veio a demonstrar apreensão com os abalos que elas poderiam causar à tradicional teoria newtoniana, tal como nos descreve seu compatriota Paul Langevin em um relato referente ao ano de 1904 (LANGEVIN, 1913, p. 702). As preocupações de Poincaré eram tanto filosóficas quanto científicas. Em relação ao primeiro aspecto era importante demonstrar que os princípios da mecânica, apesar de serem convenções, condensavam inúmeras experiências e, por essa razão, mantinham contato com a realidade porque eram estabelecidas a partir de leis que podiam ser verificadas de modo aproximado. Com referência ao último aspecto era necessário defender que os princípios, em particular os da mecânica, deveriam permanecer de alguma forma nas novas formulações teóricas que estavam sendo desenvolvidas, como a teoria eletrodinâmica de Maxwell.

Podemos considerar o conteúdo do artigo de Poincaré publicado em 1901 sob o título *Sur les principes de la mécanique* como um bom exemplo da defesa da objetividade dos princípios mecânicos frente aos possíveis ataques metafísicos. Não é à toa que o texto original foi pronunciado como parte do Congresso Internacional de Filosofia ocorrido em Paris no ano de 1900. O evento foi presidido por Émile Boutroux, filósofo francês que ficou conhecido por defender a contingência das leis naturais. O congresso contou com a presença tanto de filósofos quanto de cientistas, entre eles Bergson, Le Roy e Russell. Destacamos o diagnóstico de Boutroux em sua alocução inicial que afirmou, entre outras coisas, estar havendo um conflito entre a filosofia e a ciência. A filosofia, desconfiando das ciências naturais, buscava constituir-se como um domínio à parte; a ciência, por seu lado, procurava eliminar de seus princípios e métodos toda espécie de elemento filosófico (CONGRÈS INTERNATIONAL DE PHILOSOPHIE, 1968, p. XII-XIII).

As conclusões do artigo de Poincaré refletem a mesma tensão que Boutroux fez questão de ressaltar. Por um aspecto, os princípios da mecânica são convenções postuladas pelo cientista e por outro são generalizações naturais e diretas de leis experimentais particulares. As convenções, no domínio da mecânica, possuem uma natureza ambígua; elas são, ao mesmo tempo, fruto da liberdade de postulação do cientista e a síntese de um conjunto de experiências com objetos físicos ou análogos a eles. As leis particulares das quais foram deduzidas podem ser consideradas verdadeiras ou falsas, mas não os próprios princípios.

Como é possível observar a partir de nossa exposição, o conceito “convenção” adquire diversos significados na obra de Poincaré. Essa característica, por vezes denominada como polissemia das convenções (DE PAZ, 2014, p. 53), revela a dubiedade do conceito: por um

lado ele serve para abrir caminho entre os princípios geométricos, legitimando a existência das novas geometrias; por outro, ele afirma a solidez dos princípios mecânicos, garantindo uma suave transição entre a mecânica newtoniana e as novas teorias eletrodinâmicas. Na geometria o conceito assume as formas de convenções linguísticas, de axiomas geométricos, de definições disfarçadas e de convenções de medida. A física recupera todos estes significados e ainda inclui outros. Nesse domínio a convenção se expressa nos princípios da mecânica e nas hipóteses naturais e indiferentes.

Os primeiros artigos de Duhem exibem uma concepção bastante próxima à postura de Poincaré em relação à natureza dos princípios físicos. A aparente oposição entre os termos que os autores usam esconde, em nossa opinião, um acordo. Enquanto Poincaré cita o caráter natural e não arbitrário das convenções, Duhem não vê problema em admitir que elas sejam artificiais e arbitrárias. Em relação à primeira oposição, Poincaré utiliza o qualitativo “natural” quando deseja fazer menção às leis experimentais a partir das quais as convenções foram estabelecidas. Duhem concorda que as leis experimentais são os materiais com os quais os cientistas devem trabalhar para que sua teoria mantenha um sentido físico. Mas este autor prefere chamá-las artificiais exatamente porque deseja enfatizar o fator humano que interfere neste processo, afinal as hipóteses são algo além da simples tradução das leis experimentais (DUHEM, 1989, p. 22).

Já em relação à segunda oposição, Poincaré defende que as convenções sejam não arbitrárias porque deseja destacar os critérios empíricos e lógicos que conduziram o cientista a escolher uma convenção ao invés de outras. Duhem, por sua vez, também concorda que a escolha das hipóteses e convenções não seja feita ao acaso. A experiência, bem como as regras da álgebra e da geometria, são as únicas condições impostas ao cientista. No entanto, ele utiliza o adjetivo “arbitrário” para enfatizar que mesmo observando a tais imposições, ainda sim é possível formular uma infinidade de convenções e hipóteses válidas. As noções físicas ou químicas podem receber as mais diversas definições, assim como um conjunto de leis experimentais pode ser representado por diferentes variações de hipóteses. Entre a teoria física e a realidade sempre haverá uma margem de indeterminação.

As convenções que estabelecem a relação entre as propriedades fundamentais das noções e suas respectivas grandezas não são arbitrárias, mas elas são poucas e, por isso, insuficientes. O cientista é, portanto, obrigado a postular convenções adicionais. Já em relação às hipóteses, é impossível generaliza-las unicamente a partir das leis experimentais como pretendido por Newton. As hipóteses nunca serão a perfeita tradução do mecanismo que a

natureza nos oculta, mas o resultado de uma transformação imposta às leis experimentais pela mente do cientista.

Convenções além das fundamentais são permitidas e mesmo necessárias. Toda teoria física repousa sobre certo número de definições e hipóteses que são, em certa medida, arbitrárias (DUHEM, 1892b, p. 270). A mesma afirmação pode ser estendida à química. A analogia química, por exemplo, é uma convenção que não é resultado direto das noções fundamentais da química; os cientistas a estabeleceram através do método comparativo e a comunidade os aceitou. O estabelecimento dessas convenções foi guiado por critérios epistemológicos, tais como simplicidade, consistência, etc, mas esses critérios são relativos, ou seja, eles podem ser refutados ou substituídos por outros critérios. Por outro lado, essas convenções também podem ser perigosas se forem postuladas por cientistas que utilizam a metafísica como guia.

Duhem pensava que as antigas teorias físicas, como a cartesiana e a newtoniana, dependem da metafísica porque suas hipóteses fundamentais são deduzidas não das leis experimentais, mas de juízos sobre a natureza dos corpos (DUHEM, 1893c, p. 80). Essas teorias estariam tirando vantagem da indeterminação entre teoria e realidade para estabelecer convenções e hipóteses restritivas aos princípios teóricos. As restrições exigiriam, por exemplo, que todas as noções físicas possuam propriedades mecânicas. Mas nenhuma experiência impõe que os fenômenos *tenham* que ser expostos dessa maneira; quem impõe tais restrições são os próprios cientistas e por essa razão essas convenções e hipóteses são mais arbitrárias do que o necessário.

Acima de tudo é necessário que destaquemos o aspecto representativo com o qual Duhem caracteriza as teorias físicas. Como já mencionado, a teoria física é comumente encarada como uma explicação metafísica da realidade quando na verdade é uma mera representação dos fenômenos físicos. Dessa forma, os dois principais elementos de constituição da teoria (convenções e hipóteses) são representativos também. As definições serão representantes das noções físicas ou químicas envolvidas no fenômeno analisado, enquanto as hipóteses serão representantes das leis experimentais deste mesmo fenômeno. Enquanto símbolos, as convenções e hipóteses não são verdadeiras ou falsas, mas convenientes ou inconvenientes (DUHEM, 1996a, p. 37), boas ou más aproximações.

Mesmo declarando a impossibilidade de se atingir uma representação exata da realidade, Duhem acredita que algumas representações podem ser mais fiéis aos fenômenos do que outras. As teorias mecanicistas, por exemplo, seriam más aproximações porque aceitam convenções e hipóteses impostas pela metafísica. Através desta argumentação é

possível notarmos também qual é a função da teoria física na opinião do autor. Segundo ele, a teoria organiza sistematicamente a massa confusa das leis experimentais em um determinado conjunto de definições e hipóteses que, pelo seu número reduzido, auxilia nossa mente a memoriza-las. Essa formulação alinha-se com a posição de Ernst Mach que afirmava a economia de pensamento como o objetivo das leis científicas.

Já Le Roy discordava da tese defendida por Duhem de que as teorias seriam aproximações de uma representação perfeita dos fenômenos. Em suas palavras:

Variáveis de uma época a outra (as teorias), múltiplas para um mesmo objeto, contraditórias entre elas e, no entanto, equivalentes quanto aos serviços que prestam, elas são não como expressões cada vez mais aproximadas de uma verdade objetiva a qual se tende como a um limite, mas como linguagens mais ou menos cômodas para esquematizar os fatos, como instrumentos de redução e classificação, como molduras em grande parte artificiais que servem para por uma ordem fácil ao discurso que nos permite falar dos fenômenos⁷. (LE ROY, 1901a, p. 142, tradução e parênteses nossos).

Como é possível notar, este autor justifica a possibilidade de múltiplas teorias sobre um mesmo objeto, bem como as modificações que elas sofrem no decorrer da história, devido ao fato de que as teorias não são uma aproximação cada vez mais objetiva da realidade, mas apenas uma variação de pontos de vista práticos sobre o mesmo fenômeno. Qualquer teoria, seja atual ou ultrapassada, produz um conhecimento de mesmo valor. Como esse conhecimento está ligado à satisfação das nossas necessidades práticas e toda teoria foi um dia capaz de nos guiar de maneira útil nesse domínio, o valor das teorias, atuais ou ultrapassadas, é o mesmo. As teorias são, na verdade, linguagens cômodas e suas modificações são produzidas não com o intuito de torna-las mais objetivas, mas apenas mais manipuláveis.

Antes de terminarmos este capítulo, devemos justificar algumas características que podem ser vista como falhas. Em nossa conclusão Poincaré recebeu maior atenção porque comparativamente ele foi o autor que mais utilizou os conceitos de convenção e hipótese ao longo de sua carreira. Como consequência, há mais produção acadêmica sobre o papel das convenções na obra de Poincaré do que na de qualquer outro autor analisado. Duhem, após essa fase inicial, raramente voltou a utilizar o conceito, apesar de manter a ênfase na teoria

⁷ O texto em língua estrangeira é: « Variables d'une époque à l'autre, multiples pour un même objet, contradictoires entre elles et cependant, équivalentes quant aux services qu'elles rendent, elles sont apparues, non comme des expressions de plus en plus approchées d'une vérité objective vers laquelle on tendrait comme vers une limite, mais comme des langages plus ou moins commodes pour schématiser les faits, comme des instruments de réduction et de classification, comme des cadres aux contours en grande partie artificiels servant à mettre un ordre facile à retenir dans le discours qui nous permet de parler les phénomènes. »

como representação da realidade. Acreditamos que essa mudança de postura foi proposital, visando à diferenciação em relação aos outros autores. Veremos no próximo capítulo como se deu essa transformação. A respeito de Le Roy, nossa exposição é por vezes repetitiva porque o próprio autor também o é, reproduzindo os mesmos argumentos através de diferentes exemplos retirados da ciência.

Como já exposto, não há apenas um único caminho para a fundamentação de uma ciência. À disposição do cientista há diversas convenções e hipóteses. A experiência e critérios relacionados à racionalidade definitivamente são um dos guias mais usados. Porém, muitas vezes a experiência não é suficiente para convencer a comunidade sobre a validade de determinados princípios e a racionalidade chega mesmo a nos informar que tanto a adoção de uma hipótese quanto a adoção de outra são admissíveis. Diante desse impasse, quais critérios os cientistas utilizam para buscar consenso? Esse será o tema que buscaremos discutir no próximo capítulo.

3 OS CRITÉRIOS QUE CONDUZEM A ESCOLHA DAS CONVENÇÕES E HIPÓTESES

Este capítulo será focado no estudo dos critérios que nossos autores julgam relevantes serem seguidos no estabelecimento das convenções e hipóteses da teoria científica. Nessa linha, buscaremos investigar que tipo de validade o respeito aos critérios conferem à teoria. Além disso, questionaremos a origem desses critérios na tentativa de compreender melhor como que eles são capazes de produzir consenso na comunidade científica, bem como em que nível sua adoção envolve uma participação ativa do cientista. Por fim, examinaremos se a existência de múltiplos critérios reflete a multiplicidade de visões que o homem pode produzir sobre o mundo em que vive.

Como apontado pelos capítulos anteriores, há uma multiplicidade de opções no estabelecimento dos princípios fundamentais da ciência. Essa multiplicidade dota o cientista de certa liberdade, tornando os critérios em valiosos guias. O respeito aos experimentos e às regras lógicas são geralmente elencados como os critérios que todos os princípios teóricos devem obedecer. No entanto, como já visto, esses critérios são capazes de dotar a teoria de objetividade e consistência, mas ao mesmo tempo ensejam a criação de múltiplas teorias. As experiências não determinam a adoção de nenhuma das geometrias segundo Poincaré e, da mesma maneira, Duhem defende que uma mesma noção física pode receber inúmeras definições.

Partindo do pressuposto de que as teorias não são verdadeiras ou falsas, nossos autores analisaram a razão que conduzem os cientistas a preferir uma teoria em detrimento de outras. Nessa empreitada notaremos a relevância de critérios como simplicidade, simetria (beleza), fecundidade, economia, naturalidade, etc. Diante da equivalência das teorias Poincaré prefere aquelas que são mais convenientes. Será nosso objetivo analisar o que é essa conveniência. Para Le Roy a preferência revela mais uma questão de hábito e adequação aos valores do senso comum do que maior objetividade. Duhem concorda que o senso comum é responsável por dar certeza às teorias, mas considera que ele é incapaz de torna-las exatas. A exatidão é conquistada através das teorias científicas. Os princípios destas teorias, por sua vez, não são escolhas feitas pelo indivíduo, mas transmitidos conforme uma tradição. Com isso o autor desejava revelar que a origem dos critérios epistemológicos tem estreita relação com a história da ciência e o processo de desenvolvimento das teorias científicas.

3.1 Os principais critérios: experiência e razão

3.1.1 Espaço representativo e teoria dos grupos

Nesta seção analisaremos a relevância dos critérios experimentais e racionais na determinação das convenções e hipóteses científicas segundo os autores estudados. Primeiramente analisaremos os artigos de Poincaré que tratam sobre o papel das sensações na gênese das geometrias, bem como a relevância de critérios racionais na transformação do espaço representativo em espaço geométrico. Em seguida analisaremos a postura adotada por Duhem em torno de 1892 na qual defende a relevância da indução e da experiência na definição das grandezas e no estabelecimento das hipóteses. Apesar de reconhecermos que a experiência possui relevância nessa fase, buscaremos defender que este autor não merece o rótulo de empirista. Por fim, apresentaremos os argumentos de Duhem que buscam desqualificar as teorias mecanicistas com base em princípios racionais.

Apesar de negar que os axiomas geométricos pudessem ser comprovados experimentalmente, Poincaré admitia que experiências pudessem sugerir a adoção de uma determinada geometria ao invés de outras. Em dois artigos, o primeiro publicado em 1895, *L'espace et la géométrie* (POINCARÉ, 1895) e o segundo em 1903, *L'espace et ses trois dimensions* (POINCARÉ, 1903), reprisados posteriormente nos capítulos IV e III dos livros “A ciência e a hipótese” e “O valor da ciência”, respectivamente, Poincaré analisará as sensações que foram capazes de sugerir a criação da geometria euclidiana.

A análise do autor inicia-se pelo escrutínio do “espaço visual”, aquele oferecido por meio da nossa visão. Segundo Poincaré, esse espaço nos oferece um quadro visual limitado, como em uma moldura. Além disso, esse espaço não é homogêneo, pois os diferentes pontos da retina exercem diferentes funções na visão. Um ponto no centro da retina, por exemplo, não pode ser considerado idêntico a um ponto localizado na extremidade da retina. Da mesma maneira, um ponto amarelo não pode ser considerado idêntico a um vermelho; eles são qualitativamente diferentes e os percebemos de maneira diferente.

O espaço visual puro, termo utilizado por ele para referir-se às sensações fornecidas somente pelo sentido da visão, possui apenas duas dimensões. A terceira dimensão seria fornecida pelo esforço de acomodação e pela convergência dos olhos, sensações que não são

propriamente visuais, mas musculares, responsáveis por focar um objeto que esteja em algum ponto da retina. Ao conjunto dessas sensações fornecidas pelos olhos, visuais e musculares, Poincaré dá o nome de espaço visual completo. O espaço visual completo não é isótropo, ou seja, nem todas as retas que constituem esse espaço são idênticas entre si. As retas de altura e comprimento, fornecidas exclusivamente pela visão, são qualitativamente diferentes das retas de profundidade, pois estas são fornecidas pela sensação muscular.

Segundo Poincaré, se os olhos fossem imóveis ou se não fossemos conscientes dos movimentos dos quais são capazes, o espaço visual adquirido não teria nada de geométrico. Somente a partir da adição das sensações musculares, ou seja, somente a partir do momento que somos capazes de compensar um movimento externo, como o deslocamento de um objeto, por outro correlativo interno, como a focalização desse objeto, somos capazes de criar o espaço geométrico. Essa é a maneira, inclusive, que é possível diferenciar uma mudança de estado (a mudança da coloração do vermelho para o azul) de uma mudança de posição. Em outras palavras, se uma modificação interna é capaz de restaurar uma percepção externa, identificamos essa mudança como uma mudança de posição; se essa correção não é possível, as classificamos como uma mudança de estado. Como as correções envolvem um conjunto de outras sensações que não dependem somente de um dos órgãos sensoriais, torna-se evidente que nenhuma das nossas sensações isoladas teriam podido nos conduzir à ideia de espaço.

Poincaré ressalta que o objeto da geometria são as leis que regem a sucessão dos fenômenos de deslocamento e, como mencionamos, não é possível conhecer essas leis se não soubermos reconhecer e distinguir o que é mudança de estado e o que é mudança de posição. Os corpos que são capazes de serem frequentemente corrigidos por um movimento correlato são os corpos sólidos, invariáveis. Outros objetos de forma variável raramente sofrem mudança de posição sem nenhuma mudança de forma. Por essa razão, o autor afirma que se não houvesse corpos sólidos na natureza não seríamos capazes de restaurar as impressões iniciais apenas por uma modificação interna e, portanto, como a maior parte das mudanças de posição seriam acompanhadas de uma mudança de estado, não seríamos capazes de criar a geometria.

Ao espaço visual completo Poincaré ainda adiciona o “espaço motor”, ou seja, o espaço fornecido pelos outros músculos do nosso corpo. Segundo o autor, como os músculos são capazes de modificações independentes das sensações visuais, seria permitido considerarmos cada variação muscular como uma dimensão espacial extra. Dessa maneira, não seria difícil imaginar um espaço constituído de quatro dimensões ou mais no qual cada variação muscular possível equivaleria a uma dimensão espacial. Por qual razão, portanto,

somos levados a identificar apenas três dimensões espaciais? Segundo Poincaré, isso é resultado de um “hábito inveterado” do nosso espírito, de uma herança ancestral reforçada por inúmeras experiências que provaram ser úteis à defesa do organismo (POINCARÉ, 1903, p. 425; POINCARÉ, 1995, p. 81). Esse hábito, criado através da associação contínua de sensações musculares a sensações visuais, tem como intuito a simplificação da nossa representação espacial. Assim, através dessas associações somos capazes de representar, por exemplo, quais músculos devem ser contraídos para que seja possível alcançar determinado objeto.

O espaço criado a partir das sensações, como o espaço visual completo, é um “contínuo físico” em contraposição ao “contínuo matemático”. O contínuo matemático é aquele contínuo de três dimensões, infinito, homogêneo e isotrópico; é o contínuo com o qual a geometria euclidiana propriamente lida. O contínuo físico, ou seja, o contínuo fornecido pelas nossas sensações é impreciso. Entre três sensações convenientemente escolhidas, somos capazes de perceber a identidade da primeira com a segunda ($A=B$), da segunda com a terceira ($B=C$), e mesmo assim notarmos uma diferença entre a primeira e a terceira ($A\neq C$). O contínuo matemático, em contraposição, é exato; é impossível que ele contrarie as regras lógicas como faz o contínuo físico.

Já no caso das geometrias não euclidianas, Poincaré descreveu uma série de experimentos mentais que seriam capazes de engendrar uma familiaridade com as propriedades dessas geometrias. As primeiras formulações desses experimentos mentais foram apresentadas em dois artigos, o primeiro publicado em 1891 e o outro no ano seguinte. Esses exemplos continuaram a ser repetidos ao longo da carreira do autor, vindo inclusive a serem utilizados nos livros célebres de 1902, *La science et l'hypothèse* (POINCARÉ, 1984, p. 46 e 63), e no de 1905, *La valeur de la science* (POINCARÉ, 1995, p. 43).

Em 1891, no artigo *Les géométries non euclidiennes*, Poincaré nos oferece dois exemplos de experimentos mentais. O primeiro sugeriria a criação de um espaço de duas dimensões e o segundo da geometria esférica que, segundo o autor, é a geometria de Riemann estendida a três dimensões (POINCARÉ, 1891a, p. 770). O primeiro experimento pede que o interlocutor imagine um mundo plano, suficientemente afastado de outros mundos para não sofrer suas influências e povoado por seres inteligentes destituídos de espessura. Na opinião do autor, os seres deste mundo atribuiriam ao espaço duas dimensões. O segundo exemplo repete as condições do primeiro, modificando apenas a forma deste mundo e de seus seres, que agora seriam esféricos. A conclusão deduzida desse experimento é que os seres que habitam esse mundo seriam levados a criar a geometria esférica porque as propriedades do

mundo em que vivem são semelhantes às propriedades que esta geometria faz uso. A linha reta, definida como o caminho mais curto entre dois pontos, equivaleria nesse mundo a um arco de círculo ou, no caso em que há pontos diametralmente opostos, uma infinidade de grandes círculos que podem ser traçados paralelamente entre tais pontos.

O experimento mental referente à geometria de Lobachevsky foi formulado no ano seguinte no artigo *Correspondance sur les géométries non euclidiennes* (POINCARÉ, 1892b). Nesse artigo Poincaré pede que imaginemos um mundo de forma esférica e, dentro dessa esfera, um meio cujo índice de refração e temperatura seja variável. A temperatura no limite da esfera alcança o zero absoluto e aumenta conforme se esteja mais próximo do seu centro. Em consequência, o índice de refração deste meio responde a uma equação que varia de acordo com a proximidade do limite dessa esfera. Além disso, todos os objetos desse mundo se movem lentamente e possuem um índice baixo de calor específico. Ainda, o coeficiente de dilatação de todos os corpos desse mundo são os mesmos.

Nesse mundo, os seres e os objetos que se aproximassem do limite dessa esfera diminuiriam de tamanho devido à contração provocada pela baixa temperatura. O movimento lento e o baixo índice de calor fazem com que os seres e os objetos entrem quase imediatamente em equilíbrio térmico com o ambiente e, por essas razões, tais seres seriam incapazes de notar as mudanças de temperatura entre um ponto e outro, assim como a mudança de dimensões que seus corpos sofrem. Se eles forem capazes de construir termômetros e réguas com os objetos a seus dispor, esses instrumentos sofreriam as mesmas deformações que seus próprios corpos porque possuem o mesmo coeficiente de dilatação. A medição, portanto, seria constante em qualquer parte do mundo. Do mesmo modo, eles pensarão que o mundo no qual habitam é infinito, pois quão mais próximos se aproximassem do limite da esfera, menor será suas dimensões e em consequência, menor seus passos. Tais seres ficariam “presos” na infinidade do espaço, tal como expõe o paradoxo da flecha de Zenão.

Por fim, Poincaré conclui que estes seres chamariam de reta uma circunferência ortogonal a esfera em que vivem por três razões: 1- os raios luminosos, ao atravessar esses meios diversamente refringentes, não seriam mais retilíneos, mas circulares; 2- eles notarão, através de medições, que as circunferências serão o caminho mais curto de um ponto a outro; 3 – Se um corpo sólido girar de maneira que uma de suas linhas permaneça fixa, essa linha terá a forma de uma circunferência. Como resultado, os seres desse mundo preferirão adotar a geometria de Lobachevsky porque seu mundo compartilhará propriedades (comportamento dos sólidos, movimento dos corpos, propagação da luz, etc.) semelhantes aos desta geometria.

Com o intuito de revelar a importância dos critérios racionais no estabelecimento das convenções geométricas, iremos utilizar um debate ocorrido entre Poincaré e outro matemático francês chamado Louis Couturat. Tal debate teve início em 1896 com a publicação do artigo *Études sur l'espace et le temps de MM. Lechalas, Poincaré, Delbœuf, Bergson, L. Weber et Evellin*. Neste artigo, Couturat apresenta entre outras coisas sua crítica à concepção de espaço tal como Poincaré havia apresentado no artigo *L'espace et la géométrie* que analisamos no início desta seção. Tal crítica ensejou uma resposta de Poincaré intitulada *Réponse a quelques critiques*, publicada em 1897 pela *Revue de Métaphysique et de Morale*. O artigo contém as respostas de Poincaré às críticas de Couturat e também às críticas de Lechalas acerca de outro artigo publicado na mesma revista versando sobre a natureza do raciocínio matemático. A parte do texto que nos interessa e na qual analisaremos será aquela na qual Poincaré dirige-se à Couturat.

Couturat elabora duas críticas à teoria de Poincaré. A primeira dirige-se à tese poincareana de que os grupos de transformações seriam anteriores à formação da concepção de dimensões espaciais ao assinalar uma suposta petição de princípio no argumento. Couturat aponta que Poincaré considera o grupo de transformações limitado à sexta ordem exatamente porque o espaço tridimensional é pressuposto no raciocínio, não havendo nenhuma outra razão para tal (COUTURAT, 1896, p. 659). A segunda crítica de Couturat mira a definição de ponto com a qual Poincaré trabalha. Para ele, tal definição seria ou uma convenção de linguagem e, portanto, arbitrária, ou então um fato experimental e, portanto, incorreria em outro círculo vicioso, pois o termo definido necessariamente constaria da definição (COUTURAT, 1896, p. 660).

Na resposta à primeira das críticas de Couturat, Poincaré reafirma que a noção de grupo é anterior à formação da concepção tridimensional de espaço porque, em sua opinião, antes mesmo de criarmos o edifício teórico que é a geometria, a experiência nos ensina que os objetos passíveis de deslocamentos podem ser classificados em grupos. Grupo, para Poincaré, seria um conceito necessário ao entendimento porque organizaria a experiência em blocos estáveis e fixos, permitindo a classificação das nossas percepções através de conceitos abstratos e estruturais. A escolha de um grupo de deslocamentos, portanto, é que será responsável pela determinação do número de dimensões espaciais, não o contrário.

Entre os diversos deslocamentos que podemos escolher para ser o padrão com o qual organizaremos os outros subgrupos, vários são logicamente equivalentes e, ao mesmo tempo, nenhum traduz exatamente os movimentos com os quais estamos familiarizados. A escolha do padrão depende de uma convenção. *A convenção, portanto, deve estabelecer uma relação*

entre nossas percepções e artifícios teóricos que, por serem idealizados, conferem estabilidade à teoria, estabilidade que antes não poderia ser inferida das nossas observações.

No caso em que estamos analisando, a convenção adotada deve determinar que os deslocamentos observados sejam o resultado de duas transformações: a primeira transformação por ser muito semelhante mas não idêntica aos deslocamentos observados será considerada como o *deslocamento real*; a segunda transformação, por ser minúscula, será considerada como uma pequena variação de propriedades sem caráter geométrico (POINCARÉ, 1897, p. 65). Através dessa convenção os deslocamentos reais se comportarão rigorosamente como a teoria dos grupos de transformações prevê, justamente porque a convenção que escolhemos provê estabilidade aos dados de nossa observação.

Convêm contextualizarmos rapidamente a posição que Couturat parece defender. Utilizar a petição de princípio como argumento principal pode sugerir que Couturat esteja posicionando-se junto à visão kantiana de que o espaço euclidiano é uma intuição *a priori* do espírito e, portanto, qualquer tentativa de justificação da gênese do espaço a partir de elementos *a posteriori* tornar-se-ia um círculo vicioso. Com o intuito de combater tal posição, Poincaré deliberadamente defende que a noção de grupo pré-existe no espírito humano e, portanto, elege seu próprio *a priori*.

Mas qual razão justifica que a noção de grupo é verdadeiramente *a priori* e não o espaço euclidiano? Fica claro a partir de artigos anteriores que Poincaré não acreditava que a geometria euclidiana era uma intuição pura do espírito exatamente em razão da existência de outras geometrias. Esse argumento desqualifica o *a priori* kantiano, porém não é suficiente para defender a noção de grupo como seu verdadeiro substituto. Poincaré, de fato, não apresentou nenhum argumento claramente a favor da teoria dos grupos (FOLINA, 1994, p. 220) como uma forma imposta ao nosso entendimento. Os argumentos a favor de tal posição só podem ser deduzidos indiretamente, através de uma interpretação do conjunto dos textos do autor. Tal tarefa é evidentemente trabalhosa e nos afastaria demasiadamente dos objetivos traçados no início da seção e, portanto, julgamos que a apresentação feita até aqui seja satisfatória em relação às pretensões desta dissertação.

A segunda característica importante do pensamento de Poincaré ressaltada pelo artigo diz respeito aos aspectos que tornam uma escolha mais cômoda que outra. Couturat havia criticado a definição de ponto com a qual Poincaré trabalhou, procurando mostrar que sendo ela uma convenção linguística ou um fato experimental, ambas conduziriam o autor a uma contradição. Poincaré, por outro lado, admite que sua definição de ponto seja, de fato, uma

convenção, mas não aceita que por tal razão a definição deveria ser considerada arbitrária e, conseqüentemente, abandonada.

Em sua defesa Poincaré demonstra a possibilidade de diversas definições de ponto e, em seguida, apresenta os motivos que nos levam a escolher uma definição em detrimento de outra. No desenvolvimento de sua demonstração, Poincaré utiliza um exemplo no qual subgrupos de G adotam diferentes definições de ponto. Por exemplo, o subgrupo de transformações G^1 adota a definição usual de ponto tal qual a geometria euclidiana e, como resultado, obtém um espaço tridimensional. Já o subgrupo de transformações G^2 , que adota uma definição de ponto mais complexa, resulta em um espaço de quatro dimensões; por fim, o subgrupo G^3 gera um espaço de cinco dimensões. Dentre tantas possibilidades, Poincaré então se questiona o que nos leva a escolher o subgrupo G^1 como padrão ao invés dos subgrupos G^2 ou G^3 . Sua resposta foi a seguinte:

Responderei que escolhemos G^1 porque o achamos mais cômodo e isso por duas razões:

1° Por razões de ordem racional e, por exemplo, porque de todos os grupos isomorfos à G , G^1 é aquele que confere ao espaço o menor número de dimensões. G^1 é, portanto, o mais *simples*.

2° Por diversas razões de ordem experimental. (POINCARÉ, 1897, p. 67, tradução nossa, grifo do autor).⁸

O grupo de transformações corporificado pelos axiomas da geometria euclidiana é matematicamente mais simples que outros grupos e, além disso, os movimentos representados por esse grupo são similares à percepção que temos do comportamento de um sólido real. Dessa forma é que os axiomas da geometria não são experimentais, pois não são exatamente iguais ao comportamento dos sólidos, e mesmo assim a experiência nos auxilia a escolher entre todos os grupos possíveis. Como a possibilidade de adotar outro grupo de transformações é dada, Poincaré conclui que *escolhemos* a geometria euclidiana por sua *comodidade*. Comodidade, como entendida por Poincaré, é o critério que nos guia levando em conta tanto a experiência quanto a racionalidade, ou seja, tanto às sugestões do espaço representativo fornecido pelas nossas sensações visuais, musculares, etc., quanto às exigências impostas pelo conceito de grupo.

⁸ O texto em língua estrangeira é : « Je répondrai qu'on choisit G^1 parce qu'on trouve cela plus commode, et cela pour deux sortes de raisons :

1° Pour des raisons d'ordre rationnel et par exemple parce que de tous les groupes isomorphes à G , c'est G^1 qui donne à l'espace le moins grand nombre de dimensions. C'est donc G^1 qui donne à l'espace le moins grand nombre de dimensions. C'est donc G^1 qui est le plus *simple*.

2° Pour diverses raisons d'ordre expérimental. »

Como dito anteriormente, Poincaré concebia a geometria como resultado da escolha de um grupo particular de transformações espaciais possíveis. Seres humanos, habituados com o grupo de transformações similar aos dos sólidos reais, escolhem tal grupo como sendo o *padrão* no qual relacionarão todos os fenômenos naturais (POINCARÉ, 1895, p. 645). Porém, apesar da noção de grupo ser imposta, o mesmo não acontece com a adoção específica de um grupo. O grupo padrão não é necessariamente imposto, pois é possível adotar outros grupos de transformações. O que nos leva a crer que tal grupo é necessariamente o único é a dificuldade que encontramos em abandonar *hábitos* inveterados de nosso espírito.

A partir da conclusão e dos argumentos acima expostos é possível notar uma importante característica da postura de Poincaré com relação às convenções. Contrariamente ao que o sentido da palavra pode sugerir, a arbitrariedade não é uma característica das convenções analisadas por ele. As convenções situam-se num terreno no qual a experiência é um guia e a necessidade de evitar contradição seus limites. Porém, tal terreno é vasto suficiente para permitir a liberdade do cientista de escolher quais convenções irá adotar. Na verdade, as características que se sobressaem e que justificam a escolha de Poincaré pelo termo “convenção” é a comodidade e a simplicidade. Tais características são altamente relevantes no conjunto do trabalho de Poincaré e parecem carregar consigo as marcas daquilo que pode ser considerado verdadeiro. Uma análise das razões pelas quais tais características possuem especial valor para o cientista francês será efetuada na próxima seção.

3.1.2 Duhem e a preponderância da experiência e da indução

O primeiro artigo de verve filosófica publicado por Duhem corresponde, na verdade, à sessão inaugural do curso que ele ofereceu na Faculdade de Ciências de Lille (ARIEW; BARKER, 1996, p. 1), seu primeiro posto como professor universitário. Dessa maneira, é compreensível que esses textos reflitam as ideias recebidas pelo jovem Duhem, recém-formado físico pela *École Normale Supérieure* (ENS). Segundo BRENNER (1990, p. 51) havia duas tendências principais entre os professores desta instituição: a dos físicos experimentais e a dos matemáticos de rigor dedutivo. Além disso, as constantes referências às obras de Poincaré durante toda sua carreira, bem como o testemunho de seu colega de estudos Jacques Hadamard, são prova de que Duhem seguia os trabalhos do matemático de Nancy com bastante proximidade (HADAMARD, 1928, p. 467). Essa influência não ocorreu

somente à distância, por meio da leitura das publicações, mas também presencialmente. Duhem frequentou as aulas de Poincaré na Faculdade de Ciências de Paris (JAKI, 1987, p. 41) e este último veio a participar da banca de avaliação da tese do físico parisiense.

Acreditamos que todas essas influências estejam presentes nos textos publicados em torno de 1892. Neles é possível identificarmos o experimentalismo dos professores de Duhem quando ele afirma que a “[...] experiência fornece o material das definições e das hipóteses nas quais todas as teorias se baseiam [...]” (DUHEM, 1989, p. 34). Identificamos também o rigor dedutivo exigido pelos matemáticos da ENS, afinal, a teoria científica deve ser deduzida de “[...] um pequeno número de definições e proposições estabelecidas em linguagem matemática [...]” (DUHEM, 1989, p. 14). Por fim, podemos vislumbrar a influência de Poincaré através da preponderância das convenções na definição das grandezas e no estabelecimento de restrições às hipóteses físicas.

Ao apontar as influências sofridas por Duhem não desejamos defender que não há contribuição original em suas obras. Por outro lado, pensamos que nenhuma produção humana seja imune de influências externas. Acreditamos, portanto, que a contextualização dos textos auxilia na compreensão dos mesmos, oferecendo um fundo comum no qual podemos localizar de maneira mais ou menos acurada os argumentos e disputas de cada época. No caso em questão, buscaremos defender que a preponderância da experiência notada por alguns comentadores, apesar de presente, deve ser contemporizada; Duhem, mesmo no primeiro período, era consciente de que a experiência sozinha não seria suficiente para erigir a teoria científica. O método matemático, apesar de oferecer alguns perigos, é também indispensável. Finalmente, iremos sugerir que a utilização das convenções, embora aparente um acordo entre Poincaré e Duhem, esconde uma diferença entre estes cientistas que se aprofundou no decorrer da história, culminando com a formulação da posição holista coroada pela publicação de *La théorie physique*.

A historiografia caracteriza o conjunto de nove artigos publicados entre 1892 e 1893⁹ como pertencentes ao “primeiro período” (BRENNER, 1990, p. 29). Este período apresentaria posições próximas das influências acima descritas. O período posterior a este foi caracterizado pela defesa do holismo, posição tornada famosa pela historiografia recente como a “tese Duhem-Quine”, formulada por Willard Van Orman Quine com base nas posições do “segundo período” de Duhem.

⁹ DUHEM, 1892a; DUHEM, 1892b; DUHEM, 1892c; DUHEM, 1892d; DUHEM, 1893a; DUHEM, 1893b ; DUHEM, 1989 ; DUHEM, 1996a; DUHEM, 1996b.

No chamado primeiro período, Duhem defende que a ciência se inicia quando o espírito humano, capaz de conhecer diretamente somente os fenômenos aparentes da matéria bruta e as leis que regem a sequência desses fenômenos, entra em contato com a experiência, o domínio dos fatos. Cada observação é capaz de presenciar um fato novo. A acumulação de um grande número de fatos constitui o primeiro nível de conhecimento das coisas externas. Esse conhecimento nos oferece uma massa confusa que o autor chama de empirismo. A generalização desses fatos através da indução nos revela as leis experimentais. Apesar de ser um conhecimento mais perfeito que o empirismo, o conhecimento das diversas leis experimentais ainda forma uma massa confusa e inseparável, denominada “pura ciência experimental”. A ciência teórica é o último nível que o conhecimento das coisas externas pode alcançar, oferecendo-nos um pequeno número de definições e princípios com os quais podemos deduzir as leis experimentais que a teoria pretende representar. Esse nível não é confuso, pois oferece um fio condutor que a mente humana pode seguir sem se perder.

As definições que a teoria faz uso estabelecem uma relação entre a noção física ou química e as grandezas aritméticas ou geométricas. Segundo Duhem, toda noção possui certas propriedades fundamentais. Se essas propriedades forem representadas adequadamente através de convenções, a mesma noção pode ser relacionada a diferentes grandezas. As seguintes “condições” são, por exemplo, equivalentes às “propriedades fundamentais” da noção de calor:

Em cada ponto de um corpo qualquer, a grandeza terá um valor determinado;

1. Dois pontos igualmente quentes possuem o mesmo valor;
2. Dois pontos desigualmente quentes possuem valores diferentes, o maior valor correspondendo ao ponto mais quente;
3. Se dois pontos tendem a se tornar igualmente quentes, os valores da grandeza considerada que os correspondem tenderão a um mesmo limite. (DUHEM, 1892b, p. 286).¹⁰

A multiplicidade de grandezas que podem ser relacionadas a uma noção leva Duhem a caracterizar as definições como arbitrárias, afinal, em física não haveria maneira de determinarmos se uma definição é melhor que outra. No entanto, julgamos que as convenções que correspondem às propriedades mais fundamentais e imediatas das noções físicas, como as

¹⁰ O texto em língua estrangeira é: « 1. En chaque point d'un corps quelconque, cette grandeur a une valeur déterminée;

2. En deux points également chauds, elle a la même valeur ;

3. En deux points inégalement chauds, elle a des valeurs différentes, la plus grande valeur correspondant au point le plus chaud ;

4. Si deux points tendent à devenir également chauds, les valeurs de la grandeur considérée qui leur correspondant tendent vers une même limite. »

apresentadas acima, não seriam consideradas arbitrárias pelo autor. Ele não afirma diretamente isso, mas podemos deduzir essa afirmação do fato de que essas convenções são compartilhadas por todas as definições e são como a possibilidade de representação em linguagem matemática de tais noções. Já as outras convenções que não refletem essas propriedades fundamentais podem receber infinitas formulações, dependendo das diversas variações que a mente do físico pode criar. Pensamos que, essas sim, são as convenções arbitrárias que Duhem faz referência.

Utilizaremos um exemplo com o intuito de esclarecer tal posição. No artigo *Commentaire aux principes de la thermodynamique*, Duhem define a temperatura de maneira similar a feita no artigo *Quelques réflexions au sujet des théories physiques* (RTP): ela faz “[...] corresponder certas grandezas às propriedades físicas de um sistema.” (DUHEM, 1892b, p. 284) ¹¹. Da mesma forma, todas as características da temperatura apresentadas em RTP, tais como sua arbitrariedade e a relação de não naturalidade com a noção que pretende representar, são novamente reafirmadas, com uma sutil diferença em relação à natureza da noção de calor. Enquanto em RTP o calor é considerado uma noção qualitativa, no atual texto ela é considerada “não quantitativa”.

Outra semelhança presente em ambos os textos é a relevância da experiência no processo de determinação dos elementos teóricos fundamentais. A experiência é responsável por fornecer o material básico com o qual os elementos serão construídos, assim como pela validade das consequências deduzidas desses elementos, o que equivale a afirmar que “[...] toda pesquisa física tem a experiência como ponto de partida e como ponto de chegada [...]” (DUHEM, 1989, p. 34). Essa característica do trabalho de Duhem, também notada por BRENNER (1990, p. 34), leva alguns autores como KÖCHE (2001) a considera-lo, nesse primeiro período, um empirista indutivista. Concordamos que Duhem tenha dado mais atenção ao método experimental do que à teoria nos textos pertencentes ao “primeiro período”. Da mesma forma, concordamos que a indução parece ser fundamental, principalmente em RTP. Contudo, discordamos que a atenção ao método experimental torne Duhem um empirista. Buscaremos esclarecer a participação da experiência na determinação das teorias, mostrando que elas são relevantes para garantir um fundo objetivo à teoria, mas que as definições e hipóteses formuladas a partir delas dependem da intervenção do cientista, modificando de certa forma a natureza desses fundamentos.

¹¹ O texto em língua estrangeira é : « [...] correspondre certaines grandeurs aux propriétés physiques d’un système ».

A capacidade de sentirmos o calor de diferentes corpos e sermos capazes de compará-los entre si são os dados empíricos que ensejam a formulação das noções fundamentais da calorimetria. Porém, o conceito de temperatura não é um mero reflexo das nossas sensações, constituindo na verdade uma correção dessas sensações com base em nossa faculdade de abstração. Duhem afirma: “Essa propriedade dos corpos que nós designamos pelas palavras ‘estar quente’, ‘estar frio’, ‘ser mais ou menos quente’, *nossa faculdade de abstração* não demora a lhe atribuir propriedades que a sensação não nos oferece.” (DUHEM, 1892b, p. 284, nosso itálico) ¹².

Mesmo no primeiro período das publicações de Duhem, todos os elementos da teoria são estabelecidos de forma mediada, ou seja, o cientista não é capaz de ter à sua disposição a experiência pura. Ainda que a experiência ofereça o material original com o qual a teoria irá trabalhar, garantindo assim seu fundo objetivo, a teoria não trabalha diretamente sobre a experiência. A ciência opera com termos representativos. A temperatura, por exemplo, representa a noção de calor. Mas entre a noção de calor e a temperatura há uma verdadeira diferença de natureza. Apesar de não concebermos a noção de calor como passível de adição, sua representante possui tal propriedade. Todas as hipóteses de uma teoria, por sua vez, não são a adequada tradução das leis experimentais. Enquanto a noção física ou química e as leis experimentais nos garantem o fundo objetivo, as “adições” dos cientistas visam dar maior precisão às noções confusas oferecidas pelo empirismo. Por essa razão, toda teoria física carrega algo pessoal de cada teórico não porque ele deseja, necessariamente, que suas teses metafísicas sejam provadas, mas porque é impossível fundar uma teoria a partir dos confusos dados experimentais.

Por isso, estamos seguros que a caracterização desse método através do rótulo “empirista”, tal como feito por KÖCHE (2001, p. 185), constitui um exagero. Afinal, não é a experiência diretamente que determina o estabelecimento das convenções e hipóteses, mas “[...] nossa faculdade de abstrair agindo sobre os dados sensoriais [...]” (DUHEM, 1893c, p. 88). Em outras palavras, o cientista de certa maneira age sobre a experiência, seja através da abstração ou da tradução dos fenômenos percebidos. Não é a experiência sozinha, “crua”, que produz os elementos teóricos fundamentais. Mesmo que a experiência tenha mais relevância que a teoria nos primeiros escritos de Duhem, pensamos que isso não o torna um empirista.

¹² O texto em língua estrangeira é: « Cette propriété des corps que nous caractérisons par les mots: *être chaud, être froid, être plus ou moins chaud*, notre faculté d'abstraction ne tarde pas à lui attribuer des caractères que la sensation ne nous marque pas. »

Os métodos matemáticos, por sua vez, são encarados por Duhem como instrumentos utilizados pelos cientistas naturais para alcançar os objetivos almejados por suas teorias. Havia à época, entre os físicos, uma desconfiança em relação ao método matemático. Alguns deles, inclusive, desejavam “[...] banir o emprego da matemática no estudo da física [...]” (DUHEM, 1989, p. 34). Duhem não é partidário dessa posição, considerando que os cálculos, desde que fossem sugeridos a partir do método experimental, poderiam ser ferramentas úteis. As leis físicas deduzidas analiticamente das definições e princípios da teoria deveriam, então, ser comparadas com as leis experimentais para tornarem-se verificadas. O método matemático é, portanto, apenas um meio, uma ferramenta, entre a origem e a verificação experimental das teorias.

O principal argumento que Duhem apresentou durante o primeiro período para combater a legitimidade das teorias mecanicistas defendia que as convenções restritivas dessas teorias não eram deduzidas pelo método experimental, mas através de considerações metafísicas. Por essa razão Duhem condena os “cálculos pouco elegantes” que constavam no livro de Poincaré sobre a teoria da elasticidade. Em sua opinião, a deselegância dos cálculos era fruto da utilização de hipóteses obsoletas advindas da teoria molecular (DUHEM, 1982d, p. 272).

Essas hipóteses eram estabelecidas, por sua vez, através de convenções arbitrariamente impostas pelos cientistas. Apesar de Duhem e Poincaré utilizarem a mesma terminologia, é possível notar que os autores as utilizam em contextos bastante diversos. Enquanto Poincaré emprega as convenções na solução de problemas relacionados às mudanças paradigmáticas que ocorriam no meio científico, Duhem as utiliza para apontar problemas inerentes à teoria física, dentre eles a arbitrariedade existente entre experiência e os símbolos que a teoria utiliza para representá-la.

Em um primeiro momento Duhem defendeu que a arbitrariedade das definições e hipóteses poderia ser diminuída caso os cientistas observassem atentamente as leis experimentais que a originaram e notassem que hipóteses e convenções restritivas estavam sendo feitas sem a “autorização” da experiência, vindas exclusivamente da vontade dos cientistas em verem seus sistemas metafísicos comprovados pelo sucesso da teoria. No segundo período, porém, Duhem percebe que entre as leis experimentais enunciadas vulgarmente e as leis naturais há um espaço maior do que ele imaginava. A passagem de uma lei enunciada pelo senso comum a uma lei enunciada pelo cientista não é unívoca, ela pode ser traduzida por meio de diferentes “dicionários”, ou seja, por meio de diferentes teorias. Os enunciados científicos não seriam apenas a tradução da linguagem comum em termos mais

precisos, mas o resultado de uma tradução na qual o significado dos termos é estabelecido de acordo com o escopo teórico que o cientista adota. Dessa maneira, dois cientistas podem observar o mesmo fato, mas este só passa a ter qualquer significação a partir da interpretação de uma determinada teoria.

Duhem, no primeiro período, defende teses próximas a de Poincaré: os fundamentos científicos são convenções sugeridas pela experiência e estabelecidas obedecendo às regras do método matemático; a decisão individual do cientista possui grande relevância na determinação das convenções e elas podem receber diversas formulações igualmente legítimas; como resultado, a teoria não é verdadeira, nem falsa, mas conveniente ou inconveniente; as teorias podem receber hipóteses *ad hoc* que reestabelecem o acordo com as leis experimentais; a verificação experimental é capaz de confirmar hipóteses individuais.

Pequenas diferenças, no entanto, podem ser notadas. Duhem adota desde o início um pluralismo *sui generis*. As teorias, por serem representações, não são verdadeiras nem falsas. Porém, sempre haverá uma teoria que será mais conveniente que outras, não em razão de nossos hábitos, mas porque ela será mais próxima de uma representação ideal dos fenômenos. Essas diferenças foram acentuadas com o tempo. A nova formulação de Duhem, tal como aparece em *La théorie physique* (TP), sugere que as definições e hipóteses fazem parte de um sistema complexo e interligado, fruto de um processo histórico do qual o cientista é herdeiro e a verificação experimental só é capaz de confirmar ou negar a teoria em bloco. O autor também abandona a interpretação dos princípios teóricos como convenções estabelecidas pelo cientista. As formulações de TP, na verdade, atacam as posições epistemológicas de Poincaré em diversos pontos, o que levou Maiocchi (1990) a propor que o livro célebre de Duhem é também um livro contra o convencionalismo.

3.1.3 A parte devida a experiência e a parte imposta pela razão nos princípios inverificáveis da física

Como pretendemos demonstrar até aqui, Poincaré ou mesmo Duhem acreditavam que a experiência sozinha não poderia determinar a escolha de um princípio científico. O primeiro acreditava que a experiência apenas sugeria a adoção de certos princípios, oferecendo liberdade ao cientista que desejasse optar por outros que fossem contrários a seus hábitos. O segundo acreditava que o método experimental seria o melhor critério para julgar a

pertinência das convenções e hipóteses ao mesmo tempo em que admitia a impossibilidade de acesso direto à experiência; os cientistas teriam acesso somente a uma versão simbólica e, de alguma forma, modificada por suas mentes. Contudo, parece que ambos admitiam, pelo menos a princípio, que a experiência seria suficientemente autônoma e constituía o domínio da objetividade.

Le Roy, contudo, buscou mostrar que em um fato experimental, a parte devida aos próprios fenômenos e a parte devida a intervenção do cientista estão intrinsecamente emaranhadas. A diferenciação entre experiência e consciência ou objetividade e subjetividade é tênue. Essa tese e outras que abordaremos nesta alínea estão presentes em dois artigos publicados em 1901. Um deles, denominado *Un positivisme nouveau*, foi divulgado pela *Revue de métaphysique et de morale* e o outro, intitulado *De la valeur objective des lois physiques*, faz parte de uma discussão promovida pela *Société française de philosophie*.

Tanto a revista quanto a sociedade mencionada acima possuem Xavier Léon como um de seus fundadores. A semelhança entre as instituições continuam, afinal ambas promoveram a reaproximação entre cientistas e filósofos na França da virada do século XIX para o XX. Por essa razão, era comum presenciar lado a lado publicações de autores como Bergson, Couturat, Émile Meyerson, Émile Durkheim, Léon Brunschvicg, Émile Boutroux, Gaston Milhaud, Dominique Parodi, Jacques Hadamard, Paul Painlevé, Paul e Jules Tannery e Paul Langevin.

Mesmo que as instituições tivessem como objetivo a comunhão de filósofos e *savants* e que seus representantes compartilhassem publicações, não podemos interpretar que a união e o respeito pela relevância das disciplinas estavam em alta. Pelo contrário, temos razões suficientes para acreditar que, no geral, o ambiente acadêmico francês caminhava em direção ao aprofundamento destas diferenças, tendo a especialização das disciplinas como uma de suas consequências mais preocupantes. Por essas razões, a criação da revista e da sociedade devem ser vistas não como o reflexo da união natural entre filosofia e ciência, mas como a ação de alguns renomados representantes que buscavam resistir a tendência generalizada de cisão que podia ser notada mesmo nos círculos sociais menos intelectualizados.

Esse clima de animosidade parece ter sido o pano de fundo da sessão inaugural da Sociedade Francesa de Filosofia promovida no dia vinte e oito de fevereiro de 1901. Nesta ocasião, Le Roy teve a oportunidade de apresentar diante de um público composto de cientistas e filósofos sua comunicação posteriormente divulgada sob o título *Un positivisme nouveau*. Tal comunicação deve ter provocado verdadeiro alvoroço, afinal a sociedade sequer publicou as opiniões dos participantes, alegando que “[...] por razões materiais foi impossível

[...]” resumi-la (BULLETIN DE LA SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHILOSOPHIE, 1901, p. 6).

Especulamos que a sessão promovida exatamente um mês após tal incidente com o mesmo comunicador, mas com um tema muito mais específico (“O valor objetivo das leis físicas”), foi uma tentativa de redimir o início conturbado da sociedade. Não é a toa que Jules Tannery, presidente da sessão, enfatizou que a discussão deveria ocorrer *exclusivamente* sobre o tema, chegando mesmo a solicitar que os participantes formulassem suas objeções e observações de maneira detalhada. Mesmo com essa preparação a sessão só veio a ser encerrada após longas cinco horas e meia.

Poincaré, presente na sessão inaugural, não participou da reedição promovida um mês após. A primeira sessão parece ter sido suficiente para motivá-lo a publicar uma dura, mas respeitosa refutação (POINCARÉ, 1902) às teses apresentadas. Como as conclusões filosóficas de Le Roy estavam apoiadas nas conhecidas teses epistemológicas de Poincaré, julgamos que as críticas veementes deste último significam mais uma defesa que um ataque. Em outras palavras, Poincaré ao investir contra Le Roy visava resguardar sua própria reputação. A diferenciação entre a posição de cada um dos envolvidos nessa polêmica tinha tanta importância para Poincaré que ele republicou suas críticas em “O valor da ciência”, dedicando toda a terceira e última parte do livro a esta questão.

Não é nosso desejo remontar a totalidade da polêmica entre estes autores, afinal isto ultrapassaria os limites impostos ao nosso capítulo. Iremos nos restringir a abordar o que Le Roy considerava constituir a experiência científica, de acordo com as suas duas comunicações já mencionadas. Segundo o autor, o fato com o qual a ciência lida não é o mesmo fato com o qual o senso comum é capaz de formular. O fato científico não constitui apenas uma tradução do fato bruto, aquele que o vulgo é capaz de enunciar através da linguagem cotidiana. Le Roy defende que é impossível diferenciar no fato científico qual parte é devida aos fenômenos e qual parte é devida a intervenção do cientista. Em outras palavras, qual parte resulta do objeto e qual parte é resultante do sujeito. A experiência, mais que apenas desvelada, seria inventada.

Àqueles que acreditam ser possível chegar aos fatos científicos através do método indutivo, Le Roy levanta duas críticas. A primeira crítica questiona os pressupostos metafísicos envolvidos nesse método. Para o autor, a credibilidade da indução depende de um juízo sobre o verdadeiro processo das transformações ocorridas na natureza. Ou seja, para que a indução seja válida é necessário que possamos demonstrar que a natureza obedece a leis determinísticas. A segunda crítica questiona a consistência da lógica por detrás do método

indutivo. Para Le Roy é ilógico que princípios gerais e exatos sejam extraídos a partir de leis particulares imprecisas.

Os fatos científicos, portanto, não seriam adquiridos por indução. Os fatos são, por um ponto de vista, impostos e, por outro, feitos. São impostos do ponto de vista do senso comum. Um eclipse, por exemplo, é percebido como um jogo de sombras pelo vulgo, como também por outro animal que possua visão. O fato científico, no entanto, é algo mais que a simples percepção desse jogo de sombras. Entre o fato bruto e o fato científico há um intermediário que é a teoria. O fato científico articula o jogo de sombras percebido com a lei da gravitação e a medição do tempo que, por sua vez, são elementos teóricos.

Le Roy, negando qualquer possibilidade de objetivação do fato, chega mesmo a defender que não há anterioridade da percepção em comparação ao pensamento. Os fatos – sejam os brutos ou os científicos - e o pensamento se implicam reciprocamente (LE ROY, 1901b, p. 19). A observação do fato e sua constituição através da razão são contemporâneos. Eles são desenvolvidos a partir da ação e da reação de um sobre o outro. Em suma, o cientista *faz* o fato científico, ou seja, o fato bruto só adquire uma característica científica a partir da intervenção do próprio cientista. O autor, no entanto, faz questão de ressaltar que o cientista ao qual ele se refere não é o indivíduo, mas o que ele denomina 'entidade social impessoal'.

As leis científicas, por serem deduzidas dos fatos comuns, não são verdades científicas no sentido geral e rigoroso, ou seja, válidas para qualquer tempo e lugar. No momento em que elas cessam de estarem em contato com os fenômenos particulares que sugeriram sua criação elas se tornam decretos livres feitos pelo cientista. Daí que elas retiram sua exatidão, já que surgem da decisão do cientista. Uma lei científica é uma definição imposta às coisas, uma convenção pura. Elas não dependem mais da experiência, mas a experiência depende delas. Isto é, se um experimento contrariar o decreto das leis, o cientista não julgará que a lei esteja errada, mas que houve algum erro na apuração do dado experimental. Os ajustes serão feitos com a intenção de que a lei seja confirmada em todos os casos. A experiência, assim, deve obedecer às leis e receber sua forma (LE ROY, 1901a, p. 145).

As leis, por serem convencionais, são inverificáveis. Qualquer tentativa que busque verifica-las provocará inevitavelmente um círculo vicioso, dado que os aparelhos utilizados foram construídos com base na própria teoria que pretende ser verificada. Além disso, a própria calibração dos instrumentos, quer dizer, os ajustes que devem ser feitos para que eles sejam capazes de oferecer uma leitura “fiel” e precisa, são sugeridos a partir da teoria que se deseja verificar. Assim, “[...] a lei da queda dos corpos torna-se a própria definição de queda livre [...]” (LE ROY, 1901b, p. 17).

As “verdades” científicas alcançadas pela intervenção convencional, por sua vez, não são estabelecidas linearmente. Ou melhor, como a teoria é constituída por diversos elementos teóricos, a determinação de um deles provoca simultaneamente um efeito nos outros; as verdades se implicam mutuamente. No caso da mecânica clássica, o estabelecimento da lei de aceleração implica a definição de diversos conceitos, como força, massa e aceleração. Igualmente, a lei de aceleração não pode ser concebida fora do conjunto das outras leis de Newton que definem a inércia e a igualdade da ação e da reação. Por isso, a contingência de uma de suas partes, mesmo que mínima, é refletida para todas as outras. O menor resultado científico implica o conjunto da teoria.

3.2 Simplicidade, comodidade e outros critérios axiológicos

3.2.1 Poincaré: conveniência, a origem evolutiva dos critérios epistêmicos e a relação desses critérios com a metafísica

Em relação à Poincaré, fomos capazes de demonstrar na seção anterior que mesmo os critérios experimentais e racionais não são capazes de determinar qual teoria é a mais adequada. O espaço representativo que construímos a partir das interações com o mundo pode ser substituído por outro espaço representativo, igualmente legítimo, construído a partir de um experimento mental. E vale ressaltar que essa proposição é verdadeira tanto para nós, quanto para os “seres não euclidianos”. Eles também seriam capazes de imaginar um experimento mental euclidiano. A teoria dos grupos, por sua vez, nos demonstra analiticamente a validade de diversos grupos de transformações, ou seja, a existência matemática tanto das geometrias euclidianas quanto das não euclidianas.

A legitimidade experimental e racional das diversas geometrias torna a preferência pela utilização de uma delas totalmente arbitrária. Contudo, essa arbitrariedade nunca existiu na prática. Desde seu surgimento a geometria euclidiana foi vista como um sistema perfeito, tanto por sua exatidão lógica quanto pelo sucesso de suas aplicações. Como é possível que, apesar da possibilidade e legitimidade das outras geometrias, tenhamos adotado a geometria euclidiana por tanto tempo e, mesmo após a descoberta das novas geometrias, continuemos a

preferi-la? Outro critério que não seja experimental ou racional deve explicar nossa predileção.

Segundo Poincaré, o critério que decidiu e continuará decidindo qual teoria devemos adotar é a conveniência, algumas vezes denominada “comodidade”. A conveniência, ou comodidade, apontaria qual teoria seria mais adequada a nossos hábitos, mas não qual teoria seria mais verdadeira que outras. Nesse sentido, o autor afirma que a geometria euclidiana é e continuará sendo nossa geometria predileta. Afinal, quais elementos tornam uma geometria mais conveniente? Ao analisarmos o critério de conveniência perceberemos sua proximidade com outro, o critério de simplicidade. A geometria euclidiana é mais conveniente porque é mais simples.

Ao defender que a transição da mecânica newtoniana para as novas teorias físicas, como a eletrodinâmica de Maxwell, deveria acontecer respeitando-se os princípios, Poincaré não estava sendo apenas prudente. A defesa da mecânica tradicional não era apenas a defesa de uma teoria que havia passado por inúmeros testes experimentais. O autor também estava fazendo uma defesa da simplicidade. A teoria mecânica deveria ser preservada porque é mais simples que as novas teorias e, por essa razão, permaneceriam válidas em um cenário que não lidasse com objetos movendo-se a velocidades próximas da luz em espaços macro ou microscópicos. Será que a adoção do critério de simplicidade implica a adesão à tese metafísica de que o mundo é intrinsecamente simples? Analisemos, portanto, o que é conveniência para Poincaré e qual solução este autor oferece para não associar a adoção do critério de simplicidade com teses metafísicas..

A geometria euclidiana é e permanecerá sendo a mais cômoda devido as seguintes razões: 1- Porque ela é mais simples, ou seja, mais simples porque ela é compatível com os hábitos de nosso espírito e porque ela é matematicamente mais simples (menos complexa); 2- Porque suas propriedades se assemelham às propriedades dos sólidos naturais, esses corpos semelhantes aos nossos membros, olhos e com os quais fabricamos nossos instrumentos de medida. A conveniência, de acordo com o segundo critério, depende da semelhança entre as propriedades do espaço geométrico e as propriedades do espaço representativo. Para Poincaré, essa confluência torna a geometria mais conveniente, afinal os objetos e movimentos que ocorrem nesse espaço são familiares aos objetos e movimentos que lidamos no cotidiano.

Além da semelhança entre o espaço geométrico e representativo, há também a simplicidade matemática. Os grupos de transformações das geometrias não euclidianas realizam movimentos mais complexos do que o grupo de transformações euclidiano. Dessa maneira, notamos que a geometria euclidiana é a mais conveniente não porque é idêntica a

uma suposta intuição que temos do espaço, mas porque os deslocamentos euclidianos, sendo intercambiáveis entre si, são traduzidos analiticamente em um menor número de termos equacionais do que as outras geometrias. Mas é importante ressaltar que essa simplicidade matemática não é um critério independente, mas conjugado ao critério de semelhança. Se fosse independente, poderia sugerir a adoção de uma geometria bidimensional, matematicamente mais simples que o espaço tridimensional. Como não é independente, trabalha em conjunto com o primeiro critério de semelhança e, por essa razão, considera o espaço tridimensional mais simples.

Poincaré, no entanto, menciona que a simplicidade não está relacionada somente a simplicidade dos termos matemáticos, mas também aos hábitos do nosso espírito. Sem dúvida, um enunciado matematicamente simples torna as equações mais compactas e o cálculo mais rápido. Uma teoria mais semelhante às nossas percepções e melhor adaptada às nossas condições de entendimento tornam os teoremas e suas demonstrações mais naturais. Mas será que a praticidade do cálculo e a familiaridade com os elementos teóricos são suficientes para tornar uma teoria cômoda? Afinal, cada ser humano decide sobre a conveniência das teorias individualmente e a partir da observação destes mesmos critérios? Acreditamos que o hábito tem uma função essencial no processo de assimilação da comodidade das teorias. Contudo, devemos nos deter aqui para não escaparmos dos objetivos impostos a esta seção. A análise do hábito será um tema discutido na próxima seção.

Ainda a respeito da conveniência, Poincaré chega a se questionar se algum dia observações astronômicas poderiam servir como critério para definir qual geometria seria mais cômoda. Se a geometria de Lobachevsky for verdadeira, por exemplo, a paralaxe de uma estrela bastante distante será finita, enquanto se a geometria de Riemann for verdadeira ela será negativa. Porém, Poincaré lembra que em experiências como essa, aquilo que chamamos de linha reta é simplesmente a trajetória de um raio de luz e, não importa o resultado das medições, teremos sempre a opção de renunciar à geometria euclidiana ou modificar as leis da ótica ao admitir que o raio de luz não se propaga rigorosamente em linha reta.

Na opinião de Poincaré, a última opção é mais vantajosa e, portanto, a geometria de Euclides não deve temer nenhuma nova experiência. O autor defende que seres com o espírito e os sentidos semelhantes aos nossos que recebessem impressões convenientemente escolhidas, mas que não recebessem nossa educação, construiriam um geometria diferente da euclidiana e localizariam os fenômenos do mundo exterior nesse espaço que seria não euclidiano ou, mesmo, de quatro dimensões. Para nós, educados no mundo atual, se fossemos

bruscamente transportados para esse mundo, não teríamos dificuldade em relacionar os fenômenos ao nosso espaço euclidiano.

Uma rápida nota deve ser feita a respeito do amparo que as geometrias supostamente teriam de qualquer observação astronômica. Sobre esse assunto, o desenvolvimento da ciência decidiu contrariamente a Poincaré. Através das observações do eclipse de Sobral de 1919, a comunidade científica concluiu que sob a influência de intensos campos gravitacionais o raio de luz se curva, confirmando a teoria geral da relatividade de Einstein e, assim, abandonando a geometria euclidiana e adotando a geometria do espaço-tempo como a mais cômoda para interpretar os fenômenos macro e microfísicos.

Não deixa de ser irônico que as contribuições de Poincaré no campo da eletrodinâmica, como sua interpretação física das transformações de Lorentz, tenham conduzido a comunidade científica a contrariar sua predição em relação à preferência das geometrias euclidianas. Se os princípios da mecânica newtoniana são convenientes assim como a geometria euclidiana, podemos deduzir que Poincaré defenderia, da mesma forma, que a mecânica seria mais conveniente do que qualquer outra teoria física? Será que Poincaré também afirmaria que a mecânica clássica permaneceria a teoria física mais cômoda?

Enquanto Poincaré parece ter errado na previsão em relação à geometria euclidiana, seu diagnóstico no campo físico foi mais bem sucedido. No ano anterior a publicação do artigo no qual Einstein propõe a relatividade restrita, Poincaré participou de uma conferência onde apresentou seu diagnóstico a respeito da situação da física, além de sugerir um prognóstico dos futuros desenvolvimentos. A conferência, publicada em 1904 sob o título *L'état actuel et l'avenir de la physique mathématique* (POINCARÉ, 1904a) foi pronunciada por ocasião do Congresso de Artes e Ciências – parte da Exposição Universal de 1904 em Saint Louis, Estados Unidos. O ilustre analista acreditava haver indícios que apontavam uma crise na disciplina e que transformações estavam próximas de acontecer. Desejando prever as consequências dessa crise, Poincaré lança um olhar sobre a última profunda mudança ocorrida na física.

Em sua opinião, tal mudança ocorreu no fim do século XVIII quando a mecânica celeste atingiu seu pleno desenvolvimento, dando espaço para as inovações da física matemática de Newton, trabalhando principalmente com base em equações diferenciais. Segundo o autor, a mudança de uma “física das forças centrais” para uma “física dos princípios” veio acompanhada também de uma transformação nas concepções científicas. As leis não eram mais vistas como uma harmonia interna, estática e imutável ou mesmo um modelo ideal que a natureza busca imitar, mas simplesmente como uma relação constante

entre os fenômenos passados e futuros. Enquanto a antiga física buscava descrever minuciosamente as forças que operavam por detrás dos fenômenos, a nova limitava-se a apontar os princípios gerais que regiam os fenômenos.

Na opinião de Poincaré, da mesma maneira que a última crise na física havia provocado uma transformação na qual a nova teoria assimilou de maneira geral os princípios fundamentais da antiga, provavelmente o mesmo ocorreria novamente. Poincaré apostava que os princípios da mecânica clássica permaneceriam como um caso particular da nova teoria, apostando na conveniência do sistema newtoniano frente aos novos experimentos (ZAHAR, 2001, p. 108). Segundo o autor:

A mecânica vulgar, mais simples, permaneceria uma primeira aproximação, já que seria verdadeira para as velocidades que não fossem muito grandes, de modo que encontraríamos ainda a antiga dinâmica sob a nova. Não teríamos que lamentar ter acreditado nos princípios, e mesmo, como as velocidades demasiado grandes para as antigas fórmulas só seriam sempre excepcionais, o mais seguro, na prática, seria ainda fazer como se continuássemos a acreditar neles. São tão úteis, que se deveria conservar-lhes um lugar. (POINCARÉ, 1995, p. 133).

A conveniência da mecânica clássica, portanto, parece advir do fato de que seus princípios foram criados com base em leis experimentais verificadas de modo bastante aproximado. Logo, os princípios condensam inúmeras experiências em um único enunciado, auxiliando o cientista a “economizar” verificações. Além disso, devido à generalidade de seus princípios, novas experiências nunca poderão vir a refuta-los diretamente. Apesar dessa imunidade, é possível que os princípios venham a ser abandonados. Isso ocorre quando eles deixam de ser fecundos, ou seja, quando os princípios, apesar de permanecerem irrefutáveis, não explicam ou não são mais capazes de auxiliar a teoria a conhecer e prever os fenômenos. Nesse sentido, a história da ciência nos provou que alguns dos princípios mecânicos continuaram a ser fecundos, mesmo nas novas formulações relativistas. Não deixa de ser curioso que Boltzmann, defensor da importância do critério de fertilidade nos princípios físicos, coincidentemente compartilhava a sessão de abertura do congresso de 1904 com Poincaré.

A partir dessa análise, podemos concluir que os princípios da mecânica newtoniana são convenientes porque oferecem uma maneira simples, econômica e geral de representar os fenômenos físicos, com a característica adicional de que os cientistas podem utiliza-los sem preocupação porque não há experiência que pode vir a contradizê-los. A geometria euclidiana, o espaço absoluto, o tempo absoluto e a simultaneidade de dois acontecimentos, noções utilizadas pela mecânica clássica, são outras simplificações da realidade que incrementam

ainda mais sua conveniência. Simples, gerais, econômicos e fecundos; esses são os critérios que Poincaré parece defender para que os princípios sejam convenientes.

Mas o que a adoção desses critérios e sua conveniência dizem a respeito da ontologia da natureza e nossa capacidade de desvendá-la? Será que a adoção destes critérios epistêmicos significa a aceitação implícita de pressupostos metafísicos? Em outras palavras, será que Poincaré defendia que princípios simples são mais convenientes porque a natureza também é simples? Pelo o que foi esboçado da postura de Poincaré até aqui, parece óbvio que o autor negaria qualquer acusação metafísica às suas concepções epistemológicas. Contudo, se a adoção de certos critérios responde somente a uma necessidade humana, torna-se bastante difícil manter a defesa da objetividade científica. Motivado pela teoria da evolução de Darwin que operava sua influência também entre outros físicos, como Mach e Boltzmann (PULTE, 2008, p. 134), Poincaré buscou naturalizar os critérios epistêmicos a partir de uma perspectiva evolutiva, esquivando novamente das interpelações metafísicas.

Desde 1898 Poincaré mostrava sua predileção por argumentos que agregavam fatores evolutivos. Um dos textos no qual ele justifica a conveniência da geometria euclidiana a partir de argumentos que aludem a teoria de Darwin foi publicado no *The Monist* sob o título *On the foundations of geometry*. O texto foi originalmente escrito em francês e, então, traduzido para o inglês por T. J. McCormack. O artigo soa bastante como uma continuação do *Réponse a quelques critiques* porque as explicações sobre como ocorre a passagem da teoria dos grupos para a determinação das dimensões espaciais, assim como a escolha sobre a definição de ponto são novamente retomadas e discutidas extensivamente.

A importância do hábito nas discussões acerca do espaço entra em foco. Para Poincaré, o hábito é o responsável pelas associações entre certas sensações e a noção de direção, provocando a falsa ideia de que possuímos uma intuição direta da geometria euclidiana. Porém, essas associações de ideias, por serem complexas, só podem ser resultado de um processo habitual extremamente longo (POINCARÉ, 1898b, p. 5). Poincaré não afirma diretamente, mas é possível concluirmos que esse processo extremamente longo extrapola a vida humana individual, configurando um hábito repetido por gerações. Dessa forma, levantamos a hipótese de que Poincaré possa estar sugerindo que tais hábitos são, na verdade, uma característica genética. Verificaremos se tal hipótese se sustenta em face dos próximos textos a serem analisados mais a frente.

Uma novidade trazida pelo texto do *The Monist* é a caracterização das convenções como *artificiais*. Tal adjetivo está sendo utilizado em contraposição àquilo que pode ser deduzido da natureza. Ou seja, as convenções, por mais que sejam guiadas por critérios

experimentais, de simplicidade e de racionalidade, são, em última instância, determinadas por nós, seres humanos. Cito:

Em suma, tais leis (dos deslocamentos geométricos) não são impostas a nós pela natureza, mas impostas por nós à natureza. Mas se as impomos à natureza é porque ela permite que façamos. Se ela oferecesse muita resistência, nós deveríamos buscar em nosso arsenal por outra forma mais aceitável a ela.¹³ (POINCARÉ, 1898b, p.11-12, tradução e parênteses nossos).

A ressalva que deve ser feita aqui é para que não confundamos a qualificação *artificial* com *arbitrário*. Afinal, se as convenções fossem arbitrárias a natureza poderia de alguma maneira oferecer resistência. Se ela não oferece, isso é suficiente para Poincaré considerar nossas convenções como satisfatoriamente adequadas.

A qualificação de *artificial* pode parecer, finalmente, como uma tomada de posição de Poincaré. No entanto, novamente o autor encontra uma maneira de afirmar algo sem ser categórico. Em outras palavras, sua posição é facilmente qualificada como dúbia, afinal as convenções são *artificiais*, mas a natureza as aceita. Ou seja, de alguma forma a natureza ainda consegue controlar nossas escolhas sem, porém, torna-las *naturais*.

Outro questionamento que deve ser feito diz respeito à resistência demonstrada pela natureza. Afinal, como essa resistência é manifestada? Ela possui algum traço característico com o qual deveríamos estar atentos? Aparentemente, a simplicidade é um desses traços. Apesar de não podermos estar certos sobre outros, parece seguro afirmarmos que, no geral, Poincaré considera a resistência da natureza como fraca. No caso das geometrias, por exemplo, três são as opções equivalentes que a natureza admite. Partindo para o campo da física, diversas teorias podem dar conta de um mesmo fenômeno, como visto anteriormente no caso da eletrodinâmica. Em suma, podemos caracterizar Poincaré como defensor do pluralismo teórico exatamente por acreditar que a natureza é maleável o suficiente para aceitar diferentes explicações.

Segundo Poincaré, essa conveniência é alcançada através de uma escolha. Mas que tipo de escolha é esta? O autor ao descrever um mundo no qual a geometria de Riemann seria a mais conveniente, ou seja, ao oferecer uma interpretação física para tal geometria, põe em evidência a relevância das experiências, das impressões que captamos do mundo ao nosso redor na determinação da geometria que nos é mais cômoda. Dessa forma, o ato não é consciente ou voluntário, aparentemente contrariando a tese de que as geometrias surgem a

¹³ O texto em lingual estrangeira é: “In fine, these laws are not imposed by nature upon us but are imposed by us upon nature. But if we impose them upon nature, it is because she suffers us to do so. If she offered too much resistance, we should seek in our arsenal for another form which would be more acceptable to her.”

partir de uma escolha. Como o próprio Poincaré comenta, hábitos inveterados de nosso espírito possuem grande influência nas definições geométricas. Portanto, pensamos que Poincaré está se referindo a uma ação que a primeira vista é natural, mas que na verdade esconde uma escolha. Mas se tal escolha não é informada, não é consciente, como ela pode ainda assim ser considerada uma escolha? Tal problema não parece ter solução se considerarmos apenas os argumentos apresentados no artigo atualmente analisado, portanto, busquemos outro texto que esclareça essa questão.

Em 1907, num prefácio escrito e traduzido exclusivamente para a edição americana de “O valor da ciência” e posteriormente reprisado no primeiro capítulo do livro *Science et méthode* (POINCARÉ, 1924), Poincaré defenderá que certos critérios epistêmicos, como a simplicidade, são também critérios resultantes da adaptação das espécies ao seu ambiente, promovendo uma vantagem evolutiva àqueles que os adotam. O artigo, denominado *The choice of facts*, discute quais critérios deveriam guiar os cientistas na escolha dos fatos que suas teorias pretendem generalizar. O ponto central do artigo busca a dissolução da contradição entre as noções de utilidade e verdade. Por essa razão, a resposta de Poincaré reproduz, de certa maneira, sua defesa da conveniência como critério capaz de nos conduzir a descoberta da verdade. Afinal os fatos, bem como as teorias, caso fossem determinados a partir do capricho dos cientistas, seriam arbitrários. Mas eles não são escolhidos ao acaso. Certos critérios guiam o cientista em sua escolha. Os critérios, por sua vez, não foram escolhidos em razão de uma conveniência que só diz respeito aos nossos hábitos; eles resultam de um aprimoramento evolutivo.

Primeiramente, Poincaré aponta os critérios capazes de nos conduzir a uma teoria útil: eles devem ser *gerais, regulares, semelhantes, simples, econômicos*, mas, sobretudo, *belos*. Poincaré faz com que todos os critérios anteriores sejam reduzidos ao critério da beleza. A simplicidade é bela e por isso preferimos os fatos simples; a economia de esforço, uma constante tendência científica, também é bela, e por isso ela é vantajosa (POINCARÉ, 1924, p. 16). Ele, então, se questiona como essa concordância surgiu:

É meramente porque as coisas que consideramos belas são aquelas que estão mais bem adaptadas à nossa inteligência e que, conseqüentemente, são as ferramentas que a inteligência sabe melhor manusear? Ou é, pelo contrário, devido à evolução e a seleção natural?¹⁴ (POINCARÉ, 1958, p. 9, tradução nossa).

¹⁴ O texto em língua estrangeira é : « Is it simply that the things which seem to us beautiful are those which best adapt themselves to our intelligence, and that consequently they are best at the same time the implement this intelligence knows best how to use? Or is there here a play of evolution and natural selection? ».

Os critérios, portanto, não refletem somente uma ontologia da natureza, por um lado, ou a simples escolha do cientista, por outro. Os critérios surgem da concordância, da adaptação do espírito humano com o mundo ao seu redor. Para exemplificar seu pensamento, Poincaré diz que a Europa, herdeira do pensamento grego, dominava o mundo à época porque seu amor à beleza intelectual era mais vantajoso do que o amor dos selvagens pelas cores berrantes e os furiosos ruídos de seus tambores (POINCARÉ, 1924, p. 17). Enfim, a utilidade da adoção desses critérios, a vantagem que eles são capazes de produzir às raças que os adotam, são indícios de que eles conduzem também ao conhecimento verdadeiro da realidade.

3.2.2 Le Roy: a contingência dos critérios e a via do absoluto

Nesta alínea apresentaremos a opinião de Le Roy a respeito da utilização de critérios que justifiquem a opção dos cientistas por determinados princípios. Para ilustrar sua posição, que parece ter permanecido a mesma durante toda carreira, utilizaremos outra discussão promovida pela Sociedade Francesa de Filosofia no ano de 1904. Nesta sessão o físico e matemático Paul Painlevé defende que o movimento absoluto e o princípio de causalidade, antes considerados noções *a priori*, poderiam naquele estágio da ciência ser determinados de uma maneira puramente positiva. Le Roy foi o opositor que recebeu mais destaque na discussão, apontando a contingência dos critérios adotados pela ciência, tais como a simplicidade e a fecundidade. Em sua opinião, só é possível conhecer verdadeiramente a noção de movimento absoluto através da metafísica. Analisaremos em detalhes o conteúdo dos seus argumentos, mas primeiro preocupemo-nos em apresentar a tese inicial de Painlevé.

Sua tese baseia-se em uma diferenciação que foi batizada pela tradição em filosofia da ciência como a “[...] distinção entre o contexto da descoberta e o contexto da justificação [...]” (SCHICKORE, 2014). Através de uma análise histórica sobre os fundadores da mecânica (Aristóteles, Copérnico, Galileu, Kepler, Newton, etc), Painlevé conclui que a crença *apriorística* no espaço absoluto e, em consequência, no movimento absoluto – ele considera estas noções inseparáveis – foi imprescindível para conduzi-los a formulação dos axiomas mecânicos. Mas, já em sua época, tais axiomas podiam ser enunciados de uma maneira puramente positiva, independente de todas as suspeitas filosóficas ou metafísicas sobre seu valor (PAINLEVÉ, 1905, p. 30). Em suma, a filosofia foi importante no contexto da descoberta, mas deixou de sê-lo no contexto da justificação.

Sabendo que as observações eram capazes de captar somente movimentos relativos, os copernicanos mesmo assim adotaram uma tríade referencial privilegiada com a qual relacionavam todos os movimentos observados. Os escolásticos adotaram a mesma tríade absoluta, apesar da sua formulação ligeiramente diferente do princípio de causalidade. A atitude moderna, contudo, não mais adotaria o movimento absoluto pelas mesmas razões metafísicas. O movimento absoluto bem como seus princípios auxiliares (as três leis de Newton) poderiam ser considerados experimentais diante das explicações e previsões que eram capazes de oferecer, como o cálculo do movimento dos planetas e das marés, do achatamento da Terra, da variação do peso de acordo com a latitude, e do movimento do pêndulo de Foucault.

Por fim, Painlevé arrisca algumas considerações filosóficas, destacando que estaria abandonando o terreno científico para se aventurar no domínio das “concepções individuais”. Em sua opinião, uma crítica dos princípios mecânicos que buscasse ser verdadeiramente justa profunda e filosófica deveria ser antecedida por uma crítica das próprias condições do nosso conhecimento. Para ele, as razões que nos fazem crer na existência dos corpos exteriores e dos outros homens são exatamente as mesmas que nos fazem crer no movimento absoluto. Ao reduzir a problemática da possibilidade da ciência à possibilidade do próprio conhecimento, Painlevé pretendia reforçar a credibilidade da primeira através da evidência da segunda.

Estratégia semelhante foi adotada por Poincaré no início do mesmo ano, quando seu nome foi envolvido em uma polêmica a respeito do heliocentrismo nas páginas da imprensa francesa (GERINI, C.; GINOUX, J., 2012, p. 110). Na ocasião, os jornais acusaram Poincaré de corroborar com a condenação de Galileu pela Igreja Católica por afirmar em “A ciência e a hipótese” que as frases “a Terra gira” e “é cômodo supor que a Terra gira” teriam o mesmo sentido. Replicando às acusações e buscando preservar sua imagem no meio científico, Poincaré enviou uma carta ao renomado astrônomo Camille Flammarion justificando que o mal entendido ocorreu porque, utilizando a linguagem da metafísica moderna, ele desejava afirmar que é igualmente cômodo supor a rotação da Terra ou a existência do mundo exterior (POINCARÉ, 1904b, p. 216).

A resposta de Le Roy ressaltou que o método histórico empregado por Painlevé para descrever as diferentes formulações do princípio de causalidade apontam não para a objetividade dos fundamentos mecânicos, mas para a relevância dos preconceitos e postulados implícitos na interpretação das observações. Os fundadores da mecânica aceitaram como axiomas, ou seja, como verdades evidentes por elas mesmas, proposições que não passavam de uma postulação estabelecida por eles mesmos. Afinal, o movimento absoluto é,

simplesmente, um movimento que preferimos descrever em relação a um referencial e no qual negligenciamos de relacionar com qualquer outra coisa. Qual critério é capaz de decidir o referencial que se deve adotar?

Le Roy aponta que, geralmente, consideramos absoluto a tríade e o relógio que oferecem a representação mais *simples* à teoria. Este seria, por exemplo, o principal critério relacionado como capaz de decidir entre a utilização do sistema copernicano ou ptolemaico. Mas ele considera necessário indicar com precisão o significado do apelo ao critério de *simplicidade*, ou seja, analisar as razões pelas quais tal critério poderia ser utilizado de maneira legítima nas decisões do campo científico. Antigamente os físicos justificavam a preferência pelos movimentos mais simples através de argumentos metafísicos: eles pensavam que a natureza seria ontologicamente simples e que, portanto, essa simplicidade seria refletida nas leis. Quão mais simples fosse um movimento, mais ele seria efeito de uma causa real.

Contudo, a ciência moderna se afastou profundamente da metafísica. Ao operar a análise da noção de simplicidade empregada pela ciência, Le Roy aponta que, por depender em grande parte dos nossos hábitos, ela carregaria consigo uma boa dose de arbitrariedade. O uso do critério de simplicidade não tem nenhum valor absoluto e a força de seu convencimento jaz em seu apelo ao senso comum. O autor nos oferece o seguinte exemplo:

Um polinômio de mil graus ou uma função seno é a mais simples? Do ponto de vista da análise pura é, incontestavelmente, o polinômio; do ponto de vista do cálculo numérico é a função, devido à existência das tabelas trigonométricas. Veem como o julgamento difere de acordo com o ponto de vista que se adota? E como se classificam hierarquicamente os pontos de vista senão por suas vantagens práticas oferecidas ao discurso ou à ação?¹⁵ (LE ROY, 1901a, p. 146, nossa tradução).

O mesmo ocorre nas vezes em que o critério de fecundidade intervém na escolha de teorias que sejam equivalentes em suas previsões e logicamente consistentes. Teorias mais fecundas significam, em realidade, teorias mais facilmente manipuláveis (LE ROY, 1901a, p. 142). As teorias que se impõem com maior força e clareza são aquelas nas quais os cientistas são capazes de reconhecer a supremacia do senso comum, ou seja, da prática. Simplicidade e fecundidade não são valores relacionados ao conhecimento profundo da realidade, mas à utilidade. Esses valores são, na verdade, relativos à estrutura do sujeito e aos nossos hábitos.

¹⁵ O texto em língua estrangeira é : « D'un polynome du millionième degré ou de la fonction Sin x, qui est le plus simple? Au point de vue de l'analyse pure, c'est incontestablement le polynome; au point de vue du calcul numérique, c'est le sinus parce qu'il en existe des tables. Voit-on combien le jugement à porter diffère suivant le point de vue ou l'on se place? et par où se classent les points de vue en ordre de valeur croissante, sinon par leurs avantages pratiques pour le discours ou l'action? ».

Se os valores tradicionalmente vistos como epistêmicos são contingentes, o que dizer dos próprios conceitos, como o tempo absoluto? Le Roy, então, utiliza um breve exemplo histórico com o intuito de ilustrar os diferentes instrumentos utilizados pela ciência para medir esse conceito que Painlevé acreditava ser adotado como princípio *a priori*. Inicialmente o homem observava a passagem do tempo com seus próprios olhos, notando a mudança na intensidade de iluminação, o movimento dos astros, a mudança da temperatura, etc. A ampulheta, em comparação à nossa visão, constituiria um melhor instrumento de medida do tempo, pois permitiria maior precisão e não estaria submetido às mesmas variações acidentais. Nossos instrumentos de medição do tempo, portanto, possuem a tendência de serem superiores aos anteriormente usados, convergindo a um relógio limite.

A ideia desse relógio limite corresponderia, para ele, à concepção de tempo absoluto. Contudo, os instrumentos de medida utilizados pela ciência nunca seriam capazes de alcançá-lo. O relógio absoluto da ciência será sempre um resultado que vem a ser, sempre em vias de formação. O verdadeiro relógio absoluto da ciência é a própria ciência tomada em sua totalidade (LE ROY, 1905, p. 59). A noção de tempo absoluto é, em relação à formulação científica, um resultado final e não uma intuição *a priori* assumida no princípio da teoria, como assumia Painlevé. Le Roy considerava a atitude de seu debatedor como ingênua, como se o cientista fizesse uso das indicações oferecidas pelo relógio sem questionar o mecanismo que se esconde por detrás dos ponteiros e indicadores fixos oferecidos pelo visor.

A convergência dos relógios a um limite é comparada às mudanças de referenciais, abordada indiretamente pela apresentação de Painlevé. Os aristotélicos haviam adotado a Terra como referencial absoluto e isso tornou possível, pelo menos grosseiramente, a criação da mecânica da gravidade. Então, Copérnico, Kepler e Newton transferiram o referencial absoluto para o Sol, permitindo a constituição da astronomia e um estudo mais detalhado da gravidade. Por fim, o referencial adotado foram os eixos estelares. Contudo, mesmo as estrelas se movem umas em relação às outras e, provavelmente, esse referencial também será superado. Le Roy aponta que o éter utilizado por algumas teorias físicas que estavam sendo desenvolvidas à época poderia ser o próximo referencial a ser adotado.

As conclusões feitas a respeito do tempo absoluto utilizado pelos cientistas podem ser estendidas em relação às mudanças de referenciais que buscam captar o espaço absoluto. Por mais que os cientistas aperfeiçoem seus instrumentos, eles sempre serão imprecisos. A imperfeição dos primeiros instrumentos de medida era evidente porque poderiam ser notadas mesmo por nossos grosseiros órgãos sensoriais. Porém, instrumentos mais perfeitos, por mais que não possamos identificar a discrepância tão facilmente, continuam sendo imprecisos. A

ambiguidade presente nas primeiras medições inexoravelmente se reproduziria em instrumentos mais apurados.

Le Roy não pretendia com sua crítica negar qualquer relação objetiva entre o tempo e espaço utilizados pela ciência e a realidade. Doravante, essa relação seria muito “[...] distante, atravessada por muita contingência [...]” (LE ROY, 1905, p. 64). Segundo ele, a verdadeira noção do movimento absoluto deve ser pesquisada por outra via completamente diferente daquela adotada pela ciência, a saber, a via metafísica. A lacuna, o fosso entre a precisão que os instrumentos são capazes de alcançar e o conceito limite, seja de tempo ou espaço absoluto, reflete a mesma distância entre ciência e metafísica, ou mesmo, entre saber positivo e necessidade absoluta.

A atitude do cientista de aceitar os pressupostos ao invés de questioná-los responde a uma necessidade prática e não à busca da verdade. Se o cientista não questionar a razão pela qual os fundamentos científicos são fundamentais, ele estará limitando-se a constatar que tomando esse ou aquele caminho chega-se a tal resultado. A ciência se resumiria a fornecer receitas práticas; o sucesso dessas receitas só provaria que nossas ideias *a priori* sobre o movimento absoluto são simples, fecundas, úteis, eficazes, mas não verdadeiras.

3.2.3 Duhem: os critérios epistêmicos capazes de tornar a representação teórica próxima do ideal e o combate às hipóteses mecanicistas

No primeiro artigo, essas outras convenções parecem ser caracterizadas como necessariamente prejudiciais, sugerindo que a solução para esse problema seria a eliminação das convenções que não representam as propriedades fundamentais de uma determinada noção física. Já no segundo artigo, essas outras convenções são apresentadas através de uma perspectiva mais positiva. Por mais que tais convenções não representem as propriedades fundamentais das noções químicas, o autor busca justificar a escolha delas através de critérios que conduzem ao consenso entre a comunidade científica. A diferença de abordagem entre o primeiro e o segundo artigo podem ser justificadas pela diferença de objetivo dos dois artigos. Enquanto o primeiro visa principalmente combater a teoria mecanicista, o segundo foca em apresentar a teoria das notações atômicas. Dessa forma, o primeiro artigo concentrou-se em condenar as convenções que não deveriam ser adotadas enquanto o segundo artigo apresenta quais convenções seriam mais adequadas.

Além da discussão dos critérios que tornam uma convenção mais adequada, Duhem cita rapidamente o método pelo qual essas noções são adquiridas. Ele diz: “[...] à maneira das ideias empregadas pelos naturalistas, são adquiridas (as noções) pela comparação e esclarecimento de exemplos; [...]” (DUHEM, 1892a, p. 452, nossos parênteses) ¹⁶. Nenhum comentário crítico, por enquanto, pode ser dirigido a esta afirmação devido a sua generalidade, porém é necessário ressaltar que ela já apresenta aspectos de um importante conceito que será ulteriormente elaborado por Duhem, o de classificação natural.

A arbitrariedade presente na notação atômica é a mesma que se encontra presente entre a noção física e a grandeza, como descrito no artigo anterior. É uma arbitrariedade relacionada a duas diferentes causas. A primeira é resultado da característica abstrata inerente a qualquer objeto matemático. De fato, em uma interpretação abstrata dos conceitos químicos, pouco importa a determinação do número proporcional do hidrogênio, por exemplo. O que é realmente importante é que as relações que o hidrogênio mantém com outros elementos estejam presentes nas relações entre seu número proporcional e de outros elementos. Desde que o sistema de números proporcionais reproduza as relações existentes entre os elementos, em uma perspectiva abstrata não importa o valor específico do número proporcional de cada elemento. Analogamente, pouco importa que uma temperatura seja expressa em graus Celsius ou Kelvin.

A segunda causa da arbitrariedade das notações atômicas é resultado da indeterminação das noções básicas da teoria. Como as propriedades fundamentais de cada noção são bastante reduzidas, a mesma noção pode ser definida de diversas maneiras logicamente equivalentes. Como o consenso é necessário, os químicos devem criar outros critérios para que uma noção seja escolhida em detrimento de outras. No artigo analisado, noções que são “naturais”, “frutíferas”, “indubitáveis” e “coerentes” são consideradas melhores definições do que outras. O isomorfismo (similaridade nas estruturas cristalinas dos compostos químicos) também é elencado como um bom critério a ser utilizado. Podemos concluir que a simetria é a responsável por promover o consenso entre os cientistas ao se tratar do isomorfismo dos compostos.

Ainda em 1892, Duhem publicou no *Journal de Mathématiques Pures et Appliquées* o artigo *Commentaire aux principes de la Thermodynamique*. O título resume de forma precisa o objetivo do texto, que consiste em apresentar os princípios da termodinâmica (suas

¹⁶ O texto em língua estrangeira é: « [...] à la manière des idées employées par les naturalistes, s’acquièrent par la comparaison et s’éclaircissent par des exemples ; [...] »

definições, convenções e hipóteses), estabelecendo suas respectivas formulações matemáticas e comentando esporadicamente a natureza de determinados elementos teóricos.

Na introdução ao seu artigo Duhem afirma que a ciência avança por meio de oscilações. Em uma dessas oscilações analisadas por ele, os cientistas são levados a discutir os fundamentos de sua teoria no intuito de torna-las novamente frutíferas. Duhem descreve que os cientistas que estavam lidando com a termodinâmica à época, incluindo ele próprio, concordavam que era o momento para que tal ciência passasse por esse tipo de revisão. Além disso, ao justificar para o leitor sua abordagem mais filosófica do que matemática – afinal, o artigo foi publicado em um periódico dedicado a tal ciência – Duhem afirma indiretamente que seu tipo de abordagem é uma das possíveis vias pelas quais uma ciência pode questionar seus próprios fundamentos.

Duhem, então, apresenta uma série de definições preliminares que ele julga necessárias ao desenvolvimento teórico da termodinâmica. Várias dentre essas definições tocam em questões metafísicas e filosóficas evidentes. O autor, por exemplo, postula o sistema de coordenadas absolutamente fixo, assim como o movimento e o repouso absoluto. Igualmente, postula os corpos como conectados de forma contínua, ao invés de pequenos corpos descontínuos (posição adotada pelos atomistas), além de admitir a possibilidade de corpos e sistemas serem tomados como totalmente isolados de influências externas.

De que maneira o autor que defende a separação entre física e metafísica pode postular essas definições que são claramente associadas a teses filosóficas? Em relação à primeira definição, Duhem admite que a noção de movimento relativo seja experimental, mas ressalta também que tal noção seja insuficiente para dar conta sozinha dos fenômenos investigados pela termodinâmica. Como resultado, é necessário postular uma tríade de coordenadas fixas ideais nas quais os movimentos das diferentes partes da matéria serão referenciados.

Ele lembra que, mesmo assim, será frequente que proposições deduzidas a partir desse sistema serão falsas se tomarmos como referência um sistema de coordenadas em movimento relativo à tríade ideal anteriormente postulada. Isso ocorre porque, segundo Duhem, é impossível que a ciência determine se um conjunto de coordenadas esteja realmente fixo ou não. Portanto, a postulação da tríade ideal não equivale à afirmação da existência de um único sistema absoluto de coordenadas no qual o movimento de todas as partes da matéria do universo estariam referenciados, mas apenas à possibilidade de postulação de pelo menos um sistema referencial no qual o fenômeno termodinâmico analisado pode ser interpretado como fixo.

Em relação à segunda definição, sobre a constituição da matéria, Duhem novamente ressalta que é impossível e, além disso, *inútil* que a física busque a real constituição da matéria. Afinal, o cientista, consciente que sua atividade é apenas uma representação, encontra-se livre para adotar aquela que julga mais adequada. Segundo o autor, as razões que o levam a escolher a representação da matéria como contínua é porque ela conduz a teorias mais simples, claras e elegantes.

Acerca da terceira definição, que postula a possibilidade de corpos totalmente isolados de influências externas, Duhem admite que tal representação seja uma abstração. Mas se a possibilidade dessa abstração fosse negada ele acredita que a física se tornaria impraticável. Portanto, podemos classificar a terceira definição como necessária para o desenvolvimento científico.

À quarta e última definição – aquela que postula a possibilidade de sistemas totalmente isolados de influências externas – Duhem dirige argumentos semelhantes àqueles recebidos pelas duas primeiras definições já comentadas. Ele ressalta novamente que não se deve esperar da física que ela decida sobre os limites do universo, afinal isso estaria além de seus poderes. Porém, mesmo com essa restrição, é possível raciocinar como se o universo fosse formado por certo número de corpos restritos a uma superfície de extensão fechada. Isso porque é permitido assumir a não existência de corpos que estão para além de um limite de distância na qual as perturbações provocadas por eles são imperceptíveis aos nossos instrumentos. Logo, podemos considerar que essa definição não é o resultado de uma pura abstração como a anterior, mas de uma assunção que a experiência torna legítima.

A seguir, Duhem atrela a noção de trabalho a experiências do cotidiano, como o deslocamento rápido ou lento, o bloqueio ou mesmo a deformação de um corpo qualquer. Ao aproximar noções físicas com experimentos que o senso comum compartilha, Duhem deseja demonstrar que a atividade científica depende de conhecimentos que podem ser alcançados por todos. O mesmo objetivo é perseguido quando Duhem compara a temperatura às sensações de diferença de calor. Com isso, o autor pretende justificar que apesar das formas mais abstratas que a ciência pode alcançar, ela ainda estaria ancorada na realidade.

No intuito de representar as características apresentadas pela noção de trabalho, Duhem estabelece algumas convenções que funcionarão como parâmetros às expressões matemáticas que visam simbolizar os fenômenos de transformação ocorridos em um sistema termodinâmico. A escolha dessas convenções, segundo o autor, *não ocorre por acaso*. As convenções devem refletir as características mais simples e evidentes da noção de trabalho ou, pelo menos, estarem em acordo com tais características.

A escolha das convenções naturalmente levanta uma questão: como as convenções, inicialmente caracterizadas como arbitrárias, podem agora ser escolhidas de acordo com certos critérios? O autor, infelizmente, não parece notar esse conflito e, conseqüentemente, não oferece argumentos que possam dar fim a tal questão. Podemos, no entanto, a partir do que foi analisado até agora, oferecer uma resposta que mantenha a coerência das posições de Duhem. A solução para esse conflito pode seguir duas vias que conduzirão ambas ao mesmo resultado.

Uma das vias exige que compreendamos a motivação por detrás da adoção de critérios. Adotar critérios que nos guiem na escolha das convenções *não necessariamente* significa que, então, a teoria será mais *verdadeira*. Os critérios podem funcionar como criadores de consenso ou, mesmo, como facilitadores do aprendizado e da exposição das teorias. O respeito aos critérios podem, enfim, tornar uma teoria melhor que outra, mas não mais verdadeira que outra.

A outra via exige que entendamos precisamente o significado do qualificativo “arbitrário” utilizado por Duhem. O autor utiliza esse adjetivo com o objetivo de expressar, além da arbitrariedade associada à escolha da magnitude de uma grandeza, a gama de definições e hipóteses que uma teoria pode adotar. Dentre as diversas definições e hipóteses o autor acredita que algumas podem ser melhor que outras, mas não mais *verdadeiras*. No artigo analisado, Duhem expressa essa opinião da seguinte forma: “É, então, permitido buscar expor tal teoria em uma ordem lógica; mas reivindicar que a tenha dado a única ordem lógica que ela pode adquirir seria uma pretensão injustificada.” (DUHEM, 1892b, p. 270) ¹⁷. Portanto, por mais que não existam critérios de verdade, ainda assim há critérios, o que torna o qualificativo “arbitrário” utilizado pelo autor uma má decisão. De qualquer maneira é necessário frisarmos que, em Duhem, a contradição entre a arbitrariedade das convenções e a existência de critérios que guiem sua escolha é apenas aparente.

Prosseguindo nossa análise do texto, Duhem declara que a termodinâmica depende de dez convenções, cada uma delas determinando uma característica básica da teoria. O autor procede à apresentação das convenções, esporadicamente qualificando-as sem, no entanto, dissertar sobre a razão por detrás das qualificações. Em seguida as convenções são traduzidas matematicamente em equações.

¹⁷ O texto em língua estrangeira é : «[...] il est donc permis de chercher à exposer une semblable théorie dans un ordre logique; mais prétendre qu'on lui a donné le seul ordre logique dont elle soit susceptible serait une prétention injustifiable ».

A primeira das convenções define que a grandeza do trabalho exercido por um sistema dependa somente da natureza do sistema e suas transformações, e não dos corpos externos a esse sistema. Duhem qualifica tal convenção como não arbitrária e justifica sua escolha em razão da simplicidade e evidência com a qual ela é capaz de transmitir a imagem da noção de trabalho. A segunda convenção, considerada natural, relaciona o trabalho exercido por um sistema com as transformações realizadas pelo sistema. A terceira define que o sistema cíclico no qual o trabalho exercido seja nulo deve ser considerado um sistema de ciclo fechado.

A quarta convenção, arbitrária segundo Duhem, estabelece que o trabalho exercido seja resultado da soma de dois termos, sendo que um termo depende somente das mudanças de estado do sistema e o outro das mudanças de movimento do mesmo. A quinta convenção, qualificada como inevitável, estabelece que o trabalho exercido em um sistema formado por partes independentes equivalerá à soma das modificações de todas essas partes. A sexta convenção, considerada logicamente necessária, define que corpos externos realizam o mesmo trabalho quando em contato com as mesmas velocidades, não importa a direção na qual são impulsionados.

A sétima convenção exige que o trabalho comunicado a outro corpo mantenha seu signo que, por definição, será sempre positivo. A oitava estabelece que dois corpos que recebam a mesma quantidade de trabalho e, por consequência, desenvolvam a mesma velocidade, sejam considerados idênticos. A nona, que soa natural, mas não é logicamente necessária, dita que corpos externos exercem o mesmo trabalho para mover os pontos de um elemento material numa mesma velocidade, sem importar que o corpo externo esteja na mesma direção do movimento imprimido. A décima e última convenção parece evidente, mas Duhem afirma não ser. Segundo ela, a energia interna de um sistema não se altera com a mudança de posição absoluta no espaço.

Antes de partirmos à análise de outro texto, gostaríamos de ressaltar a importância que as convenções possuem para a obra de Duhem até aqui revista. O autor revela que toda noção científica é constituída de convenções. As noções de calor e trabalho estão em foco neste artigo, porém, podemos concluir da mesma maneira que as definições preliminares apresentadas por Duhem, por mais que o autor não tenha declarado textualmente, são definidas também por meio de convenções. Por conseguinte, concluímos que as convenções fazem parte dos fundamentos das ciências e, como aponta o autor no início do texto, uma abordagem filosófica é capaz de rever esses fundamentos e torna-los novamente frutíferos. A abordagem filosófica de Duhem visa eliminar as implicações metafísicas, ressaltando o

caráter representativo da teoria e, assim, chamando atenção para os critérios epistêmicos que podem tornar uma teoria melhor.

Em 1893, Duhem publica um livro intitulado *Introduction à la mécanique chimique*. O livro busca apresentar de maneira geral, atualizada e em um só livro os princípios da mecânica química que haviam sofrido à época uma grande transformação devido aos estudos experimentais do fenômeno da dissolução, assim como os avanços oferecidos pela teoria termodinâmica. Com relação a nosso objeto de estudo, apesar do livro não citar o termo “convenção” em um contexto filosoficamente relevante, o mesmo não acontece em relação às hipóteses e, como as críticas dirigidas a certas hipóteses podem ser generalizadas às convenções, achamos importante inserir o livro em nossa discussão.

No sétimo capítulo, dedicado à teoria cinética, o autor defende que tal teoria surgiu da combinação das teorias cartesiana e newtoniana. Da primeira foi herdada a hipótese do movimento incessante das partículas que compõem um corpo e da segunda a hipótese das forças atrativas ou repulsivas que tais partículas exercem entre si. A partir dessa união, operada por Krönig e Clausius e aperfeiçoada por Boltzmann e Maxwell, surgiu o método cinético de análise da mecânica química.

A característica que Duhem julga mais relevante dessa mecânica é sua definição de equilíbrio químico. O equilíbrio químico, no senso estrito da palavra, não existiria, afinal, como as partículas estariam se chocando em movimento incessante, seus estados estariam permanentemente se modificando. O equilíbrio, portanto, é alcançado quando a quantidade de partículas que sofre uma determinada modificação de estado em um determinado tempo é igual à quantidade de partículas que sofrem a modificação inversa de estado no mesmo tempo. Clausius, ao estudar o fenômeno da vaporização, por exemplo, estabeleceu que o equilíbrio químico é atingido quando, ao se chocarem com a superfície do líquido, a quantidade de partículas que são retidas é a mesma das partículas que são emitidas, durante a mesma unidade de tempo. Em outras palavras, a vaporização era compensada, ao mesmo tempo, por igual condensação.

A teoria cinética dos equilíbrios químicos, como denominada por Duhem, conduziu a mecânica química à descoberta de importantes leis, assim como a teorias mais completas. Contudo, apesar dos esforços para preservá-la, a teoria não pôde evitar algumas contradições experimentais, como mostra a dissociação do carbonato de cálcio detalhadamente apresentada pelo autor.

Em face às contradições, o autor propõe abandonar o desenvolvimento da teoria cinética dos equilíbrios químicos, afinal, um vício estaria escondido em suas bases. Tal vício

estaria sendo praticado por grandes físicos desde o século dezoito. Duhem está se referindo às hipóteses acerca da constituição da matéria e da natureza de suas modificações. Apesar dele não utilizar o termo “convenção”, fica claro pelo contexto de sua obra até aqui analisada que as hipóteses sobre a constituição da matéria são instituídas teoricamente através das convenções. Pensamos que a omissão do termo faz parte de uma tática que visa revelar o caráter especulativo dessas proposições. Ao rotulá-las como “hipóteses”, Duhem pretende enfatizar que elas não são proposições retiradas da observação dos fenômenos e, portanto, podem ser substituídas.

Uma dessas hipóteses sobre a constituição da matéria diz respeito à temperatura. Para uma vertente mecanicista a temperatura seria um fluido denominado “calórico” que passaria dos corpos quentes para os corpos frios. Outra vertente define a temperatura como sendo o resultado dos choques das partículas em movimento, a chamada *force vive*. A solução proposta por Duhem é abandonar tais noções pré-concebidas e ater-se aos dados dos sentidos tal como concebidos por nossa faculdade de abstração (DUHEM, 1893c, p. 88). Interessante frisar que Duhem não está defendendo, como seus antecessores positivistas, uma teoria fundada *apenas* na experiência. Sua defesa revela a importância da *faculdade de abstração* que deve trabalhar sobre os dados sensoriais. Em sua opinião, a temperatura deve ser considerada como aquela propriedade que faz um corpo parecer mais ou menos quente ou mesmo a propriedade responsável por fazer o mercúrio de um termômetro subir ou descer¹⁸. Em suma, Duhem propõe: “A melhor teoria será, portanto, aquela que não permite nos seus raciocínios outras noções do que aquelas que possuem um sentido físico, que sejam diretamente mensuráveis: a densidade, a temperatura, a quantidade de calor, etc [...]”¹⁹ (DUHEM, 1893c, p. 89).

Já na conclusão do livro, o autor revela que contradições experimentais, tais como a dissociação do carbonato de cálcio, raramente são capazes de livrar a ciência de teorias incorretas. Afinal, os partidários da contradita teoria sempre encontram subterfúgios (*faux-fuyant*) que tornam a teoria novamente válida. O contexto leva a crer que Duhem esteja referindo-se a teorias mecanicistas em geral e, particularmente, à mecânica química deduzida

¹⁸ Julgamos que a nova definição de temperatura adotada por Duhem - conectando temperatura à mudança de volume do mercúrio - tenha sido ensinada pela leitura do livro *Thermodynamique* de Poincaré, publicado no ano anterior.

¹⁹ O texto em língua estrangeira é : « [...] la meilleure théorie sera maintenant celle qui ne fera pas entrer dans ses raisonnements d'autres notions que celles qui ont un sens physique, qui sont directement mesurables : la densité, la température, la quantité de chaleur, etc. ; [...] ».

dos princípios da teoria cinética, denominada por ele como “teoria cinética dos equilíbrios químicos”.

Se este for o caso, os subterfúgios mencionados por Duhem envolvem a adoção de uma pretensa interpretação na qual a arbitrariedade da formulação de algumas expressões, como também o grande número de coeficientes indeterminados em suas equações são justificados. Tais interpretações não surgiriam da vontade dos cientistas em representar adequadamente os fenômenos naturais que estudam, mas de uma série de motivações que seriam estranhas ao objetivo científico, como o amor próprio do inventor, o apego obstinado a ideias recebidas, o respeito exagerado à autoridade, mas além de tudo, a necessidade do espírito humano de aglutinar de alguma maneira os fenômenos observados em torno de certas ideias. Essa última motivação - que caracterizamos como um apego às tradições - conduz o autor a concluir que não basta apontar as ideias falsas de uma teoria, é necessário elaborar uma teoria mais perfeita; e foi exatamente com vistas à realização desse objetivo que Duhem dedicou grande parte de seu trabalho científico. A criação de uma termodinâmica geral (referenciada por ele como *énergétique*) na qual os fenômenos químicos e físicos seriam explicados através dos princípios básicos da termodinâmica foi sua resposta às demandas por uma teoria mais perfeita.

Analisando o texto apresentado, notamos que Duhem admite os avanços e descobertas alcançados pela teoria cinética. Portanto, o autor concorda que teorias que partem de hipóteses mecanicistas são capazes de serem bem-sucedidas. Mas, logo em seguida, ele aponta que a descoberta dos fenômenos de dissociação conduziu a teoria a contradições experimentais. A razão pela qual a teoria foi contradita, segundo Duhem, tem relação direta com o caráter mecanicista de suas hipóteses iniciais. Contudo, não é comum que uma teoria tenha que sofrer ajustes em vista da descoberta de um novo fenômeno?

Como descrito pelo próprio Duhem no artigo *Quelque réflexions au sujet des théories physiques*, “[...] por mais ampla e certa que seja uma teoria física, quando suficientemente ampliada, ela sempre chega a conclusões contrárias à experiência [...]” (DUHEM, 1989, p. 20). Portanto, não seria prudente aguardar que a teoria cinética operasse ajustes com o intuito de eliminar as contradições geradas pela descoberta dos novos fenômenos de dissociação? Afinal, ajustes são recorrentes em qualquer teoria científica. Na página seguinte da obra já citada, Duhem ressalta que para substituir uma teoria por outra mais perfeita quase nunca é necessário destruir inteiramente a primeira. Porém, sem oferecer razão, Duhem encara negativamente os ajustes que a teoria cinética poderia operar. Tais ajustes seriam considerados “subterfúgios”. Essa atitude negativa poderia ser justificada, por exemplo, caso

ele tivesse demonstrado que a teoria cinética dos equilíbrios químicos havia passado por ajustes recorrentes desde sua criação. Mas, como o próprio expôs, a teoria parecia até então ter sido bem sucedida. Logo, diante das razões apresentadas, julgamos que o juízo de Duhem foi, no mínimo, apressado.

Será que a crítica de Duhem não seria mais efetiva se mirasse somente a vontade dos defensores das teorias mecanicistas de verem hipóteses metafísicas implícitas demonstradas através do sucesso das previsões científicas? Nesse caso, não seria necessário condenar as teorias mecanicistas como um todo, mas apenas suas pretensões metafísicas. Será que é impensável uma teoria mecanicista dissociada de uma ontologia mecanicista? Se tal dissociação for possível, o resultado seria uma teoria mecânica abstrata, ou seja, uma teoria que não possui pretensões de afirmar que os fenômenos que analisa são mecânicos, mas apenas que os fenômenos que analisa *agem como se fossem* mecânicos.

CONCLUSÃO

A classificação dos três autores sob o rótulo “convencionalista” pode dar a impressão de que eles compartilham a mesma opinião a respeito da função das convenções na ciência. Como pretendemos mostrar, o acordo pode existir, mas não é irrestrito, vindo a depender inclusive dos ramos científicos aos quais suas análises pretendem abarcar.

A propósito da geometria, por exemplo, observamos um acordo entre Poincaré e Le Roy em relação à natureza dos axiomas geométricos. Para estes autores, os princípios fundamentais da geometria não são juízos *apriorísticos* ou experimentais, mas juízos convencionais escolhidos pelos cientistas. Eles também concordam com os critérios capazes de tornar uma escolha mais cômoda do que outra: a experiência e a razão guiam o cientista, bem como o hábito. Contudo, Le Roy julga que tais critérios, longe de oferecerem uma justificação absoluta, revelam a contingência dos princípios geométricos e a importância da prática em matéria científica.

Já em relação às ciências naturais, foi necessário analisar não só o conceito de convenção, mas também o de hipótese, visto que os conceitos frequentemente são utilizados no mesmo contexto. Observamos, novamente, certos acordos. Os três autores parecem concordar que há uma considerável indeterminação entre a experiência e a teoria que permite a criação e legitimidade de múltiplas convenções e hipóteses e, em consequência, a pluralidade de teorias sobre o mesmo conjunto de fenômenos observados. Nesse sentido, as teorias físicas não seriam verdadeiras ou falsas, mas convenientes ou inconvenientes.

Todavia, os desacordos reaparecem ao analisarmos o que cada autor considera conveniente. Enquanto Duhem, no chamado “primeiro período”, considerava mais conveniente a teoria na qual os princípios se aproximariam de uma representação ideal, Poincaré e Le Roy pareciam concordar que essa representação ideal não existiria e que a interferência do homem era inevitável e, mesmo, necessária para que os fundamentos se tornassem precisos. De qualquer maneira, a partir do momento em que mais de uma teoria foi reconhecida como legítima, foi necessário promover uma discussão sobre os critérios que conduzem os cientistas a preferir uma em detrimento de outras.

Analisamos, então, os critérios usualmente elencados como capazes de tornar a teoria mais consistente e bem-sucedida: a experiência e a razão. Apesar das formulações de Poincaré e Duhem terem sido interpretadas por alguns como empiristas, pensamos que fomos capazes de demonstrar que a experiência, apesar de relevante em suas obras, não é capaz de

determinar diretamente os princípios científicos. O primeiro autor ressaltou que os princípios físicos corrigem e generalizam as leis experimentais, verificadas de modo aproximado, enquanto o segundo destacou o caráter representativo da teoria, na qual a faculdade de abstrair torna as impressões confusas da percepção em noções teóricas precisas. Le Roy, por sua vez, distinguiu-se dos outros autores neste ponto. Para ele, experiência e razão não eram facilmente distinguíveis. Por isso ele buscou provar que o fato científico, costumeiramente encarado como a simples tradução do fato bruto em uma linguagem precisa, só adquire qualquer significado através da mediação teórica. Em outras palavras, através da interpretação da experiência por uma perspectiva específica.

De qualquer maneira, os três autores parecem estar de acordo que as noções gerais de experiência e razão eram ainda insuficientes para conduzir e justificar a preferência dos cientistas por determinadas teorias. Ou melhor, tais critérios não eram capazes de reduzir a indeterminação entre a experiência e a teoria. A partir dessa constatação, nossos autores promoveram uma análise e crítica dos outros critérios epistêmicos capazes de auxiliar os *savants* nesta circunstância. A simplicidade das convenções, a fecundidade das hipóteses e tantos outros critérios (generalidade, regularidade, similitude, elegância, naturalidade, economia, beleza, etc.) são elencados como possíveis fiéis da balança.

Duhem pensava que tais critérios poderiam ajudar os cientistas na construção do consenso e, mesmo, no ensino das futuras gerações. Contudo, o teste experimental continuava sendo o principal critério a ser levado em conta. Se uma teoria fosse capaz de prever um maior conjunto de fenômenos com o mesmo grau de precisão dos nossos instrumentos de medida do que outra teoria, a comunidade deveria optar pela primeira. Em raros casos duas teorias teriam a mesma amplitude de previsão e precisão. Somente diante dessa equivalência os critérios epistêmicos são requeridos. Todavia, o recurso aos critérios permaneceria relativamente problemático, afinal as próprias noções de simplicidade, fecundidade, etc., podem ser definidas de diversas maneiras.

Já Poincaré considerava a teoria mais conveniente aquela que, dentre todas, fosse a mais simples. A tendência à simplicidade, por sua vez, era justificada em razão dos hábitos humanos e da utilidade. A adoção de teorias mais simples supostamente havia se mostrado vantajosa ao longo da história. Ele também lista outros critérios auxiliares, mas faz questão de ressaltar a importância da beleza para a ciência. Com isso, julgamos que o autor buscava, à maneira do classicismo grego, unir beleza, utilidade e verdade através de uma única atividade: a ciência.

Para Le Roy, porém, a presença do critério de utilidade corrompe a natureza da atividade científica. O conhecimento alcançado através da aplicação de critérios práticos deixa de ser desinteressado para ser superficial e útil. Como a simplicidade e a fecundidade são critérios que convêm às necessidades dos cientistas e não à natureza, o conhecimento alcançado é relativo e contingente. Para que o conhecimento seja objetivo e verdadeiro ele deve se impor através de uma força e evidências absolutas e isso só é possível através de uma investigação direcionada para o absoluto. Esse absoluto, incapaz de ser compreendido pela ciência, só poderia ser devidamente estudado pela metafísica.

A discussão a respeito dos critérios epistêmicos, portanto, oferece uma excelente oportunidade para se observar a postura que os autores estabelecem entre a teoria científica e a natureza da realidade. Afinal, por qual razão as teorias mais simples e belas seriam melhores? Por que a utilidade é capaz de afastar ou aproximar a teoria da verdade? É sabido que gerações anteriores de cientistas fundamentavam suas teorias também em teses teológicas ou metafísicas sobre a natureza da realidade. Poincaré e Duhem, pelo contrário, afirmaram repetidas vezes ao longo de suas carreiras que a ciência é independente da metafísica, enquanto as reflexões de Le Roy apontavam os danos que essa separação podia ocasionar em prejuízo da ciência.

O leitor das obras de vulgarização de Poincaré é constantemente tomado por um sentimento conflituoso no que diz respeito às relações entre ciência e filosofia. Ao mesmo tempo em que o autor afirma explicitamente que questões relacionadas à ontologia dos fenômenos não possuem nenhum sentido, é constante o recurso a argumentos que apelam para temas filosóficos que não podem ser considerados estritamente científicos. Em suas reflexões acerca da equivalência das geometrias, por exemplo, Poincaré afirma em certo ponto que não tem *nenhum sentido* questionar a veracidade da geometria euclidiana (POINCARÉ, 1984, p. 54), mas em outro ele oferece um argumento que utiliza experimentos mentais “[...] com o objetivo metafísico [...]” (POINCARÉ, 1886, p. 19) de demonstrar que certas percepções podem sugerir a criação de outra geometria.

Essa postura precavida, ou mesmo hesitante e ambígua, pode ser notada também na relação que o autor estabeleceu com teorias mecanicistas, tais como o eletromagnetismo de Maxwell, a teoria dos turbilhões de Thomson e a eletrodinâmica de Helmholtz e Hertz. De 1887 até 1893 Poincaré foi responsável por lecionar diversos cursos introdutórios a respeito de tais teorias na Faculdade de Ciências de Paris (POINCARÉ, 1889; POINCARÉ, 1890; POINCARÉ, 1891b; POINCARÉ, 1892c; POINCARÉ, 1893b; POINCARÉ, 1894). Contudo, o professor da Sorbonne jamais assumiu os “pressupostos” ontológicos de tais teorias. Em

entrevista ao jornal *Revue Illustrée*, dedicado ao grande público, Poincaré afirmou que não era materialista, nem mesmo espiritualista (1908 apud GERINI; GINOUX, 2012, p. 273). Sua postura buscava retirar das teorias o que supostamente teriam de científico, escamoteando seu “resíduo” metafísico. As equações diferenciais de Maxwell, por exemplo, seria a parte científica da teoria, condensando as verdadeiras relações expressas pelo fenômeno eletromagnético; a parte metafísica, responsável por nos oferecer imagens com as quais revestimos a realidade, seria a parte problemática que os cientistas deveriam abandonar por serem ilusórias e insolúveis (POINCARÉ, 1984, p. 129).

Em outra oportunidade o autor alega que a afirmação “a Terra gira” não tem *nenhum sentido* porque isto não pode ser verificado experimentalmente (POINCARÉ, 1984, p. 98). A reação do grande público a esse diagnóstico foi tão negativa que Poincaré retratou-se, justificando que havia se expressado na “linguagem da metafísica moderna”. A primeira vista parece que o autor estava culpando a filosofia por seus próprios “deslizes”; todavia, julgamos que há algo mais valioso para nosso trabalho nesse mesmo texto. Ao fim de sua justificação, Poincaré afirma que “[...] a negação de toda metafísica é ainda uma metafísica [...]” (POINCARÉ, 1904b, p. 217) e é a partir desse argumento oferecido pelo próprio autor que desejamos defender que apesar de conflituosa, o autor tinha consciência de quão importante era a relação entre filosofia e ciência para a fundamentação desta última.

A “metafísica moderna” adotada por Poincaré admite a importância de certas hipóteses a respeito da constituição da matéria, mas ressalta que elas são “indiferentes”; admite que convenções mais simples sejam preferíveis, mas justifica que a simplicidade é um fator evolutivo. Em suma, Poincaré era consciente das sérias implicações que a ausência de justificações metafísicas poderia ocasionar à prática científica, mas ao mesmo tempo sabia dos perigos envolvidos que uma aproximação irrestrita entre estes domínios poderia provocar. A adoção de uma “metafísica moderna” que apele para critérios epistêmicos clássicos (beleza e verdade) através do prisma naturalista, e que não envolva reflexões infundas sobre a natureza última das coisas, constituiu sua proposta para a relação que a ciência precisava manter com a filosofia.

Duhem também defendeu a separação entre ciência e metafísica, mas de forma mais explícita e através de argumentos mais desenvolvidos. Enquanto Poincaré muitas vezes encarou o problema através de uma simples negação, Duhem abordou o tema continuamente ao longo de sua carreira porque acreditava que a confusão entre os limites da física e da metafísica favoreciam o ceticismo em relação à ciência (DUHEM, 1996a, p. 39). Como pretendemos apresentar, Duhem defendeu que as teorias físicas dependem do método

experimental e matemático que, por sua vez, repousam sobre princípios evidentes por si mesmos e independentes de qualquer fundamentação metafísica. O recurso à nossa faculdade de abstração agindo sobre os dados experimentais deveria ser suficiente para que o cientista evitasse a adoção de “convenções restritivas”, ou em outras palavras, a postulação de hipóteses sobre a natureza da matéria. Por essa e outras razões é possível notar nas obras analisadas de Duhem um constante combate às teorias mecanicistas.

Alguns críticos, como Abel Rey (1904), entenderam que a separação entre física e metafísica proposta por Duhem, bem como seus ataques às teorias mecanicistas, era profundamente motivada por convicções religiosas. Retirar da teoria física seu poder explicativo para considerá-la uma mera representação que, mesmo assim, deve tender a um ideal transcendente e, além disso, refutar a legitimidade científica das hipóteses mecanicistas com base num juízo sobre sua natureza constituiria uma filosofia científica comprometida com pressupostos teológicos. Por essa razão, Rey veio a classificar Duhem no mesmo grupo de Le Roy, qualificando-os através do rótulo “[...] filosofia das ciências dos crentes [...]” (REY, 1905-1906, p. 536).

Em resposta a Rey, Duhem redigiu o artigo “Física de crente”, no qual reafirmou publicamente sua fé católica, mas recusou que a crença religiosa tenha guiado sua crítica científica. Pelo contrário, sua filosofia científica apregoa que os princípios físicos, por serem o resumo e a classificação de leis constatadas pela experiência, simplesmente fornece uma “[...] imagem mais ou menos satisfatória das leis que pretende representar [...]” (DUHEM, 2008, p. 23). Os juízos metafísicos, por outro lado, são proposições relativas à realidade objetiva. Uma teoria física, portanto, não é capaz de confirmar ou contradizer qualquer sistema metafísico porque não haveria um termo comum entre estes dois domínios.

Segundo Duhem, o objetivo da teoria física é a classificação das leis fornecidas pela experiência através de uma linguagem matemática. Essa finalidade seria, inclusive, justificada pela tradição. Graças a estudos historiográficos, Duhem comparou os objetivos da atual teoria física com a antiga astronomia praticada desde os helênicos. O objetivo dessa astronomia era apenas oferecer um esquema abstrato que representasse os fenômenos astronômicos através de uma linguagem matemática. Por outro lado, a metafísica é comparada à cosmologia, ou Física, como chamavam os peripatéticos. Essa atividade, por sua vez, investigaria as causas reais do movimento dos corpos, bem como sua natureza. Copérnico, Kepler e Galileu teriam estudado indistintamente tais domínios, produzindo um conhecimento tanto astronômico quanto cosmológico. A proposta de Duhem era recuperar a distinção original, na qual “[...] as hipóteses da Física não passam de artifícios matemáticos destinados a *salvar os fenômenos*

[...]” (DUHEM, 1984, p. 105). Salvar os fenômenos, ou seja, oferecer representações sistemáticas e abstratas que classifiquem as leis experimentais seria o propósito designado à teoria física.

Mas Duhem, assim como Poincaré, era consciente dos problemas que essa separação poderia ocasionar em detrimento da ciência. Afinal, se a teoria é uma mera representação sem valor objetivo, como somos capazes de saber que a teoria está se aproximando do ideal de representação? Em outras palavras, o método experimental e matemático é capaz de justificar por si só a razão pela qual a teoria mais satisfatória será aquela que representa o maior conjunto de leis de maneira mais simples e elegante? Como é possível notar, a filosofia científica de Duhem também sofre da mesma relação conflituosa entre ciência e metafísica. O recurso à representação ideal, bem como a critérios epistemológicos de simplicidade, naturalidade, etc., foi a maneira que o autor encontrou para assimilar as preocupações metafísicas em sua filosofia científica. Conduzido por um sentimento de invencível força que o método científico não pode legitimamente explicar, o cientista acredita que a teoria mais próxima do ideal, por expressar as relações reais entre as coisas, não poderia ser privada de ordem e unidade (DUHEM, 1906, p. 166).

Diferentemente dos outros autores analisados, Le Roy não via a aproximação entre ciência e metafísica como problemática. Pelo contrário, ele considerava que essa aproximação era mesmo necessária. A defesa de Le Roy parte do pressuposto de que o conhecimento profundo, real e verdadeiro deve ser desinteressado. Em sua visão, o desenvolvimento de teorias científicas que buscam oferecer previsões seguras e precisas, o aumento da exatidão dos instrumentos de medida e o estabelecimento de padrões de aferição, a interação entre ciência e indústria, entre outros indícios, indicam que a atividade científica é orientada segundo o critério de utilidade. Tal critério desvirtuaria a busca desinteressada oferecendo, em contraposição, um conhecimento apenas prático, orientado para a ação: uma receita.

Para chegar a esta conclusão parece que o autor adotou desde o princípio de suas formulações o pressuposto de que a atividade que não se relaciona com a metafísica está condenada à superficialidade, à contingência, à relatividade e a efemeridade. Em outras palavras, a verdade só pode ser expressa a partir de um critério absoluto e este critério, por sua vez, só poderia ser conhecido pela filosofia. Evidentemente, a filosofia que ele julgava mais apta a oferecer esta aproximação era aquela promovida por Bergson. Tal filosofia, ao criticar o intelectualismo da ciência, apontava para a valorização de outras faculdades, como o sentimento. A título de exemplo, Bergson opunha à noção de tempo utilizada pela ciência o conceito de duração, incompreensível à inteligência lógica, mas que poderia ser vivida pelo

espírito através de uma experiência metafísica, a verdadeira experiência capaz de entrar em contato com o absoluto.

A proposta de Le Roy é, portanto, que o conhecimento da realidade pode partir da ciência, mas não se limita a ela. Esse conhecimento deve ser complementado por uma crítica filosófica da obra desenvolvida. Essa crítica deve ressaltar, por exemplo, a indeterminação da parte devida ao sujeito e da parte devida ao objeto nos fundamentos científicos; ela deve apontar que a equivalência epistêmica das teorias científicas é resultado da fragmentação do real; que os princípios científicos são arbitrários devido às influências contingentes do hábito e do desenvolvimento histórico. Em suas próprias palavras:

A nova crítica não conduz a qualquer ceticismo científico, mas conclui que a ciência não forma um sistema fechado, que ela não é autônoma, que seu valor não está todo contido em si, que ela não está separada da filosofia por um corte absoluto, que ela caminha em direção a um limite que lhe é transcendente (...) que sua objetividade deve ser conhecida sobre uma forma dinâmica e não estática, como o fim de um progresso e não como uma coisa ou um resultado, e, finalmente, que são os intelectualistas que mais limitam e restringem a ciência.²⁰ (LE ROY, 1901c, p. 322, tradução nossa).

Como buscamos mostrar, os três autores queriam aproximar a ciência e a filosofia. Porém, Poincaré e Duhem se preocupavam com a maneira como essa aproximação deveria ser estabelecida. Generalizando seus argumentos, podemos concluir que a aproximação que estes dois desejavam estabelecer prezava pela autonomia das disciplinas. Nesse sentido, eles recusavam a aproximação proposta por Le Roy, na qual a ciência seria completa somente a partir da discussão de problemas metafísicos tradicionais ou, em outras palavras, essencialistas.

Por fim, esperamos que o trabalho tenha sido capaz de mostrar que a escola convencionalista francesa da virada do século XIX para o XX, por mais que tenha utilizado a mesma terminologia e discutido os mesmos temas, possui diferenças de postura tanto sutis quanto gritantes. Mesmo quando há acordo sobre um tema específico, é notável que as razões que conduziram os autores a tal comunhão são dessemelhantes. A respeito das convenções e hipóteses, julgamos que ambos concordam que elas seriam necessárias à fundamentação científica. Le Roy, contudo, complementaria que, por outro ponto de vista, elas seriam

²⁰ O texto em língua estrangeira é: “La critique nouvelle ne conduit donc pas à je ne sais quel scepticisme scientifique, mais elle aboutit à ceci que la science ne forme pas un système clos, qu'elle n'est pas autonome, qu'elle n'a pas en soi toute sa valeur, qu'elle n'est pas séparée de la philosophie par une coupure absolue, qu'elle achemine vers une limite qui lui est transcendante (...) que son objectivité doit être conçue sous une forme dynamique et non pas statique, comme la fin d'un progrès et non pas comme une chose ou un résultat, et qu'enfin ce sont plutôt les intellectualistes qui limitent et restreignent la science.”

contingentes. A escola convencionalista também entraria em acordo a respeito da *liberdade* com a qual as convenções e hipóteses seriam estabelecidas. Duhem faria uma exceção apenas às convenções que representariam as propriedades mais fundamentais das noções naturais.

Em relação aos critérios capazes de guiar a escolha das convenções e hipóteses, os autores concordariam que a experiência e a razão teriam um importante papel. Mas Le Roy destacaria que as necessidades práticas se sobressairiam sobre todos os outros critérios. Enquanto Poincaré e Le Roy admitiriam que as convenções e hipóteses conferissem estabilidade à teoria, o primeiro defenderia que a estratégia para essa conquista seria legitimada pela natureza, e o segundo que isto só é possível graças à postulação artificial do cientista. Duhem, por sua vez, afirmaria que a estabilidade dos princípios nunca está garantida, sendo sempre temporária.

Duhem e Le Roy estariam de acordo que as convenções e hipóteses não são nem verdadeiras, nem falsas. Poincaré ratificaria tal afirmação caso uma exceção fosse feita as hipóteses fecundas, capazes de serem confirmadas ou refutadas pelo teste experimental. Os convencionalistas também aderiram à defesa da equivalência das teorias concorrentes sobre um mesmo fenômeno. Le Roy vai além e afirma a equivalência não só das teorias mais atuais, mas também das chamadas “ultrapassadas”. Eles ressaltaram, porém, que sempre haveria uma teoria mais conveniente que outras. Duhem definia essa preferência através de uma proximidade da teoria à representação ideal, enquanto Poincaré e Le Roy viam na conveniência a influência de critérios epistemológicos, como a simplicidade, e também a relevância de fatores evolutivos que seriam refletidos pelos nossos hábitos.

Entre os participantes desta escola também houve acordos parciais. Duhem e Poincaré, seguindo a filosofia científica de Mach, concordavam que os princípios científicos proporcionavam uma economia de pensamento. Num outro momento, somos capazes de observar o acordo entre Poincaré e Le Roy a respeito do caráter convencional dos princípios científicos. Duhem, apesar de utilizar o termo convenção, enfatizou não o caráter convencional da teoria, mas seu caráter representativo e abstrato.

Sem dúvida, cada autor também tem posições que não podem sequer ser comparadas pelo paralelo que buscamos estabelecer até aqui, pois constituem aquilo que é particular a cada epistemologia. Contudo, as críticas que estes autores produziram nos apresentaram uma ciência que já não podia ser vista com o otimismo do passado. Nesse sentido, eles buscaram formular uma filosofia crítica ao positivismo da geração anterior, mas que não adotasse, em contrapartida, um ceticismo que negasse qualquer importância à atividade científica. Duhem,

Poincaré e Le Roy, cada um a seu modo, defenderam o valor, mesmo que relativo, das teorias científicas.

REFERÊNCIAS

- APPELL, P.; POINCARÉ, H. Rapport sur un Mémoire de M. Le Roy, intitulé : « *Sur l'intégration des équations de la chaleur* ». *Comptes Rendus Hebd. des Séan. de l'Académie des Sciences*, Paris, t. 125, n. 22, p. 847-849, jui. e déc. 1897.
- ARIEW, R. ; BARKER, P. *Essays in the history and philosophy of science*. Indianapolis: Hackett, 1996.
- BACHELARD, G. *Notice sur la vie et les travaux de Édouard Le Roy (1870-1954)*. Séance du 15 février de l'Institut de France. Paris : Firmin-Didot, 1960.
- BARBEROUSSE, A. ; KISTLER, M. ; LUDWIG, P. *La philosophie des sciences au XX^e siècle*. France : Flammarion, 2000.
- BERGSON, H. *Matéria e memória: ensaio sobre a relação do corpo com o espírito*. 2. ed. São Paulo: M. Fontes, 1999.
- BOUTROUX, E. *De la contingence des lois de la nature*. 3. éd. Paris : F. Alcan, 1898.
- _____. La philosophie en France depuis 1867. *Rev. de Méta. et de Mor.*, Paris, t. 16, n. 6, p. 683-716, 1908.
- BRENNER, A. *Duhem. Science, réalité et apparence : la relation entre philosophie et histoire dans l'oeuvre de Pierre Duhem*. Paris : J. Vrin, 1990.
- _____. Le conventionnalisme : crise de la physique et réflexion philosophique. In : WORMS, F. *Le moment 1900 en philosophie*. France : Septentrion, 2004. p. 227-234.
- BULLETIN DE LA SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHILOSOPHIE, v.1, 1, 1901, Paris. *Séance du 28 Mars 1901*. Paris : P. Brodard, 1901.
- CONGRÈS INTERNATIONAL DE PHILOSOPHIE, 1, 1900, Paris. *Philosophie générale et Métaphysique*. Nendeln/Liechtenstein : Kraus, 1968.
- CONGRÈS INTERNATIONAL DE PHYSIQUE, 1900, Paris. *Procès-verbaux sommaires*. Paris : Imprimerie Nationale, 1900.
- COPLESTON, S. J. F. *A history of philosophy*. New York: Doubleday, 1994. 9 v. v. 9: From the French revolution to Sartre, Camus, and Lévi-Strauss.
- COUTURAT, L. Études sur l'espace et le temps de MM. Lechalas, Poincaré, Delboeuf, Bergson, L. Weber et Evellin. *Rev. de Méta. et de Mor.*, Paris, t. 4, p. 646-669, 1896.
- DUHEM, P. Notation atomique et hypothèses atomistiques. *Revue des Questions Scientifiques*, Bruxelles, 31, p. 394-457, 1892a.

- _____. Commentaire aux principes de la Thermodynamique. *Journal de Mathématiques Pures et Appliquées*, Paris, 8, p. 269-330, 1892b.
- _____. Cours de physique mathématique : Thermodynamique, par H. Poincaré. *Revue des Questions Scientifiques*, Bruxelles, 31, p. 603-606, 1892c.
- _____. Leçons sur la théorie de l'élasticité, par H. Poincaré. *Revue des Questions Scientifiques*, Bruxelles, 32, p. 271-273, 1892d.
- _____. Théorie mathématique de la lumière, par H. Poincaré. *Revue des Questions Scientifiques*, Bruxelles, 33, p. 257-258, 1893a.
- _____. Une nouvelle théorie du monde inorganique. *Revue des Questions Scientifiques*, Bruxelles, 33, p. 90-133, 1893b.
- _____. *Introduction a la mécanique chimique*. Paris : G. Carré, 1893c.
- _____. *Traité élémentaire de mécanique chimique fondée sur la thermodynamique*. t. 1. Paris : A. Hermann, 1897.
- _____. *La théorie physique : son objet et sa structure*. Paris : Chevalier & Rivière, 1906.
- _____. La nature du raisonnement mathématique. *Revue de Philosophie*, Paris, 21, p. 531-543, 1912.
- _____. *La science allemande*. Paris : A. Hermann, 1915.
- _____. Salvar os fenômenos: ensaio sobre a noção de teoria física de Platão a Galileo. *Cadernos de história e filosofia da ciência*, Campinas, sup. 3, p. 1-105, 1984.
- _____. Algumas reflexões sobre as teorias físicas. *Ciência e Filosofia*, São Paulo, 4, p. 13-37, 1989.
- _____. Physics and metaphysics. In : ARIEW, R. ; BARKER, P. *Essays in the history and philosophy of science*. Indianapolis: Hackett, 1996a. p. 29-49.
- _____. The english school and physical theories. In : ARIEW, R. ; BARKER, P. *Essays in the history and philosophy of science*. Indianapolis: Hackett, 1996b. p. 50-74.
- _____. *Física de crente*. Covilhã: LusoSofia, 2008.

DE PAZ, M. *Mecánica y Epistemología en Henri Poincaré*. 393 f. Tese (Doutorado em História e Filosofia das Ciências e em Filosofia) – Secção Autónoma de História e Filosofia das Ciências da Universidade de Lisboa e Departamento de Filosofia Teórica da Univeridade Complutense de Madrid, 2014.

EUCLIDES. *Elementos*: libros I-IV. Tradução María Luisa Puertas Castaños. Madrid: Gredos, v. 1, 1991.

FOLINA, J. Poincaré on Mathematics, Intuition and the Foundations of Science. *Proceedings of the Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association*, v. 2, p. 217-226, 1994.

FREULER, L. Les tendances majeures de la philosophie autour de 1900. In : PANZA, M. ; PONT, J. *Les savants et l'épistémologie vers la fin du XIX^e siècle*. Paris : A. Blanchard, 1995. p. 1-15.

GALISON, P. *Einstein's clocks, Poincaré's maps: empires of time*. New York: W. W. Norton, 2004.

GERINI, C.; GINOUX, J. *Henri Poincaré: une biographie au(x) quotidien(s)*. Paris : Ellipses, 2012.

GRAY, J. *Henri Poincaré: a scientific biography*. Princeton: Princeton University, 2013.

GROSS, T. J. *The Russell-Poincaré debate concerning the foundations of geometry and the nature of space*. 104 f. Dissertação (Mestrado em Filosofia) – McMaster University, Hamilton(Ontario), 1974.

HADAMARD, J. *L'oeuvre scientifique de Pierre Duhem*. Paris : Blanchard, 1928.

HEINZMANN, G. Hypotheses and convention in Poincaré. In : HEIDELBERGER, M. ; SCHIEMANN, G. *The hypothetical in the natural sciences*. Berlin: de Gruyter, 2009. p. 169-192.

HÖFFDING, H. *A brief history of modern philosophy*. New York: Macmillan, 1922.

JAKI, S. L. *Uneasy genius: the life and work of Pierre Duhem*. Dordrecht: M. Nijhoff, 1987.

KÖCHE, J. C. Pierre Duhem: a presença do empirismo e do indutivismo em suas primeiras publicações. In: FELTES, H. P. M.; ZILLES, U. *Filosofia: diálogo de horizontes*. Caxias do Sul/Porto Alegre: EDUCS/EDIPUCRS, 2001. p. 175-186.

LANGEVIN, P. L'oeuvre d'Henri Poincaré : le physicien. *Rev. de Méta. et de Mor.*, Paris, t. 21, n. 5, p. 675-718, 1913.

LE ROY, É ; VINCENT, G. Sur la méthode mathématique. *Rev. de Méta. et de Mor.*, Paris, t. 2., p. 505-530, p. 676-708, sept. e nov. 1894.

LE ROY, É. Sur le problème de Fourier. *Comptes Rendus Hebd. des Séan. de l'Académie des Sciences*, Paris, t. 120, n. 4, p. 179-181, jan. e juin 1895a.

_____. Sur le problème de Fourier. *Comptes Rendus Hebd. des Séan. de l'Académie des Sciences*, Paris, t. 120, n. 11, p. 599-602, jan. e juin 1895b.

_____. Sur l'intégration des équations aux dérivées partielles linéaires et du second ordre à caractéristiques imaginaires. *Comptes Rendus Hebd. des Séan. de l'Académie des Sciences*, Paris, t. 122, n. 7, p. 367-369, jan. e juin 1896a.

_____. Sur le problème de Dirichlet et les fonctions harmoniques fondamentales attachées à une surface fermée. *Comptes Rendus Hebd. des Séan. de l'Académie des Sciences*, Paris, t. 123, n. 23, p. 986-988, jui. e déc. 1896b.

_____. Sur le problème des membranes vibrantes. *Comptes Rendus Hebd. des Séan. de l'Académie des Sciences*, Paris, t. 123, n. 26, p. 1258-1260, jui. e déc. 1896c.

_____. Sur l'intégration des équations de la chaleur. *Comptes Rendus Hebd. des Séan. de l'Académie des Sciences*, Paris, t. 125, n. 20, p. 756-758, jui. e déc. 1897.

_____. *Sur l'intégration des équations de la chaleur*. Paris : Gauthier-Villars, 1898.

_____. Sur les séries divergentes et les fonctions définies par un développement de Taylor. *Comptes Rendus Hebd. des Séan. de l'Académie des Sciences*, Paris, t. 128, n. 8, p. 492-495, jan. e juin 1899a.

_____. Science et philosophie. *Rev. de Méta. et de Mor.*, Paris, t. 7., p. 375-425, p. 503-562, 1899b.

_____. Science et philosophie (Suite et fin). *Rev. de Méta. et de Mor.*, Paris, t. 8., p. 37-72, 1900a.

_____. Sur les séries divergentes. *Comptes Rendus Hebd. des Séan. de l'Académie des Sciences*, Paris, t. 130, n. 20, p. 1293-1296, jan. e juin 1900b.

_____. « Sur les séries divergentes » : rectification à une Note précédente. *Comptes Rendus Hebd. des Séan. de l'Académie des Sciences*, Paris, t. 130, n. 23, p. 1535-1536, jan. e juin 1900c.

_____. Un positivisme nouveau. *Rev. de Méta. et de Mor.*, Paris, t. 9., p. 138-153, 1901a.

_____. [Discussão]. In : BULLETIN DE LA SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHILOSOPHIE, v.1, 1, 1901, Paris, *De la valeur objective des lois physiques*. Paris : P. Brodard, 1901b. p. 6-32.

_____. Sur quelques objections adressées à la nouvelle philosophie. *Rev. de Méta. et de Mor.*, Paris, t. 9., p. 292-327, p. 407-432, 1901c.

_____. [Discussão]. In : BULLETIN DE LA SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHILOSOPHIE, v. 5, 2, 1904, Paris, *Les axiomes de la mécanique et le principe de causalité*. Paris : A. Colin, 1905. p. 50-70.

_____. Henri Poincaré et la critique des sciences. *Revue des Deux Mondes*, Paris, Prem. Quin., 3, p. 397-412, déc. 1949.

MAIOCCHI, R. Pierre Duhem's *The aim and structure of physical theory*: a book against conventionalism. *Synthese*, Netherlands, n. 83, p. 385-400, 1990.

MOULINES, C. U. *La philosophie des sciences : L'invention d'une discipline (fin XIX^e – début XXI^e siècle)*. Paris : Rue d'Ulm, 2006.

PAINLEVÉ, P. [Discussão]. In : BULLETIN DE LA SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHILOSOPHIE, v. 5, 2, 1904, Paris, *Les axiomes de la mécanique et le principe de causalité*. Paris : A. Colin, 1905. p. 27-72.

PARODI, D. *La philosophie contemporaine en France : essai de classification des doctrines*. 2. ed. rev. Paris : F. Alcan, 1920.

POINCARÉ, H. *Notice sur les travaux scientifiques de Henri Poincaré*. 2. ed. Paris : Gauthier-Villars, 1886.

_____. *Leçons sur la théorie mathématique de la lumière : professées pendant le premier semestre 1887-1888*. Paris : G. Carré, 1889.

_____. *Électricité et optique - Tome 1 : Les théories de Maxwell et la théorie électromagnétique de la lumière. Leçons professées pendant le second semestre 1888-89*. Paris : G. Carré, 1890.

_____. Les géométries non euclidiennes. *Rev. Gén. des Sci. Pur. et Appli.*, Paris, 2. an., 23, p. 769-774, déc. 1891a.

_____. *Électricité et optique – Tome 2 : Les théories de Helmholtz et les expériences de Hertz. Leçons professées pendant le second semestre 1889-90*. Paris : G. Carré, 1891b.

_____. *Thermodynamique : leçons professées pendant le premier semestre 1888-89*. Paris : G. Carré, 1892a.

_____. Correspondance sur les géométries non euclidiennes. *Rev. Gén. des Sci. Pur. et Appli.*, Paris, 3, p. 74-75, 1892b.

_____. *Théorie mathématique de la lumière – Tome 2 : Nouvelles études sur Diffraction. – Théorie de la dispersion de Helmholtz. Leçons professées pendant le premier semestre 1891-1892*. Paris : G. Carré, 1892c.

_____. Mécanisme et expérience. *Rev. de Méta. et de Mor.*, Paris, t. 1., p. 534-537, 1893a.

_____. *Théorie des tourbillons : leçons professées pendant le deuxième semestre 1891-92*. Paris : G. Carré, 1893b.

_____. *Les oscillations électriques : leçons professées pendant le premier trimestre 1892-1893*. Paris : G. Carré, 1894.

_____. L'espace et la géométrie. *Rev. de Méta. et de Mor.*, Paris, t. 3., p. 631-646, 1895.

_____. Réponse à quelques critiques. *Rev. de Méta. et de Mor.*, Paris, t. 5, p. 59-70, 1897.

_____. La mesure du temps. *Rev. de Méta. et de Mor.*, Paris, t. 6., p. 1-13, 1898a.

_____. On the Foundations of Geometry. *The Monist*, Oxford, 9, p. 1-43, 1898b.

_____. Des fondements de la géométrie a propos d'un livre de M. Russell. *Rev. de Méta. et de Mor.*, Paris, t. 7., p. 251-279, 1899a.

_____. *Théorie du potentiel newtonien* : leçons professées a la Sorbonne pendant le premier semestre 1894-1895. Paris : G. Carré/C. Naud, 1899b.

_____. Sur les principes de la géométrie. Réponse a M. Russell. *Rev. de Méta. et de Mor.*, Paris, t. 8., p. 73-86, 1900a.

_____. Les relations entre la physique expérimentale et la physique mathématique. *Revue scientifique*, Paris, 37. an., 4. sér., t. 14, p. 707-715, 1900b.

_____. Sur les principes de la mécanique. *Bibliothèque du Congrès international de philosophie*, Paris, t. 3, p. 457-494, 1901.

_____. Sur la valeur objective de la science. *Rev. de Méta. et de Mor.*, Paris, t. 10, p. 263-293, 1902.

_____. L'espace et ses trois dimensions. *Rev. de Méta. et de Mor.*, Paris, t. 11, p. 281-301, p. 407-429, 1903.

_____. L'état actuel et l'avenir de la physique mathématique. *Bulletin des sciences mathématiques*, Paris, 28, 2. sér., p. 302-324, 1904a.

_____. La Terre tourne-t-elle ? *Bulletin de la Société astronomique de France*, Paris, 18, p. 216-217, 1904b.

_____. Lettre à M. G. F. Stout. *Mind*, Oxford, 15, p. 141-143, 1906.

_____. L'invention mathématique. *L'Enseignement mathématique*, Paris, 10, p. 357-371, 1908.

_____. *Science et méthode*. Paris : E. Flammarion, 1924.

_____. Sur les applications de la géométrie non euclidienne a la théorie des formes quadratiques. In : _____. *Oeuvres de Henri Poincaré*. Paris: Gauthier-Villars, 1950. 11 t. t. 5. p. 267-274.

_____. Sur les hypothèses fondamentales de la géométrie. In : _____. *Oeuvres de Henri Poincaré*. Paris: Gauthier-Villars, 1956. 11 t. t. 11. p. 79-91.

_____. *The value of science*. New York: Dover, 1958.

_____. *A ciência e a hipótese*. 2. ed. Brasília: Universidade de Brasília, 1984.

_____. *O valor da ciência*. 1. ed. Rio de Janeiro: Contraponto, 1995.

_____. O demônio de Arrhenius. In: VIDEIRA, A. A. P. (Org.). *Henri Poincaré. Ensaaios fundamentais*. Rio de Janeiro: Contraponto/PUC Rio, 2008. p. 181-186.

PULTE, H. Beyond the edge of certainty: reflections on the rise of physical conventionalism. *Philosophia Scientiae*, Paris, 4 (1), p. 47-68, 2000.

_____. Darwin's Relevance for Nineteenth-Century Physics and Physicists: A Comparative Study. In: ENGELS, E.; GLICK, T. *The Reception of Charles Darwin in Europe*, v. 1, London: Continuum, 2008. p. 116-134.

REALE, G. ; ANTISERI, D. *História da filosofia*. São Paulo: Paulus, 2005, 7 v. v. 5: Do Romantismo ao Empirio-criticismo.

REY, A. La philosophie scientifique de M. Duhem. *Rev. de Méta. et de Mor.*, Paris, t. 12, p. 699-744, 1904.

_____. La physique de M. Duhem. *Annales de philosophie chrétienne*, 74 an., 4. sér., t. 1, p. 535-537, oct. e mars 1905-1906.

_____. *La philosophie moderne*. Paris : E. Flammarion, 1908.

ROLLET, L. *Henri Poincaré. Des mathématiques à la philosophie : étude du parcours intellectuel, social et politique d'un mathématicien au début du siècle*. 445 f. Tese (Doutorado em Filosofia) – Université Nancy 2, 1999.

_____. *Un mathématicien au Panthéon ? Autour de la mort de Henri Poincaré*. Laboratoire de Philosophie et d'Histoire des Sciences – Archives Henri-Poincaré, Université Nancy 2. Disponível em : <www.cultivoo.com/documents/articles/henripoin.pdf>. Acesso em: 23 mar. 2015.

RUSSELL, B. Les axiomes propres a Euclide sont-ils empiriques ? *Rev. de Méta. et de Mor.*, Paris, t. 6., p. 759-776, 1898.

_____. Sur les axiomes de la géométrie. *Rev. de Méta. et de Mor.*, Paris, t. 7., p. 684-707, 1899.

_____. Review of *Science and Hypothesis* by H. Poincaré. *Mind*, Oxford, 14, p. 412-418, 1905.

_____. [Carta de resposta ao diretor da revista]. *Mind*, Oxford, 15, p. 143, 1906.

SCHICKORE, J. Scientific Discovery. In: *Stanford Encyclopedia of Philosophy*. Mar. 6, 2014. Disponível em: <plato.stanford.edu/entries/scientific-discovery>. Acesso em: 23 mar. 2015.

SCHMID, A. Conventionalisme. In: LECOURT, D. *Dictionnaire d'histoire et philosophie des sciences*. 4. ed. rev. et aug. Paris: PUF, 2006. p. 287-289.

VACHEROT, E. *La métaphysique et la science: principes de métaphysique positive*. Paris: F. Chamerot, 1858.

_____. La situation philosophique en France. *Revue des Deux Mondes*, Paris, XXXVIII^e – 2., t. 75, p. 950-977, mai 1868.

VOELKE, J. *Renaissance de la géométrie non euclidienne entre 1860 et 1900*. Bern: P. Lang, 2005.

ZAHAR, E. *Poincaré's philosophy: from conventionalism to phenomenology*. United States of America: Open Court, 2001.