

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS
DEPARTAMENTO DE FÍSICA
LICENCIATURA EM FÍSICA

MÁRCIO FERNANDO APARECIDO BORTOTTI

O PENSAMENTO EPISTEMOLÓGICO DE PIERRE DUHEM

MARINGÁ
2019

MÁRCIO FERNANDO APARECIDO BORTOTTI

O PENSAMENTO EPISTEMOLÓGICO DE PIERRE DUHEM

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Departamento de Física
como requisito parcial para obtenção do
grau de Licenciado em Física pela
Universidade Estadual de Maringá.

Orientador: Prof. Dr. Daniel Gardelli

MARINGÁ

2019

MÁRCIO FERNANDO APARECIDO BORTOTTI

O PENSAMENTO EPISTEMOLÓGICO DE PIERRE DUHEM

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Departamento de Física
como requisito parcial para obtenção do
grau de Licenciado em Física pela
Universidade Estadual de Maringá.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. DANIEL GARDELLI - Orientador
Universidade Estadual de Maringá - UEM

Prof. Dr. MAURÍCIO A. CUSTÓDIO DE MELO
Universidade Estadual de Maringá - UEM

Prof. Dr. LUCIANO CARVALHAIS GOMES
Universidade Estadual de Maringá – UEM

Maringá – PR
2019

Dedico este trabalho aos meus pais.

*“Dois problemas se misturam
A verdade do Universo
A prestação que vai vencer”*

(Eu também vou reclamar – Raul Seixas)

RESUMO

Este estudo visa buscar entender algumas relações existentes entre a Física, Cosmologia e a Metafísica. A base do nosso estudo é a teoria epistemológica de Duhem, que procura mostrar a influência da Metafísica na História da Física e até mesmo na formação das teorias físicas. Mostramos, também, uma relação entre as teses de Duhem e o falsificacionismo de Popper. Como Duhem trabalha com a tese de que a teoria física é uma representação e não uma explicação da natureza é de suma importância aplicar essa visão epistemológica no Ensino de Física, dessa forma buscamos exemplificar as possíveis aplicações da epistemologia duhemiana no Ensino. Para poder fazer essa conexão com a aprendizagem dos alunos utilizamos a teoria da psicologia cognitiva em termos de *representações mentais*.

Palavras-chaves: Metafísica; Ensino de Física; Duhem.

ABSTRACT

This study aims to understand some existing relations between Physics, Cosmology and Metaphysics. The basis of our study is Duhem's epistemological theory, which seeks to show the influence of metaphysics on the history of physics and even on the formation of physical theories. We also show a relationship between Duhem's thesis and Popper's falsificationism. Since Duhem works with the thesis that physical theory is a representation and not an explanation of nature, it is of the utmost importance to apply this epistemological view in Physics Teaching, so we seek to exemplify the possible applications of Duhem's thesis in Teaching. In order to make this connection with student learning we use the theory of cognitive psychology in terms of mental representations.

Keywords: Metaphysical; Physics teaching; Duhem.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	9
2 CONCEPÇÃO DUHEMIANA.....	13
2.1 DA FILOSOFIA PERIPATÉTICA À CIÊNCIA MODERNA.....	13
2.2 DISTINÇÃO ENTRE FÍSICA E METAFÍSICA.....	16
2.3 AS HIPÓTESES NA TEORIA FÍSICA.....	19
3 TEORIA FÍSICA E A CLASSIFICAÇÃO NATURAL.....	21
3.1 TEORIA FÍSICA E SUAS OPERAÇÕES.....	21
3.2 O MÉTODO EXPERIMENTAL.....	25
3.3 INTERSEÇÃO ENTRE A TEORIA POPPERIANA E DUHEMIANA.....	30
4 A CIÊNCIA POSITIVISTA E A TRADIÇÃO.....	36
4.1 A CIÊNCIA POSITIVISTA.....	36
4.2 A TRADIÇÃO.....	38
5 METODOLOGIA DUHEMIANA APLICADA NO ENSINO DE FÍSICA.....	44
5.1 EPISTEMOLOGIA NO ENSINO DE FÍSICA.....	44
5.2 UMA POSSÍVEL ABORDAGEM ENTRE DUHEM E AS REPRESENTAÇÕES MENTAIS.....	49
5.3 DUAS PROPOSTAS METODOLÓGICAS.....	52
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	55
REFERÊNCIAS.....	56

1 INTRODUÇÃO

O pensar cientificamente é se posicionar no campo epistemológico intermediário entre Metafísica, Teoria Física e Experiência – é o que mostraremos nesse trabalho – não obstante, esse pensamento claro não se encontra na academia, muitas vezes o “pensar cientificamente” é obnubilado pelo realismo ou pelo positivismo. É necessário, então, apresentar essa forma de “pensar cientificamente”, pois a Ciência não pode ser tratada como um dogma de fé. Se por outro lado, a Ciência for tratada como um dogma de fé, temos uma população confusa e analfabeta cientificamente, portanto uma parcela da população acredita que o adjetivo ciência está sempre relacionado com a verdade, com métodos infalíveis.

Qualquer propaganda de produtos industriais ou em qualquer “pesquisa” maliciosa, costuma aparecer a seguinte frase: “foi cientificamente comprovado por cientistas da universidade X e do país Y”. Além do mais, o *Argumentum ad verecundiam* é tão gritante que até mesmo no meio acadêmico temos exemplos claros disso: quantas vezes em Ciências Sociais ou em Ciência Política é usado o *argumento de autoridade*? Será que essa crença em uma teoria, essa metafísica irracional, é a precursora disso? É como se a Ciência fosse a religião moderna; é bonito, é culto falar “cientificamente comprovado”, “a ciência disse que” ou ainda a nova febre do momento, “segundo a mecânica quântica, pensar positivo atrai coisas positivas”, infelizmente isso é tão lastimável, e para piorar tais aberrações são reverberadas na grande mídia e nas redes sociais.

Mas no fim, o que a Ciência tem de tão especial? Ou o que é a Física? Ou quais são os seus fundamentos? A Física é a descrição exata da realidade? Mas, se a Física for a descrição da realidade, visto que uma teoria é formulada por equações, então a equação é a própria realidade? Faz sentido falar em realidade? O que é realidade? São várias as correntes filosóficas que se preocupam em responder a essas questões, cada uma delas têm seus pontos fortes e fracos.

Para começarmos analisar as questões ontológicas da Física vamos fazer um paralelo importante com a teoria de Baudrillard¹, que traz em alguns de seus livros

1 O livro em questão é “*A transparência do Mal: ensaio sobre os fenômenos extremos*”, Papyrus, 1990.

uma nova forma de encarar a realidade. Por exemplo, no livro “*A transparência do Mal: ensaio sobre os fenômenos extremos*”, ele discorre que a realidade é criada, hiper-realidade, ou seja, são simulacros, além de se basear no princípio do mal não moral, fazendo assim uma análise da estrutura social ocidental contemporânea.

É notório que a dominação imposta pelo sistema começa com a ideia de *signos*, que são influências simbólicas do sistema sobre o indivíduo. Então, um exemplo claro disso é a supervalorização do termo ciência – que nesse caso pode ser a representação do signo – e, além do mais, essa visão leva ao questionamento do papel que o ser humano ocupa neste ambiente.

Como a Ciência é desenvolvida por homens e mulheres não é possível desvinculá-la das questões sociais e políticas, portanto, para compreender a importância que o termo “ciência” tem na sociedade ocidental atual é necessário conhecer um pouco da estrutura social ocidental contemporânea, que pode ser compreendida conforme o consumismo. As condições ontológicas de Baudrillard mostram a vultosa influência dos meios virtuais sobre a sociedade de consumo, com essas reflexões são criadas três formas de analisar a estrutura social: análise da produção, análise das trocas e análise do consumo de símbolos e signos. Por exemplo, são vários os produtos criados pela Ciência que se fazem presente na vida do indivíduo, porém ao mesmo tempo, a Ciência está tão distante que se torna algo “místico”, algo que a grande massa não entende, mas cultua. Logo, muitos adoram os produtos que a Ciência produz, porém são poucos que questionam como a Ciência é feita.

Perante ao caos de informações a grande massa deposita sua fé no termo ciência, na esperança de que essa seja a salvação de todos os males. A irrupção inevitável de um corretivo *ex machina* é o que a humanidade procura, vide por exemplo, os cristãos, ao juntar as mãos em orações, à espera desse corretivo. A forma teológica se perde perante o consumismo, é um simulacro dentro do outro. É uma busca laboriosa para saciar esse *ex nihilo*, desta forma, o termo ciência consegue iludir muito bem, esse é o cerne da euforia social, pois a sociedade se livra do conhecimento e traz um objetivo operacional. Por consequência o “*Homem Telemático*” vive seu mundo imaginário, consumindo, não por uma necessidade natural, mas uma necessidade imposta pelo sistema, consumindo marcas, modas e

não o produto em si. Por fim, a imagem do homem deitado, cultuando, num dia qualquer, na tela grande e vazia de seu *smartphone* o avanço da Ciência, constituirá, no futuro, uma síntese da imagem antropologia do século XXI.

Entre vários cientistas que levaram em conta as questões históricas e culturais como fonte do desenvolvimento científico, Duhem é que consegue de forma original traçar uma possível relação disso tudo com o desenvolvimento científico. A historiográfica obra de Duhem é minuciosa, ela mostra a evolução da Ciência Medieval, traz o carácter reflexivo de como isso ocorreu, revela que esse desenvolvimento foi influenciado pela concepção Cosmológica.

Pierre Maurice Marie Duhem nasceu em 10 de Junho de 1861 em Paris. Sua formação começou cedo, aos 7 anos de idade começou a estudar gramática, aritmética, latim e catequese. Já em 1882 ele se matriculou na *Ecole Normale Supérieure*. No final do ano acadêmico de 1883 a 1884 ele recebeu uma licença em matemática e outra em física, respectivamente. Duhem por ser abertamente conservador e profundamente religioso sofreu muita “perseguição” política, visto que no séc. XIX a academia francesa era predominantemente liberal e anticlerical. Além do mais, em sua tese de doutorado Duhem refutava, um dos principais trabalhos da época, o princípio do máximo trabalho, que dizia “as alterações químicas tendem espontaneamente a produzir calor máximo”, que era a teoria vigente da época. Esses são os fatores, que provavelmente levaram Duhem a nunca lecionar em Paris.

Ao longo de sua carreira acadêmica (32 anos de atividade científica) Duhem atuou em várias áreas da Física, como por exemplo, Termodinâmica, Físico-química, Hidrodinâmica, Eletricidade e Magnetismo. Além de atuar também na área de epistemologia e história da Ciência. Seus principais trabalhos são “*A Teoria Física: Seu objetivo e sua Estrutura*”, “*Salvar os fenômenos*” e sua grande obra historiográfica “*Sistema do Mundo*”. Duhem publicou mais de 30 artigos e 21 livros.

Seu pensamento filosófico era em oposição ao mecanicismo, ao atomismo, além de ser contra a interpretação materialista e realista da Química e da Física. Duhem, assim como outros intelectuais importantes da época, como Mach, Poincaré e Wilhelm Ostwald, eram energeticistas.

Apoiando-se na teoria filosófica kantiana do conhecimento humano, Duhem expressa a limitação intelectual do homem, ou seja, o espírito humano é incapaz de

transcender a realidade fenomenal e somente a inteligência angelical, ou uma inteligência inspirada por Deus, é capaz de superar essa limitação.

No segundo capítulo vamos definir os conceitos e termos chaves da filosofia duhemiana, pois, alguns termos que Duhem utiliza estão relacionado com a Física de Aristóteles, por exemplo, e outros são concepções exclusivas de sua teoria, por conseguinte vimos a necessidade de fazer um capítulo preliminar para evitar qualquer tipo de ambiguidade.

Já o terceiro capítulo vamos discorrer sobre a construção de uma Teoria Física, seguindo a concepção da epistemologia duhemiana, descrevendo quais são os métodos utilizados para formação da física teórica e da física experimental e, claro, qual é a relação de ambas com a Metafísica. Vamos também fazer um breve paralelo com a visão que Popper tem sobre a Ciência.

No capítulo quatro vamos analisar o posicionamento filosófico de Duhem, ou seja, se ele é, de fato, positivista, como afirmam vários de seus intérpretes, citando alguns exemplos, entre eles a evolução histórica entre a Cosmologia e a Física.

No quinto capítulo vamos elucidar porque é necessário que o professor tenha conhecimento de epistemologia, por conseguinte, vamos discutir uma possível metodologia duhemiana no Ensino de Ciência aliada a teoria dos modelos mentais, no caso particular, no Ensino de Física.

2 CONCEPÇÃO DUHEMIANA

Como discutido na introdução, este trabalho apresentará a importância da Metafísica, na visão de Duhem, para descrever o desenvolvimento de uma teoria física. Com isso em mente, estudaremos de forma preliminar alguns conceitos e termos usados pelo autor de *“Física e Metafísica”* que serão úteis nos capítulos posteriores.

Primeiro vamos fazer a distinção de alguns termos, que são termos chaves para o estudo da metodologia duhemiana, como por exemplo, definir o que é Cosmologia (seção 2.1), o que é Metafísica e Física (seção 2.2). Dessa forma faremos uma breve discussão sobre a realidade física. Existe uma prodigalidade de exemplos justificando nossa posição, por conseguinte, essas serão nossas bases teóricas, para além disso, azo da posição duhemiana em relação a escolha filosófica que o físico faz ao selecionar uma teoria física, essa influência se deve a Metafísica, que Bachelard completa afirmando que o físico fica dividido entre duas concepções metafísicas antagônicas, dessa forma a Metafísica pode ser um recurso muito fértil para o desenvolvimento da Física.

2.1 DA FILOSOFIA PERIPATÉTICA À CIÊNCIA MODERNA

Alguns termos que vamos usar neste trabalho não são restritos à Ciência Natural. Sendo assim, torna-se importante esclarecer alguns deles para que nosso trabalho não se torne ambíguo. Um desses termos chaves é o “realismo” (podemos encontrar esse termo em várias áreas do conhecimento, por exemplo nas artes), além do mais, esse termo já teve vários significados no decorrer da história.

A corrente filosófica realista pode ser dividida em duas formas distintas: o *realismo “ontológico”* e o *realismo “epistemológico”*. O primeiro é relativo às essências das coisas. Essa posição filosófica trabalha com a tese de que a realidade existe e é independente do observador. Por exemplo, segundo esse pensamento, se uma árvore que está em uma floresta desabitada cair, ela vai emitir um som, mesmo que não haja um observador para medir o fenômeno.

O realismo epistemológico é relativo ao conhecimento, ou seja, podemos conhecer a realidade pelas leis de uma teoria científica, mesmo que essa realidade não seja observável. Para elucidar melhor essa posição filosófica, a realidade é única e está só esperando para ser descoberta. Se Einstein não tivesse formulado a Teoria da Relatividade Geral, outra pessoa a formularia da mesma forma que Einstein fez, já que a teoria descreve a realidade, ou ainda, se existir vida inteligente em outro lugar no universo as teorias que eles usam para descrever os fenômenos da natureza devem ser semelhante às nossas teorias.

Basicamente, essas duas formas vão se ramificando de forma a “criar” outros termos. Veremos que o realismo epistemológico está relacionado ao conhecimento individual, quando levamos em consideração o conhecimento produzido pela Ciência vamos chamá-lo de realismo científico, ou até mesmo de materialismo.

Segundo Osvaldo Pessoa Jr. (2003, p. 99): “Na ciência, o realismo estava associado ao mecanicismo e ao atomismo, com uma valorização da quantificação e do método hipotético-dedutivo”. É importante salientar que o realismo se opunha ao positivismo e também aos energeticistas.

Lembremos que Pierre Duhem, assim como Wilhelm Ostwald (1853-1932), eram energeticistas. Dessa forma conseguimos entender melhor a crítica de Duhem em relação ao realismo (por conseguinte, ao mecanicismo) e ao positivismo.

O positivismo pode ser agrupado em quatro teses principais:

(i) Descritivismo: só faz sentido atribuir realidade ao que for possível descrever, observar, o que implica também a negação do realismo dos universais. (ii) Demarcação: teses científicas são claramente distinguidas de teses metafísicas e religiosas, por se basearem em “dados positivos” (são verificáveis). (iii) Neutralidade: o conhecimento científico deve ser separado de questões de aplicação e de valores. (iv) Unidade da ciência: todas as ciências têm um método único, baseado no empirismo e na indução. (PESSOA JUNIOR, 2003, p. 102).

Já o realismo científico pode ser entendido da seguinte forma:

As proposições de uma teoria têm “valor de verdade”, isto é, são ou verdadeiras ou falsas, de acordo com a teoria da verdade por correspondência. Assim, uma teoria física serve para “explicar” fenômenos em termos da realidade física subjacente, e não apenas para prevê-los (PESSOA JUNIOR, 2003, p. 102).

Duhem propõe que podemos compreender o mundo exterior de forma completa. Visto que a Física é o estudo dos fenômenos cuja fonte é a matéria bruta e as leis que a regem, ela procura então descrever o mundo exterior de forma precisa, ou seja, a Física é o estudo experimental das coisas inanimadas, porém é apenas um meio de classificar e ordenar as leis experimentais, não sendo, portanto, uma explicação.

A Física pode ser encarada em três fases: a constatação dos fatos, a descoberta e a construção de teorias. Por conseguinte, as teorias físicas são sempre aproximativas, visto o seu carácter experimental, pois elas dependem de vários fatores, como por exemplo, a precisão dos instrumentos de medição.

Diferente de como afirma o realismo científico, o termo descoberta não está relacionado com uma realidade ontológica, já que o método experimental jamais pode transformar a hipótese física numa verdade incontestável (note aqui que essa tese vai contra o empirismo, pois esse defende que a única forma de conhecimento é a experiência, por conseguinte, o conhecimento não pode ser obtido de forma “*a priori*”), ou seja, não existe o *experimentum crucis*. Em razão disso, o objetivo da teoria física não é determinar a natureza última dos fenômenos. Segundo Pierre Duhem:

Vemos a procura da essência das coisas materiais enquanto causas dos fenômenos físicos como uma subdivisão da metafísica, subdivisão que forma com o estudo da matéria viva, a cosmologia. Esta divisão não corresponde exatamente à divisão peripatética: o estudo da essência das coisas constitui, na filosofia peripatética, a metafísica; o estudo do movimento das coisas materiais, isto é, das modificações que a essência dessas coisas sofreu por qualquer passagem da potência ao ato, é a física. A física e a metafísica peripatéticas são reunidas sob o nome de metafísica em nossa linguagem moderna; a física peripatética é nossa cosmologia. Quanto ao estudo experimental das leis físicas e sua reunião em teorias, a filosofia peripatética não dá a esta ciência um nome especial; um só ramo dessa ciência, a astronomia, tinha, na época de Aristóteles, um desenvolvimento capaz de chamar a atenção. Também aquilo que diremos em geral da física, entendida no sentido moderno, corresponde mais ou menos àquilo que os antigos diziam da astronomia. (DUHEM, 1989b, p. 41-42).

Atualmente a Cosmologia, segundo Harrison (2000, p. 15-16), é a ciência que estuda a estrutura, evolução e composição do universo, e para isso são necessárias outras ciências, como por exemplo, a Física e a Astronomia.

Para Duhem, o termo cosmologia (ou seus correlatos) não está se referindo a essa definição moderna, mas sim à definição aristotélico-tomista, ou seja, uma teoria geral dos seres móveis, que abrange suas características quantitativas e qualitativas. Vemos ainda que, para os antigos, o papel do astrônomo era o de descrever matematicamente os fenômenos celestes, já o físico ou o cosmólogo ficariam responsáveis por determinar as características essenciais dos corpos celestes. A metodologia duhemiana faz distinção entre o cosmólogo e o físico.

No contexto da ciência moderna, o cosmólogo continua com sua função antiga, de refletir sobre a estrutura ontológica do mundo. Já a incumbência do físico moderno (ou simplesmente, daqui em diante, físico) é a mesma do astrônomo antigo: descrever a natureza de forma matemática restringindo-se ao domínio do que for quantificável. Dessa forma, o físico sistematiza por relações matemáticas os fenômenos que ele encontra. Além disso, faz previsões por meio dessas sistematizações. Posteriormente, voltaremos a essa sistematização dos fenômenos naturais.

2.2 DISTINÇÃO ENTRE FÍSICA E METAFÍSICA

O contato que temos com o mundo exterior é pela observação, experiência, ou seja, não conhecemos a essência das coisas exteriores, conhecemos apenas os seus efeitos – fenômenos – os quais a teoria física, de forma perspicaz descreve. Isso se assemelha muito com o que Kant defendia, ou seja, a Ciência só tem acesso aos fenômenos e a teoria científica é uma representação. Dessa forma, quando o físico elabora uma teoria física, por mais escrupuloso que ele seja, a teoria nunca vai conseguir descrever a realidade em si, será apenas uma possível representação dos fenômenos físicos.

Exemplos de representações no desenvolvimento da ciência são: a forma de se entender o conceito de gravidade tanto para Newton quanto para Einstein; a descrição dos fenômenos eletrodinâmicos proposta por Weber em contrapartida à formulação do eletromagnetismo de Maxwell; o modelo do sistema geocêntrico de Ptolomeu que deu lugar ao sistema heliocêntrico de Copérnico. O próprio Duhem,

em seus estudos sobre Termodinâmica, defendeu a tese do energeticismo em contrapartida à tese corpuscular para explicar os fenômenos térmicos.

Se a teoria fosse de fato a realidade, teríamos várias delas, além do que, essa “realidade” seria relativa à teoria e de tempos em tempos mudaria de forma brusca. Embora seja, de certa forma, um argumento fraco, ele nos induz ao questionamento sobre o que uma teoria física descreve. Visto por essa óptica, os fenômenos são os mesmos, porém a forma de interpretar muda (nesses exemplos podemos notar que essas teorias rivais descrevem os fenômenos da natureza, até certa ordem de grandeza, de forma equivalente). Além disso, a nova interpretação tem que fazer previsões e essas são testadas pela física experimental, que engendra, dessa forma, a formulação de uma teoria física.

A priori, a constatação empírica é necessária para que seja possível uma sistematização teórica dos fatos. Essa ciência experimental, de forma geral, para os realistas² e empiristas (é claro, deixando de lado as particularidades), é uma das provas que a Física descreve a realidade, ou seja, a física experimental seria o último “grau do conhecimento”, pois entraríamos em contato com o real. Porém, essa posição não seria para o autor de *“Física e Metafísica”* o último termo do conhecimento, pois, nas suas próprias palavras:

[a] ciência puramente experimental não é o último termo do conhecimento do mundo exterior. Acima dela está a ciência teórica. Aquilo que nos propomos estudar é a natureza dessa ciência, tomando como exemplo a teoria mais próxima da perfeição, que recebeu o nome de física matemática (DUHEM, 1989a, p. 17).

Assim, o papel da física matemática ou física teórica é fundamental para o desenvolvimento da Ciência Física. Embora a Física Experimental tenha seu papel para o conhecimento dos fenômenos, todavia, como dito no começo da seção, é necessário ter um certo cuidado, já que, segundo Duhem (1989a, p. 15):

O conhecimento de um grande número de fatos forma um aglomerado confuso que constitui propriamente o empirismo. Esse conhecimento de fatos particulares nada mais é que o primeiro grau do conhecimento do mundo exterior. Pela indução, o espírito, transformando os fatos cujo conhecimento lhe é dado, chega ao conhecimento das leis experimentais.

2 Daqui em diante o termo realista estará associado ao realismo científico.

Posteriormente ele completa, “compete aos filósofos analisar o mecanismo do procedimento indutivo que permite passar dos fatos às leis; discutir a generalidade e a certeza das leis assim estabelecidas.”

Para adquirir o conhecimento do mundo exterior de forma completa é indispensável o entendimento pleno e adequado das substâncias que causam os efeitos estudados pela Ciência. À vista disso, Duhem faz a distinção do conhecimento em dois diferentes graus.

Para ficar de forma mais didática vamos dividir o primeiro grau em duas partes: *o estudo dos fenômenos*, que é a constatação dos fatos e a descoberta; já a segunda parte é *a construção de teorias*, ou seja, é necessário estabelecer as leis que sucedem os fenômenos. E o segundo grau é a indução desses fenômenos às propriedades das leis que o causam. Então Duhem afirma que:

A segunda dessas ciências é aquela que recebeu o nome de metafísica. A primeira divide-se em diversos ramos, segundo a natureza dos fenômenos estudados. O ramo da ciência que estuda os fenômenos, cuja fonte é a matéria inanimada, tem nos dias de hoje o nome de física. Quando, naquilo que se seguir, falarmos da metafísica, estaremos sempre falando da parte da metafísica que trata da matéria não viva e que, por conseguinte, corresponde à física pela natureza das coisas que estuda. Esta parte da metafísica é frequentemente chamada de cosmologia. (DUHEM, 1989b, p. 42).

Fica bem claro, então, que existe uma distinção entre a Física e a cosmologia, já que a “física é o estudo dos fenômenos, cuja fonte é a matéria bruta, e das leis que os regem” e a “cosmologia procura conhecer a natureza da matéria bruta, considerada como causa dos fenômenos e como razão de ser das leis físicas.” (Duhem, 1989b, p. 44). Reforçamos aqui o carácter aristotélico-tomista que Duhem dá ao termo cosmologia. Não obstante, a Física e a Metafísica são de natureza diferente. Porém, Duhem alerta que:

Todavia, convém não se enganar sobre a origem desta distinção: ela não decorre da natureza das coisas estudadas, mas apenas da natureza de nossa inteligência. Uma inteligência que tivesse a visão direta, intuitiva, da essência das coisas - tal inteligência, segundo o ensinamento dos teólogos, seria angélica, não faria distinção entre a física e a metafísica; essa inteligência não conheceria sucessivamente os fenômenos e a substância, causa desses fenômenos; ela conheceria simultaneamente a substância e suas modificações. Aconteceria o mesmo com uma inteligência que tivesse da essência das coisas não uma intuição direta, mas uma visão adequada,

se bem que indireta, pela visão beatífica do pensamento divino. (DUHEM, 1989b, p. 43).

Agora, no campo da metafísica é necessário definir dois conceitos úteis que jamais devem ser confundidos. São eles: verdades metafísicas bem estabelecidas e sistemas metafísicos:

As verdades metafísicas são proposições pouco numerosas e, na maioria, com a forma negativa, que obtemos ascendendo dos fenômenos observados às substâncias que os causam. Um sistema metafísico, ao contrário, é um conjunto de juízos positivos, porém em sua maioria hipotéticos, através dos quais um filósofo procura ligar entre si, em uma ordem lógica e harmoniosa, as verdades metafísicas. Um sistema como esse é aceitável, quando nenhuma das hipóteses das quais ele é composto se choça com uma verdade metafísica estabelecida; porém ele permanece sempre problemático em alto grau e nunca se impõe à razão de maneira inexpugnável. (DUHEM, 1989b, p. 44).

Portanto o autor deixa claro que:

Se não é impossível, pelo menos é extremamente difícil deduzir de verdades metafísicas bem estabelecidas uma verdade física nova. Quanto aos sistemas metafísicos, eles podem sugerir uma proposição da física, mas somente a física poderá decidir se essa proposição é exata ou inexata (DUHEM, 1989b, p. 45).

2.3 AS HIPÓTESES NA TEORIA FÍSICA

Para que a teoria física não seja obscura, ou seja, sem ambiguidade, é necessário a definição de grandezas físicas. Segundo Duhem (1989a, p. 16), “entre as diversas grandezas que supomos definidas, estabeleceremos um certo número de relações, expressas por proposições matemáticas, que daremos o nome de hipóteses. Tomando as hipóteses como princípios, delas desenvolveremos logicamente as consequências”. Além do mais, ao desenvolver essas consequências, algumas delas poderão tornar-se proposições que “se assentam unicamente sobre noções físicas, isto é, em proposições que apresentam a forma das leis experimentais. Essas consequências são o que se chama de consequências experimentalmente verificáveis da teoria” (DUHEM, 1989a, p. 17). Assim, essas consequências experimentalmente verificáveis podem ser ordenadas em duas

classes: as consequências que se traduzem por uma lei experimental exata e as consequências cuja tradução está em contradição com uma lei experimental.

Não obstante, para Duhem, existe uma classificação natural das leis:

Devemos evidentemente julgar o grau de perfeição de uma teoria física em termos da maior ou menor conformidade que oferece essa teoria com a teoria ideal e perfeita; ora, essa teoria ideal e perfeita, nós a definimos em outro lugar: seria a explicação metafísica total e adequada da natureza das coisas materiais; essa teoria, com efeito, classificaria as leis físicas numa ordem que seria a própria expressão das relações metafísicas que possuem entre si as essências das quais emanam essas leis; ela nos daria, no sentido próprio da palavra, a *classificação natural das leis*. (DUHEM, 1989c, p. 78).

Podemos notar que se uma teoria está na ordem natural das leis, ela acaba sendo mais perfeita.

3 TEORIA FÍSICA E A CLASSIFICAÇÃO NATURAL

Vimos no capítulo anterior que, na metodologia duhemiana, os termos metafísica, teoria física, lei e cosmologia são bem definidos. A teoria física, por exemplo, é uma “explicação” hipotética da realidade, ou seja, ela não descreve a realidade em si, “face a face”, mas apenas fornece uma “explicação” (o termo mais adequado é representação) de uma realidade aparente, logo, a teoria nada mais é do que uma aproximação. Desta forma, a teoria física “vê” a essência das coisas, é independente do sistema metafísico. Por outro lado, a lei é uma generalização das observações e dos experimentos.

É claro que a ciência experimental é de crucial importância para a Física. O conhecimento empírico seria o suficiente para reunir um conjunto de juízos sobre o Universo. Por conseguinte, a teoria apodera-se dessas verdades, transformando-as e organizando-as em uma nova doutrina que é a Física Teórica ou Física Matemática.

Vamos definir as operações da teoria física e relacioná-las à Metafísica. Posteriormente vamos descrever o método experimental e sua relação com a Metafísica. Dessa forma, podemos, finalmente, trabalhar com uma possível aproximação entre a metodologia de Duhem com a de Popper.

3.1 TEORIA FÍSICA E SUAS OPERAÇÕES

Para Duhem, é necessário criar uma metodologia para que se possa desenvolver a teoria física, para Duhem:

Em primeiro lugar, o físico, interessado em constituir a teoria que reunirá um conjunto de leis, toma, uma após outra, as diversas noções físicas sobre as quais se assentam essas leis. A cada uma dessas noções físicas, faz corresponder uma grandeza, algébrica ou geométrica, cujas propriedades representam as propriedades mais imediatas das noções físicas correspondentes. (DUHEM, 1989a, p. 14).

Ou seja, ao construir uma teoria física é indispensável designar entre as propriedades obtidas pelo fenômeno físico (ou pela experiência), “aquelas que serão

tomadas como qualidades primárias e representas por símbolos algébricos ou geométricos”. Essa é a primeira operação.

A segunda operação é aquela que estabelece relações entre eles. Tais relações são necessárias, pois assim é possível através da dedução desenvolver a teoria. Essa operação é chamada de *enunciado das hipóteses* (ou *escolha das hipóteses*).

E a terceira operação é o *desenvolvimento matemático*. Por fim é necessário *comparar a teoria com a experiência*. Portanto para Duhem existem quatro operações fundamentais para a construção de toda teoria física:

1. A definição e a medida das grandezas físicas.
2. A escolha das hipóteses.
3. O desenvolvimento matemático da teoria.
4. A comparação da teoria com a experiência.

Para entender melhor essas quatro operações devemos lembrar que o físico, ao elaborar uma teoria, tem que estar ciente que existe uma ordem lógica em suas proposições. Além do mais, essa teoria não tem como objetivo ser uma explicação do fenômeno, mas sim uma representação. Para isso é necessário uma linguagem que seja clara e que possa combinar todas essas ideias com exatidão.

Essa linguagem é a matemática, visto que cada ideia pode ser representada por um signo e que esse, por sua vez, é bem definido, tem operações bem definidas, ou seja, não vai existir ambiguidade nas operações. Então todas as informações utilizadas para representar esses signos são figuradas em números. Portanto é importante criar uma relação com os atributos físicos e os símbolos matemáticos. Segundo Duhem:

[...] para que um atributo que encontramos nos corpos possa ser expresso por um símbolo numérico, é necessário e suficiente, segundo a linguagem de Aristóteles, que tal atributo pertença à *categoria da quantidade* e não à *categoria da qualidade*. É necessário e suficiente, para utilizar uma linguagem mais voluntariamente aceita pelo geômetra moderno, que tal atributo seja uma *grandeza*. (DUHEM, 2014, p. 142).

Vamos imaginar um exemplo de termologia. Sejam três corpos isolados: A, B e C, cujas temperaturas são: 9, 27 e 90, respectivamente. Podemos perceber que o primeiro é menos quente que o segundo, esse por sua vez menos quente que o terceiro. Por outro lado, o que significa dizer “mais quente” ou “menos quente”? Se o corpo B for o café que está na xícara, ao beber esse café a pessoa corre o risco de queimar a língua? Dessa forma temos relações dos fenômenos com os signos matemáticos, Duhem afirma que:

Logo, assim como uma grandeza não é jamais definida simplesmente por um número abstrato, mas por um número ligado ao conhecimento concreto de uma escala, da mesma forma a intensidade de uma qualidade não é inteiramente representada por um símbolo numérico, sendo necessário juntar a esse símbolo um procedimento concreto próprio para obter a *escala* dessas intensidades. (DUHEM, 2014, p. 153).

Portanto, só é possível dar sentido físico aos números. No caso particular do exemplo mencionado acima, podemos usar um termômetro de mercúrio para fazer a medição, já que podemos criar uma escala com a dilatação aparente do mercúrio:

A escala que serve para calibrar as diversas intensidades de uma qualidade é sempre algum efeito quantitativo tendo por causa essa mesma qualidade. Escolhe-se tal efeito de tal sorte que sua grandeza vá crescendo ao mesmo tempo que a qualidade que a causa se torna mais intensa.” (DUHEM, 2014, p. 153-154).

Já a terceira operação é intermediária. Ela mostra que existe uma relação de causalidade entre as hipóteses fundamentais da teoria. Vale a pena salientar que, no desenvolvimento matemático não, é possível inserir circunstâncias concretas, isto é, não tem como colocar nas expressões algébricas ou geométricas um termômetro, um voltímetro, um dinamômetro. Tais objetos são instrumentos que o físico manipula no laboratório.

Por conseguinte, tanto em seu ponto de partida como em seu ponto de chegada, o desenvolvimento matemático de uma teoria não pode se ligar a fatos observáveis a não ser por uma tradução. Para introduzir nos cálculos as circunstâncias de uma experiência, é necessário fazer uma versão que substitua a linguagem da observação concreta pela linguagem dos números. Para tornar constatável o resultado que a teoria predisse a tal experiência, é preciso que um tema transforme um valor numérico em uma indicação formulada na língua da experiência. (DUHEM, 2014, p. 170).

Para fazer a tradução inversa que Duhem descreve, é necessário a física experimental, que é o *método da medição*, iremos trabalhar com mais cuidado o método experimental mais para frente em um seção exclusiva para ele.

Dessa forma podemos entender a quarta operação como o objetivo da teoria física, ou seja, ser a representação das leis experimentais. Com efeito, se a teoria satisfaz essas quatro operações ela pode ser uma teoria representativa da natureza:

Em princípio, somos absolutamente livres para fazer essa escolha do modo que melhor nos parecer. Ninguém tem o direito de pedir satisfação das considerações que ditaram nossa escolha, contanto que as consequências logicamente deduzidas dessas hipóteses pela análise matemática nos forneçam o símbolo de um grande número de leis experimentais exatas. (DUHEM, 1989a, p. 17).

Duhem questiona então qual é a diferença entre a Física Teórica e o conhecimento empírico. Segundo ele:

A teoria é simplesmente um artifício que nos torna as verdades do conhecimento empírico mais fáceis de serem manipuladas, que nos permite fazer delas um uso mais rápido e mais aproveitável em nossa ação sobre o mundo exterior, mas que não nos ensina nada a respeito desse mundo que não tenha sido já ensinado pela experiência?
 Ou ainda, ao contrário, a teoria nos ensina, quanto ao real, alguma coisa que a experiência não nos ensinou e que não poderia ter ensinado, alguma coisa que seja transcendente ao conhecimento puramente empírico?
 Se é preciso responder afirmativamente a esta última questão, poderemos dizer que a teoria física é verdadeira, que ela tem um valor enquanto saber. Se, ao contrário, é a primeira questão que nos força a responder: sim, devemos dizer também que a teoria física não é verdadeira, mas simplesmente cômoda, que ela não tem nenhum valor enquanto saber, mas somente um valor prático. (DUHEM, 1989e, p. 169).

Agora, o que significa dizer uma *teoria verdadeira*? Nas suas palavras:

Assim, uma *teoria verdadeira* não é uma teoria que fornece uma explicação das aparências físicas conforme a realidade. É aquela teoria que representa de uma maneira satisfatória um conjunto de leis experimentais. Por outro lado, uma teoria falsa não é uma tentativa de explicação fundada sobre suposições contrárias à realidade, mas um conjunto de proposições que não concordam com as leis experimentais. *Para uma teoria física, o acordo com a experiência é o único critério de verdade.* (DUHEM, 2014, p. 47).

Ou seja, nas palavras de Duhem (2014, p. 208): “*a lei física é uma relação simbólica cuja aplicação à realidade concreta requer que conheçamos e aceitemos*

todo um conjunto de teorias". Por outro lado, um símbolo não é nem verdadeiro e nem falso, mas é escolhido para significar a realidade que representa. Por conseguinte, toda lei física é relativa e provisória, pois é uma aproximação e porque é simbólica. Segundo o autor:

Tal lei é sempre provisória. Não que se entenda por isso que uma lei da Física é verdadeira por um tempo e falsa em seguida, uma vez que ela não é em nenhum momento nem verdadeira nem falsa. É provisória, pois representa os fatos a que se aplica com uma aproximação que os físicos atualmente consideram suficiente, mas que deixará um dia de satisfazê-los. Tal lei é sempre relativa, não porque seja verdadeira para um físico e falsa para outro, mas porque a aproximação que ela comporta é suficiente para o uso que dela quer fazer o primeiro físico e não que dela quer fazer o segundo físico. (DUHEM, 2014, p. 212).

Com as quatro operações, podemos notar que a teoria física é pragmática. Partindo então desta linha de pensamento, vemos que existe uma aproximação da doutrina filosófica de Ernst Mach ou de Henri Poincaré³ com a epistemologia duhemiana, que descreve que a redução das leis físicas em teorias é cômoda, sem essa condensação seria complicado ou até mesmo impossível para o espírito humano armazenar novas riquezas intelectuais. Por isso esse artifício se faz necessário. Segundo Pierre Duhem:

A teoria substitui, por um número reduzido de proposições – as hipóteses fundamentais –, um grande número de leis que se oferecem a nós como independentes umas das outras, cada uma tendo de ser apreendida e retida por sua própria conta. Uma vez que as hipóteses sejam conhecidas, a dedução matemática permite recordar com a máxima certeza todas as leis físicas, sem repetição ou omissão. (DUHEM, 2014, p. 48).

Não obstante, "a teoria não é somente uma representação econômica das leis experimentais. Ela é também uma *classificação* dessas leis." (DUHEM, 2014, p. 48). Ou seja, a física teórica é um sistema, uma construção lógica e simbólica, a qual é destinada a resumir o conjunto de leis experimentais em um pequeno número de definições e hipóteses que implica uma nova predição falsificável.

3.2 O MÉTODO EXPERIMENTAL

3 POINCARÉ, H. *A ciência e a hipótese*. Paris: Hermann, 1903.

Vamos agora discorrer sobre a física experimental, de forma análoga com a física teórica. Nas palavras do físico francês, ela precisa ter um método:

Já que é impossível, senão em teoria, pelo menos na prática, fazer surgir qualquer verdade nova na física a partir dos conhecimentos metafísicos que podemos adquirir sobre a natureza das coisas, é preciso necessariamente que a física possa se constituir por um método próprio, independente de qualquer metafísica. (DUHEM, 1989b, p. 47).

Para que esse método seja construído é necessário o estudo dos fenômenos e descobrir leis que os encadeiam, porém não é conveniente associá-la à Metafísica. Então, ele chama essa construção de método experimental. Entretanto, nada impede que o físico tente fazer alguma relação entre o método experimental e a Metafísica, mas essa relação não é necessária para o desenvolvimento da teoria.

Devido ao fato desse método descrever certas características fenomenológicas e relacioná-las com conceitos físicos, como por exemplo: extensão; tempo; movimento; temperatura e massa, e ulteriormente, relacioná-los com os axiomas matemáticos, no caso, geometria ou a álgebra, é possível assim descrever um fenômeno físico. Conforme já deixamos isso claro ao abordar as quatro operações fundamentais para a construção de toda teoria física. Então o autor de *Física e Metafísica* afirma que:

Para usar essas noções, para fazer uso desses princípios, não é necessário saber Metafísica; em si mesmos esses princípios, essas noções, aparecem a nossa inteligência suficientemente certos e distintos para que possamos, sem receio de confusão nem de erro, colocá-los em uso através do método experimental. De fato, muitos físicos utilizam com segurança, precisão e fecundidade essas noções e princípios, fundamentos da ciência, que eles aprofundam e desenvolvem, sem se interrogarem por um único instante sobre o que viria a ser do ponto de vista metafísico um corpo ou uma lei. (DUHEM, 1989b, p. 45).

Pensando nisso, temos a seguinte proposição: “o método experimental assenta em princípios evidentes em si e independentes de toda e qualquer metafísica” (DUHEM, 1989b, pg. 45). Vamos elucidar isso com um exemplo. Vamos supor dois físicos, um físico filósofo e o outro simplesmente físico (que jamais refletiu sobre a sua ciência, ou seja, nunca pensou no conceito da metafísica na ciência). O segundo é encaminhado ao laboratório:

[...] dessa mesa repleta de vários aparelhos: uma pilha elétrica, fios de cobre recobertos de seda, cadinhos cheios de mercúrio, bobinas, uma barra de ferro que sustenta um espelho. Um observador introduz em pequenos orifícios a haste metálica de uma ficha cuja extremidade é feita de ebonite; o ferro oscila e, pelo espelho ao qual está ligado, transmite-se sobre uma régua de celuloide uma faixa luminosa da qual o observador segue os movimentos. Isso é, sem dúvida, uma experiência: esse físico observa minuciosamente as oscilações do pedaço de ferro. Perguntemos agora o que ele faz; responderá: "estudo as oscilações da barra de ferro que sustenta o espelho."? Não; ele responderá que mede a resistência elétrica de uma bobina. Se nos surpreendermos, se lhe perguntarmos que sentido têm essas palavras e que relação elas têm com os fenômenos que ele constatou, que constatamos ao mesmo tempo que ele, responderá que esta questão necessitaria de explicações bastante longas e nos mandará fazer um curso de eletricidade. (DUHEM, 1989d, p. 87).

Agora, fazendo a mesma coisa com o físico filósofo, teríamos, provavelmente, uma resposta diferente, pois o físico filósofo pensaria, refletiria e analisaria a metafísica da situação, porém, a prática experimental, que ambos fizeram é necessariamente igual, ou seja, o fenômeno físico é o mesmo, porém a interpretação depende da filosofia que o observador traz em seu interior. Dessa forma, para o que é somente físico a metafísica é completamente inútil, já que o mesmo não deseja ser outra coisa. Em relação a esse experimento, e a toda experiência da física, notemos que ela pode ser dividida em, pelo menos, duas partes, que segundo o pensador francês:

[...] em primeiro lugar, na observação de certos fenômenos; para fazer essa observação, basta estar atento e ter os sentidos suficientemente apurados; não é necessário saber física. Em segundo lugar, ela consiste na interpretação dos fatos observados; para poder fazer esta interpretação, não basta ter a atenção de sobreaviso e o olho exercitado, é preciso conhecer as teorias admitidas, é preciso saber aplicá-las, é necessário ser físico. Todo homem pode, se vê claramente, seguir os movimentos de uma mancha luminosa sobre uma régua transparente, ver se caminha para a direita ou para a esquerda, se se detém neste ou naquele ponto; não tem necessidade, para isso, de ser um grande cientista; mas se ignorar a eletrodinâmica, não poderá concluir a experiência, não poderá medir a resistência da bobina. (DUHEM, 1989d, p. 87-88).

Por conseguinte,

Uma experiência da física é a observação precisa de um grupo de fenômenos, acompanhada da INTERPRETAÇÃO desses fenômenos. Essa interpretação substitui os dados concretos realmente recolhidos pela observação por representações abstratas e simbólicas que lhes correspondem em virtude das teorias físicas admitidas pelo observador. (DUHEM, 1989d, p. 89).

Por mais que a metafísica seja crucial para a compreensão do mundo, suas noções em relação ao método experimental é deixado de lado. Segundo Duhem (1989b, pg. 46), “cabe à metafísica inteirar-se dos fundamentos, evidentes em si mesmos, sobre os quais repousa a física; mas esse estudo não acrescenta nada à sua certeza e à sua evidência no domínio da física”.

Em suma, vimos que toda ciência experimental é composta de, pelo menos, duas partes, mas se assim como a Física, se ela atingiu uma certa perfeição, faz-se necessário uma terceira fase, que se acrescenta às outras duas: a fase teórica. Para o Duhem:

sem ela, as leis experimentais formariam um amontoado confuso e inextrincável onde o espírito sofreria terrivelmente para se orientar, onde ele dificilmente descobriria a lei que deveria utilizar em cada caso particular. A teoria tem por fim classificar as leis experimentais. (DUHEM, 1989b, p. 46).

Posteriormente Duhem completa: “A teoria física, ao classificar um conjunto de leis experimentais, não nos ensina absolutamente nada sobre a razão de ser dessas leis e sobre a natureza dos fenômenos que elas regem” (DUHEM, 1989b, p. 48).

Ao reduzi-la dessa forma, a Física se torna independente da Metafísica, uma vez que, o conjunto de proposições que formam a teoria física não descreve a natureza das coisas. Por conseguinte, esse conjunto não contradiz uma verdade metafísica. Ele revigora o abismo entre a Física e a Metafísica, portanto existe um limite que deve ser respeitado entre as proposições da física teórica com uma verdade metafísica, visto que a diferença entre as duas é essencial, ou seja, não tem sentido lógico procurar condenar ou confirmar uma teoria física por meio de verdades metafísicas, ao passo que uma teoria física – que é a classificação de um conjunto de leis - não acrescenta nada ao conteúdo dessas leis. Ela também não fornece uma base para a pesquisa metafísica, já que ela (teoria física) só ordena os dados. Portanto, não existe uma dependência entre as teorias físicas e as verdades metafísicas. Duhem completa escrevendo que:

Consequentemente, enquanto as leis físicas são o ponto de partida lógico de toda pesquisa metafísica relativa à essência das coisas materiais, as

teorias físicas não poderiam exercer nenhuma influência direta sobre os progressos dessa pesquisa. Se elas ajudam a metafísica, é indiretamente, tornando as leis físicas que elas classificam e resumem mais facilmente presentes ao espírito do filósofo. A subordinação que uma teoria estabelece entre as diversas leis físicas, com o objetivo de classificá-las, não nos obriga de maneira alguma a admitir uma subordinação semelhante entre as leis metafísicas das quais essas leis físicas são a manifestação. (DUHEM, 1989b, p. 47-48).

Para esclarecer melhor esse ponto:

Imaginemos que tenhamos chegado a um conhecimento metafísico aprofundado, detalhado da essência das coisas materiais. As leis físicas, que decorrem dessa essência, nos apareceriam em uma ordem, uma subordinação, que resultariam de sua própria natureza. É certo que essa ordem nos proporcionaria a mais perfeita classificação dessas leis. É certo que uma explicação metafísica completa da natureza das coisas materiais nos forneceria, *ipso facto*, a mais perfeita das teorias físicas. Mas, convém notar, mesmo se conhecêssemos essa teoria física, reprodução da ordem metafísica, ainda seríamos logicamente livres para adotar uma outra, para encadear as leis físicas em uma ordem diferente, para aceitar um outro modo de representação dos fenômenos físicos. Sem dúvida, rejeitando a primeira teoria, seríamos pouco razoáveis, porque ela é mais perfeita; pecaríamos contra a lei que manda que em qualquer ordem de coisas escolhamos aquela que é mais excelente, porém não violaríamos nenhum princípio da lógica, não cometeríamos nenhum absurdo. Uma classificação, com efeito, não é um juízo. Ela pode ser conveniente ou inconveniente, boa ou má; ela não pode ser verdadeira, nem falsa. (DUHEM, 1989b, p. 48).

Por outro lado, é possível deduzir da metafísica uma teoria física, porém é necessário apoiar-se em um sistema metafísico e não somente em verdades metafísicas. Por mais perfeito ou satisfatório que seja, um sistema metafísico é sempre hipotético, logo, uma teoria física deduzida de um sistema metafísico não é superior a outra teoria física estabelecida, independentemente de qualquer consideração sobre a essência das coisas. Por fim:

Assim, uma teoria física, enquanto permaneça em seu domínio próprio e enquanto se proponha somente a classificar as leis experimentais, é absolutamente independente de toda metafísica. Não somente ela não depende de sistemas metafísicos mais ou menos verossímeis que são compartilhados pelas diversas escolas filosóficas, mas ela é ainda independente de verdades metafísicas bem estabelecidas relativas à essência das coisas materiais, de modo que ela permanece igualmente aceitável, não somente por aqueles que sustentam os sistemas metafísicos mais diversos, mas ainda por aqueles que negariam as verdades metafísicas melhor demonstradas. Aquartelada no seu forte, ela teme apenas dois adversários: os físicos que a contestam, seja em nome da experiência, seja em nome de outras teorias físicas; e os céticos que negam a evidência e a certeza de quaisquer noções e princípios nos quais assente

logicamente a ciência experimental. Estes últimos, a física não está preparada para combatê-los, não está armada para isso. Cabe à metafísica mostrar que os fundamentos do método experimental são sólidos. O físico é obrigado a admitir essa verdade como evidente; sobre o terreno próprio de suas teorias, o físico pode somente aceitar e somente deve aceitar combater com o físico. (DUHEM, 1989b, p. 48-49).

Para que o físico possa compreender o que leva a construção de uma teoria física, é necessário, segundo Duhem, o estudo minucioso do método físico:

A teoria física nos confere um certo conhecimento do mundo exterior, que é irreduzível ao conhecimento puramente empírico. Este conhecimento não vem nem da experiência, nem dos procedimentos matemáticos que a teoria emprega, de sorte que a dissecação puramente lógica da teoria não poderia descobrir a fissura pela qual ela se introduziu no edifício da física. Por uma via, cuja realidade o físico não pode negar, assim como não lhe pode descrever o curso, este conhecimento deriva de uma verdade diferente das verdades que nossos instrumentos são aptos a apoderar-se. A ordem na qual a teoria organiza os resultados da observação não encontra sua plena e inteira justificação nas suas características práticas ou estéticas. Adivinhamos, ao contrário, que ela é ou tende a ser uma classificação natural. Por uma analogia, cuja natureza escapa ao alcance da física, mas cuja existência se impõe como certa ao espírito do físico, adivinhamos que ela corresponde a uma certa ordem sobre-eminente. (DUHEM, 1989e, p. 176).

Em outras palavras, “o físico é forçado a reconhecer que não seria razoável trabalhar para o progresso da teoria física, se essa teoria não fosse o reflexo, cada vez mais nítido e mais preciso, de uma metafísica. A crença numa ordem transcendente à física é a única razão de ser da teoria física” (DUHEM, 1989e, p. 176).

3.3 INTERSEÇÃO ENTRE A TEORIA POPPERIANA E DUHEMIANA

Podemos pressupor uma interseção entre a metodologia de Duhem com a de Popper. Nesta seção vamos trabalhar com essa hipótese, além de mostrar, exemplos históricos que reforça o fato de que toda lei da Física é provisória e relativa, pois é simbólica e aproximada, como foi visto anteriormente. Um dos exemplos, será o caso do éter para as teorias da época de Duhem.

Karl Popper (1902 - 1994) propôs o falsificacionismo como critério para demarcar teorias científicas de teorias não-científicas. Para o falsificacionismo, a observação é orientada pela teoria e a pressupõe, além de supor que uma teoria não

pode ser tida como verdade ou uma provável verdade apenas à luz da observação. Por conseguinte, as teorias são conjecturas especulativas com a finalidade de superar os problemas encontrados por teorias anteriores, dando uma explicação adequada a algum aspecto do mundo exterior.

Assim que são propostas, as teorias devem ser rigorosa e inexoravelmente testadas por observação e experimento. As teorias que não resistirem a testes de observação e experimentais devem ser eliminadas e, posteriormente, substituídas por outro conjunto de conjecturas.

Uma proposição de observação descreve algo que poderíamos observar, dados nossos reais poderes de observação, como, por exemplo, um cisne negro, um cisne branco ou um cisne azul. Uma proposição de observação aceita é aquela que concordamos que descreve algum estado observável. Uma proposição é falseável se, e somente se, for inconsistente com uma proposição de observação. Ou seja, dada uma premissa é possível chegar – através da dedução lógica – à falsidade de leis ou de hipóteses.

Pierre Duhem apontou que nossas teorias fazem contato com observações apenas através da mediação de outras teorias. Quando uma teoria colide com uma proposição de observação, a teoria pode ser “verdadeira” se alguma teoria pressuposta na proposição de observação for “falsa”. Como vimos até agora, a teoria física é uma representação da natureza e a lei física é provisória e relativa. Dessa forma, é possível que duas teorias distintas e opostas sejam criadas por físicos, entretanto, se elas passam pelo falsificacionismo, qual deve ser aceita?

Para Duhem, a escolha entre as teorias de uma mesma classe de fenômenos pode ser feita analisando três características:

1. A extensão da teoria;
2. O número de hipóteses;
3. A natureza das hipóteses.

Agora se assumirmos que a premissa de uma observação é verdadeira, no caso das teorias científicas, o embate com uma premissa de observação depende da aceitação de outras hipóteses. Dessa maneira, se uma teoria aborda mais classes de representação que a outra utilizando um número menor de hipóteses ela será mais aceita, já que o conjunto mínimo de hipóteses é mais preciso e poderoso,

sendo o mais geral possível. De fato, isso lembra um pouco o princípio da *Navalha de Ockham*, que enuncia que entidades não devem ser multiplicadas desnecessariamente. Segundo Duhem:

Se as consequências da teoria que a experiência confirma formam um conjunto extenso e variado, a teoria terá cumprido o fim que lhe estava designado. Ela permitirá aos físicos esquecer todas as leis experimentais que, por seu meio, lhes é permitido reencontrar, para guardar somente a lembrança de algumas definições e hipóteses; a teoria será boa. Se, ao contrário, a teoria não fornece senão um pequeno número de consequências verificáveis pela experiência, ela não terá cumprido seu fim de coordenação; ela será inadequada. (DUHEM, 1989a, p. 17).

No capítulo 1 vimos que Duhem afirma que o papel do filósofo é o de analisar o mecanismo indutivo, ou seja, é necessário tomar um certo cuidado com essa generalização que ocorre devido à Lógica Indutiva, pois o resultado não é necessariamente verdade ao aplicar essa lógica. Complementando o que Duhem escreve, podemos citar Popper:

Está longe de ser óbvio, de um ponto de vista lógico, haver justificativa no inferir enunciados universais de enunciados singulares, independentemente de quão números sejam estes; com efeito, qualquer conclusão colhida desse modo sempre pode revelar-se falsa: independentemente de quantos casos de cisnes brancos possamos observar, isso não justifica a conclusão de que todos os cisnes são brancos. (POPPER, 2007, p. 27-28).

Ou seja, o fato foi a constatação de uma observação da forma: “uma certa quantidade x de cisnes brancos que foram observados em um local y no momento m ”. Ao usar-se a *Lógica Indutiva* para essa premissa, obtém-se a seguinte lei: “todos os cisnes são brancos”. Entretanto, esse mecanismo indutivo que permite passar dos resultados singulares (ou fatos) às leis não é necessariamente coerente e, de fato, a conclusão: “todos os cisnes são brancos” é ardil, já que nada garante que o próximo cisne seja branco. Portanto, se a premissa é afirmada e a conclusão é negada, há uma contradição lógica. Em suma, é importante que uma hipótese seja falsificável para fazer parte de uma lei ou de uma teoria científica.

Vale a pena salientar que o fato de uma hipótese não ser falseável não implica diretamente na falsidade da teoria. Vejamos o seguinte exemplo: “*A mudança de movimento é proporcional à força motora imprimida, e é produzida na direção de linha reta na qual aquela força é aplicada*”. A segunda lei de Newton, não

é inconsistente com qualquer proposição de observação porque não podemos observar forças, apenas seus efeitos; por isso não é falseável. No entanto, a conjunção da segunda lei de Newton com outras proposições da teoria de Newton que descrevem o estado do mundo é falsificável.

Portanto, uma teoria pode ser cientificamente aceita se, em conjunto com a constatação de observação, ela traga um grande número de consequências verificáveis, além de trazer novas previsões. Entretanto uma teoria só é aceita temporariamente.

Porém, devido ao fato de a teoria trazer grandes consequências verificáveis e fazer novas previsões, ou seja, a teoria física encaixa “perfeitamente” com as leis experimentais e descreve vários fenômenos da natureza com uma certa precisão isso acaba persuadindo vários físicos a crer que a Física descreve a realidade em vez de ser uma classificação puramente artificial, ou seja, uma representação.

Para Duhem as “leis experimentais são um reflexo de uma ordem ontológica” (DUHEM, 2014, p. 54). Por conseguinte, a teoria física é simplesmente uma descrição de uma hipotética realidade material, ou seja, a teoria física não explica a realidade hermética dos fenômenos, pois esse é o papel da metafísica. Portanto, ao fazer tal afirmação Duhem mostra que a teoria física está, de certa forma, na dependência da Metafísica. Por exemplo, para ser possível a propagação de uma onda mecânica é necessário um meio material. Com a formulação do eletromagnetismo de Maxwell, a luz nada mais é do que uma onda eletromagnética, mas por ser uma onda, os físicos da época fizeram uma analogia com a teoria mecânica. Então, de forma análoga, para ser possível a propagação da luz, era necessário um meio, o qual foi chamado de *éter*. Duhem alega que:

O físico que vê em toda teoria uma explicação está convencido de que encontrou na vibração luminosa o fundo próprio e íntimo da qualidade nossos sentidos nos manifestam sob a forma de luz e cor. Ele crê em um corpo, o *éter*, do qual as diversas partes, excitadas por essa vibração, apresentam um movimento rápido de vaivém. (DUHEM, 2014, p. 53).

Nesse exemplo, o físico, tem uma convicção filosófica de realidade, ou seja, um conceito de metafísica toma conta do seu espírito, já que ele tem fé que a teoria descreve uma verdade ontológica. Logo, ele é movido pela metafísica, ao dizer que

“tal coisa descrita pela teoria física é essencialmente realidade”. Vamos citar mais um exemplo aqui:

Essa tendência em ver na teoria matemática uma explicação metafísica do universo contrasta singularmente com a tendência dos físicos ingleses que jamais veem nela mais que um modelo; mesmo quando escreve um ensaio sobre a constituição do éter ou da matéria, W. Thomson nunca esquece que não apreende a essência das coisas, que se limita a construir um aparelho capaz de simular certos fenômenos; esse pensamento está sem cessar presente a seu espírito; ele retorna a esse pensamento a todo instante. (DUHEM, 1989c, p. 72).

Voltando agora para a explicação da teoria óptica, Duhem escreve:

Obviamente, não compartilhamos dessas ilusões. Quando falamos de vibração luminosa, ao curso de uma teoria óptica, não pensamos mais em um verdadeiro movimento de vaivém de um corpo real. Imaginamos somente uma grandeza abstrata, uma expressão geométrica pura da qual o comprimento, periodicamente variável, serve-nos para enunciar as hipóteses da Óptica e para encontrar, pelos cálculos regulares, as leis experimentais que regem a luz. Essa vibração é para nós não uma *explicação*, mas uma *representação*. (DUHEM, 2014, p. 53).

Já na Antiguidade, a Astronomia – a teoria que estuda os movimentos celestes –, era única teoria física que os gregos conheciam com exatidão. Devido à necessidade de abstrair os movimentos celestes, criou-se sistemas cosmográficos, dos quais eles conseguiram desenvolver suas concepções de teoria física. É claro que pela experiência, eles compreenderam outros fenômenos, como o funcionamento da alavanca e alguns princípios de Hidrostática.

Citemos um desses exemplos: “as aplicações de Arquimedes eram visivelmente proposições de origem experimental que a generalização havia transformado. O acordo de suas consequências com os fatos resumia e ordenava estes, sem explicá-los.” (DUHEM, 2014, p. 68). Um outro exemplo, pode ser o de Descartes:

Eis a audaciosa formulação da Cosmologia cartesiana. O homem conhece a própria essência da matéria, que é a extensão. Então pode, logicamente, dela deduzir todas as propriedades da matéria. A distinção entre a Física, que estuda os fenômenos e suas leis, e a Metafísica que busca conhecer a essência deste fundamento. O espírito não parte do conhecimento do fenômeno para, em seguida, se elevar até o conhecimento da matéria. Isso que ele conhece de antemão é a natureza da matéria, e a explicação dos fenômenos dela decorre. (DUHEM, 2014, p. 73).

Assim como a teoria do éter, várias outras teorias eram cientificamente aceitas em determinada época, porém no momento que os resultados negativos da predição de fenômenos começaram a aparecer e tais teorias não conseguiram mais explicar um conjunto de fenômenos, então elas foram deixadas de lado ou modificadas, mas isso não quer dizer que a realidade foi alterada, mas sim que a nossa representação chegou no seu limite, ou seja, “subsequentes decisões negativas sempre poderão constituir-se em motivo para rejeitá-la” (POPPER, 2007, p. 34).

Há também, em nosso tempo, uma gama de questões metafísicas na Mecânica Quântica, que são discussões fecundas sobre as interpretações ontológicas desta teoria⁴.

4 Um livro que aborda essas discussões e serve como texto inicial é Conceitos de Física Quântica. Também é interessante a dissertação “O problema ontológico da consciência na mecânica quântica”, entre outros trabalhos. Conferir as referências.

4 A CIÊNCIA POSITIVISTA E A TRADIÇÃO

Neste capítulo vamos mostrar a visão de Duhem sobre a ciência positivista e a evolução da relação entre a cosmologia e a física. Exporemos alguns exemplos do sistema cosmológico dos gregos e dos cientistas na idade medieval.

4.1 A CIÊNCIA POSITIVISTA

O positivismo, que afirma que a Metafísica é perniciosa para a Ciência, logo ela tem que ser deixada de lado, além do mais, ainda segundo essa corrente filosófica, a ciência moderna nasceu da antimetafísica, entretanto Duhem mostra que a metafísica não impediu, mas propiciou o nascimento da Ciência Moderna:

Apenas a disputa teológica entre dogmas opostos pôde romper com as amarras gregas do passado, em particular, do peripatetismo. Rejeitada em seus fundamentos, a cosmologia de Aristóteles pôde então ser contestada de vários ângulos, ocasionando uma espécie de reorientação do pensamento físico. (LEITE, 2013, p. 319).

Duhem defende que, existe uma mútua independência natural entre as pesquisas metafísicas e as teorias físicas. Não podemos esquecer que Duhem era um católico fervoroso, dessa forma, sua tese causou uma certa estranheza para muitos intelectuais católicos da época. Em especial o engenheiro civil Eugène Vicaire (1839-1901), que o chamou de cético e positivista.

Quando Duhem publicou *Algumas reflexões sobre as teorias físicas*⁵, mostrando que a teoria física é somente um meio de classificar e coordenar as leis experimentais, Vicaire publicou⁶, na mesma revista, um artigo fazendo uma crítica à visão metodológica duhemiana. Ulteriormente Duhem escreve o artigo *Física e Metafísica* para se justificar e mostrar os pontos de sua concepção.

Em relação a tese de Vicaire, ela pode ser resumida, como:

5 Do original "Quelques réflexions au sujet des théories physiques", Revue des Questions Scientifiques, 2a.série, tomo 1 ,1892.

6 "De la valeur objective des hypothèses physiques", *Ibid.*, tomo III, 1893.

Não é verdade que a ciência positiva, ao construir suas teorias, tenha simplesmente por objeto classificar as leis experimentais. Seu legítimo objeto é a procura das causas: negá-lo é sustentar uma doutrina suspeita de positivismo e capaz de conduzir ao ceticismo. Esta doutrina, condenada por toda a tradição dos grandes físicos, é perigosa, pois ela mata a atividade científica. (DUHEM, 1989b, p. 41).

Para responder a essa tese, Duhem diz que é necessário ter uma definição exata do que a Física pode estudar e, analogamente, o mesmo vale para a Metafísica. Embora já discutimos a diferença da Física e Metafísica segundo Duhem, vale a pena lembrar que a física é “o estudo experimental das coisas inanimadas”, além de ser dividida em três fases: “a constatação de fatos, a descoberta de leis, a construção de teorias”. Já a Metafísica estuda a essência das coisas materiais (DUHEM, 1989b, p. 41). Ou seja, as teorias físicas são apenas meios de classificar e coordenar as leis experimentais – uma representação – e não explicações metafísicas que nos desvelam as causas dos fenômenos.

Voltemos nossa atenção agora para a Ciência Positivista. Ela tem seus próprios métodos (os quais definimos no capítulo 2), porém eles só podem ser aplicados no domínio da ciência positivista. No momento que eles não estão mais nesse domínio, esses métodos, não valem mais, ou seja, se algum filósofo não for cuidadoso em conferir esse domínio, ele pode cometer certos equívocos ao afirmar que determinado pensador é positivista.

Por exemplo, um físico pode, sem dúvida, negar que as teorias físicas possam erigir da metafísica ou até mesmo afirmar que a metafísica é incapaz de reger as pesquisas físicas. Ao defender essas teses, o físico não se torna um positivista e esse é o caso do Duhem. Até agora vimos que ele sabe que os métodos positivistas são “eficazes na observação dos fenômenos e na descoberta de leis”, porém, “são incapazes de apreender as causas e atingir as substâncias” (DUHEM, 1989b, p. 50). Além disso, ele limita o domínio da Física e da Metafísica.

De fato, como já foi mostrado, a Metafísica é importante para o desenvolvimento da teoria física, mas uma não pode entrar na área da outra, visto que cada uma tem diferente essência de pesquisa. Portanto deve ser estabelecida a separação entre essas duas áreas do conhecimento, pois se elas forem confundidas é dar a causa ganha ao positivismo (DUHEM, 1989b, p. 50). Porém, os intérpretes de Duhem não tomaram o cuidado com o domínio da ciência positivista ao

afirmarem que ele era um positivista (LEITE, 2013, p. 305-308). Além do mais, para Duhem está bem claro o que é ser positivista:

Ser positivista é afirmar que não há outro método lógico que o método das ciências positivas. É afirmar que aquilo que é inabordável através desse método, que aquilo que é incognoscível para as ciências positivas, é em si e absolutamente incognoscível. (DUHEM, 1989b, p. 50).

Ou seja, a lógica não pode ser a única referência para o físico formular as estruturas de sua teoria, é necessário que ele busque outros parâmetros. Por isso faz-se o uso da metafísica.

Veremos no capítulo 5 que para o Ensino de Ciências e em particular, no Ensino de Física, tal ensino acaba sendo mais eficiente quando é levado em conta as questões metafísicas, históricas, sociais, culturais e políticas.

4.2 A TRADIÇÃO

Em relação àqueles que tentam combater a tese duhemiana baseando-se na tradição, Duhem escreve:

Segundo eles, todos os grandes pensadores, todos os grandes sábios consideraram as teorias físicas como uma tentativa, como um progresso em direção à explicação metafísica das coisas; todos procuraram não classificar os fenômenos, mas descobrir neles as causas. Foi a esperança de dar a razão dos efeitos físicos que lhes deu a coragem de prosseguir com suas pesquisas e a fecundidade dessas mostra-nos com evidência que essa esperança não era uma ilusão. (DUHEM, 1989b, p. 51).

É notório que essa visão dos apoiadores da tradição, do ponto de vista histórico, está equivocada. Devemos lembrar da nossa discussão do começo deste trabalho, em que comentamos a influência da filosofia de Aristóteles para Duhem. Para Aristóteles e para filosofia peripatética as relações entre a física e a metafísica formam uma tese que é essencialmente a mesma que Duhem defende: “Aplicavam-na somente à astronomia, único ramo da física que estava desenvolvido naquela época, mas o que diziam do movimento dos astros estende-se, sem dificuldade, a outros fenômenos naturais” (DUHEM, 1989b, p. 51). Para reforçar seu ponto de vista, de que os apoiadores da tradição estão equivocados, Duhem cita vários exemplos históricos – como o caso de Copérnico, Galileu e Kepler entre outros (cf.

DUHEM, 1989b, p. 52-54) – mas, só vamos transcrever alguns desses exemplos aqui:

Schiaparelli cita, a respeito disso, uma passagem característica de Posidonius conservada por Simplicio, o comentador de Aristóteles: "É indiferente para o astrônomo saber o que é imóvel e o que se move. Ele pode admitir toda hipótese que represente os fenômenos, por exemplo, aquela que é relatada por Heráclito Ponticus, segundo a qual a anomalia dos planetas em relação ao Sol é explicada por meio de um movimento da Terra em torno do Sol, considerado como fixo. O astrônomo deve em seguida recorrer aos físicos para os princípios fundamentais de suas pesquisas. (DUHEM, 1989b, p. 51).

Todos os comentadores de Aristóteles adotam essa visão. Não muito diferente disso, Tomás de Aquino, escreve no comentário do *De Caelo*⁷ de Aristóteles, sobre as hipóteses dos astrônomos:

As suposições (daqueles astrólogos) às quais eles chegaram não é necessário que sejam verdadeiras; é aceitável que tais suposições, tendo sido feitas, pareçam resolver os fatos; entretanto, não se deve dizer que essas suposições são verdadeiras, porque, talvez segundo um ou outro modo ainda não compreendido pelos homens, a aparência acerca das estrelas seja salva. Aristóteles, entretanto, usa desse modo as suposições sobre a qualidade do movimento como verdadeiras. (apud DUHEM, 1989b, p. 52).

Ao estudar a historiografia de Duhem notemos que a separação das hipóteses puramente representativas, sem alcance metafísico, não são restritas apenas aos filósofos da Antiguidade e da Idade Média, mas também ao físico que se serve para classificar os fatos, da explicação verdadeira desses mesmos fatos; como por exemplo os astrônomos que ajustam seus escritos a esses princípios.

Quando por exemplo, Arquimedes escreve uma teoria matemática dos corpos flutuantes, ele não se preocupa com as questões metafísicas do líquido, mas esforça-se para descrever o fenômeno que vê. Para isso utiliza-se de proposições, das quais ele chama de hipóteses, e procura demonstrar que as leis físicas dos corpos flutuantes podem ser deduzidas logicamente dessas hipóteses (DUHEM, 1989b, p. 52). Para exemplificar melhor, vamos enunciar aqui a hipótese fundamental de Arquimedes:

7 Já existe a tradução em português dessa obra: ARISTÓTELES. *Do Céu*. São Paulo: Edipro, 2014.

Suponhamos que todo líquido seja de tal natureza que, se considerarmos as partes em contacto situadas sobre uma mesma superfície normal à direção da gravidade, a menos empuxada cede àquela que o é mais. Dizemos ainda que cada uma das partes é empuxada pelo líquido que está acima dela segundo a perpendicular. (apud DUHEM, 1989b, p. 52).

Fica claro que essa hipótese não tem pretensão alguma de ser uma explicação metafísica das propriedades dos líquidos. De forma análoga ao que Arquimedes faz em Hidrodinâmica, Copérnico faz na Astronomia (cf. DUHEM, 1989b, p. 53-54).

Um fato muito importante ocorreu na virada do século XVI para o século XVII, como Duhem escreve:

No fim do século XVI e início do século XVII o espírito humano sofreu uma das maiores revoluções que subverteram o mundo do pensamento. As regras lógicas, traçadas pelo gênio grego, tinham sido aceitas até então com uma inteligente docilidade pelos mestres da Escola, depois com uma estreita servilidade pela escolástica em decadência. Nesse momento, os pensadores a rejeitam; pretendem, então, reformar a lógica, forjar de novo os instrumentos dos quais a razão humana se serve e, com Bacon, criar um *novum organum*. Quebram as linhas de demarcação estabelecidas pelos peripatéticos entre os diversos ramos do saber humano; o distingo, que servia para delimitar exatamente as questões e para marcar a cada método o campo que lhe é próprio, torna-se um termo ridículo do qual se apodera a comédia. Vê-se, então, desaparecer a velha barreira que separava o estudo dos fenômenos físicos e de suas leis da procura das causas; então, vê-se as teorias físicas tomadas por explicações metafísicas, os sistemas metafísicos procurando estabelecer, por via dedutiva, teorias físicas. (DUHEM, 1989b, p. 54).

Dessa forma, os físicos como Galileu e Kepler foram fortemente influenciados por essas ilusões metafísicas. Como Duhem exemplifica:

A ilusão de que as teorias físicas atingem as verdadeiras causas e a própria razão das coisas penetra em todos os sentidos os escritos de Kepler e Galileu. As discussões que compõem o processo de Galileu seriam incompreensíveis a quem não visse nisso a luta entre o físico que quer que suas teorias sejam não somente a representação, mas ainda a explicação dos fenômenos e os teólogos que mantêm a velha distinção e não admitem que os raciocínios físicos e mecânicos de Galileu tenham qualquer coisa contra sua cosmologia. (DUHEM, 1989b, p. 54).

Mas foi Descartes que rompeu completamente a barreira entre a física e a metafísica. Sua cosmologia foi ousada e revolucionária. Até certo ponto porém, ela ainda lembra a posição peripatética. Segundo Duhem:

O método de Descartes põe em dúvida os princípios de todos os nossos conhecimentos e os deixa entregues a essa dúvida metódica até o momento em que o método chega a demonstrar a legitimidade desses princípios por uma longa cadeia de deduções iniciada pelo célebre "Penso, logo existo". Nada mais contrário que um semelhante método à ideia peripatética, segundo a qual uma ciência tal como a física assenta em princípios evidentes por si mesmos, dos quais a metafísica pode investigar a natureza, mas não pode aumentar a certeza. (DUHEM, 1989b, p. 54-55).

Ele continua:

A primeira proposição da física que Descartes estabelece, ao seguir seu método, lhe fornece, segundo ele, o conhecimento da própria essência da matéria. "A natureza do corpo consiste apenas em que ele é uma substância que tem extensão". Sendo assim conhecida a essência da matéria, poder-se-á, pelo método da geometria, deduzir dela a explicação de todos os fenômenos naturais." Eu não aceito princípios na física", diz Descartes, resumindo o método pelo qual ele pretende tratar essa ciência, "que não sejam também aceitos na matemática, a fim de poder provar por demonstração tudo aquilo que deles deduzirei e estes princípios bastam, tanto mais que todos os fenômenos da natureza podem ser explicados por seu intermédio. (DUHEM, 1989b, p. 55).

De acordo com a cosmologia cartesiana a essência da matéria é a extensão, e o homem tem contato desde o início com ela. Dessa forma, é possível deduzir todas as propriedades da matéria e conseqüentemente, não tem mais fundamento a distinção entre a física e a metafísica, ou seja, não é necessário conhecer o fenômeno para conhecer a matéria. Desse apriorismo metafísico, é possível conhecer de início a própria natureza da matéria, e portanto, tem-se a explicação dos fenômenos. Com essa descrição mecanicista, muitos pensadores procuram deduzir conseqüências físicas de hipóteses metafísicas. Esse reducionismo cartesiano influenciou vários cientistas do seu século, entre eles, Huygens, Leibniz, Pascal e Newton. Porém, tanto Newton como Pascal não sofreram essa influência sem protesto. No caso de Newton, por exemplo:

Ele sempre separou claramente as teorias científicas, destinadas a coordenar as leis físicas, das pesquisas metafísicas, destinadas a fazer conhecer as causas dos fenômenos, que sempre manteve a prioridade lógica das primeiras, entre as quais ele colocava a mecânica celeste, sobre as segundas. (DUHEM, 1989b, p. 57)

Porém, nos séculos XVIII e XIX, as relações entre a física e a metafísica foram deixadas de lado. Muitas foram as causas, dentre elas, “influência mais ou menos direta das ideias de Descartes, desempenham um papel preponderante, tendem a confundir as teorias e as explicações” (DUHEM, 1989b, p. 57). Duhem continua:

Mesmo aqueles cujo orgulho da descoberta arrasta para o que está além, mesmo aqueles que depositam inteira confiança no poder das teorias físicas reconhecem, quando suas meditações os detém nesta questão, que as teorias das quais eles tanto se orgulham talvez não sejam explicações metafísicas. (DUHEM, 1989b, p. 57).

Com isso Newton tornou-se uma nova fonte para uma cosmologia diferente da cartesiana. Por exemplo, Laplace considerava a atração gravitacional a explicação última dos fenômenos e escreverá sobre “atrações moleculares”. Poisson tentará reduzir todos os fenômenos a “ações moleculares” conforme a verdadeira natureza das coisas. Por outro lado, “Laplace indica que essa atração universal que, sob a forma de gravidade ou de atração molecular, coordena todos os fenômenos naturais, talvez não seja a explicação deles” (DUHEM, 1989b, p. 57), embora Laplace a coloque no “domínio do incognoscível. Mas, em todo o caso, ele não deixou de reconhecer, como Newton, que a procura dessa causa, se ela for possível, constitui um problema distinto daqueles que solucionam as teorias astronômicas” (DUHEM, 1989b, p. 58).

Outro exemplo que Duhem cita é o de Ampère, que acreditava que as atrações e repulsões de qualquer natureza eram a verdadeira explicação dos fenômenos físicos. Ele considerava que as leis estabelecidas por Newton e por Coulomb forneciam explicações metafísicas e, às vezes, teorias físicas; acreditava em possuir a solução simultânea dos problemas metafísicos e físicos, porém sem confundir seus domínios. Segundo Ampère (1826⁸, p. 3).

A principal vantagem das fórmulas que são assim obtidas imediatamente a partir de alguns fatos gerais dados por um número suficiente de

8 Para um aprofundamento sobre o pesamento e obra de Ampère, consultar: Assis, A. K. T. e Chaib, J. P. M. d. C. *Eletrodinâmica de Ampère: Análise do significado e da evolução da força de Ampère, juntamente com a tradução comentada de sua principal obra sobre eletrodinâmica*. Campinas: Editora da Unicamp, 2011.

observações, para que a certeza delas não possa ser contestada, é permanecerem independentes seja das hipóteses em que seus autores se apoiaram na procura dessas fórmulas, seja das hipóteses que podem substituí-las a seguir. A expressão da atração universal deduzida das leis de Kepler não depende de maneira alguma das hipóteses que alguns autores tentaram fazer sobre uma causa mecânica que eles gostariam de lhe atribuir. A teoria do calor repousa realmente sobre fatos gerais dados imediatamente pela observação; e a equação deduzida desses fatos, sendo confirmada pelo acordo entre os resultados que se extrai dela e aqueles que a experiência fornece, deve ser igualmente aceita como exprimindo as verdadeiras leis da propagação do calor, seja por aqueles que a atribuem a uma radiação de moléculas caloríficas, seja por aqueles que recorrem para explicar o mesmo fenômeno às vibrações de um fluido disperso no espaço. É preciso somente que os primeiros mostrem como a equação de que se trata resulta de sua maneira de ver e que os segundos a deduzam das fórmulas gerais dos movimentos vibratórios, não para acrescentar algo à certeza dessa equação, mas para que suas respectivas hipóteses possam subsistir. O físico que não tomou partido a esse respeito admite esta equação como a representação exata dos fatos, sem se preocupar com o modo pelo qual ela pode resultar de uma ou de outra das explicações de que falamos. (apud DUHEM, 1989b, p. 58-59).

Com esses exemplos Duhem quer mostrar que:

Newton, Laplace, Ampère mostraram que, mesmo nos tempos modernos, tão orgulhosos dos desenvolvimentos da ciência positiva, a sã e prudente tradição da Escola nunca desapareceu completamente, que os físicos, os maiores por suas invenções, sempre reconheceram que as teorias matemáticas tinham por objeto coordenar e classificar as leis naturais e que a procura das causas constituía um outro problema, logicamente posterior ao precedente. Por conseguinte esta doutrina, bem longe de ser perniciosa para a pesquisa científica, impunha-se sem problemas aos espíritos mais fecundos em descobertas. (DUHEM, 1989b, p. 59).

Com efeito, Duhem expôs a influência mútua entre a metafísica e a física de várias épocas. Mesmo na época moderna, ela é de crucial importância, tanto para o avanço da Ciência quanto para o seu ensino.

5 METODOLOGIA DUHEMIANA APLICADA NO ENSINO DE FÍSICA

Na sala de aula o educador, na maioria dos casos, usa pressupostos behavioristas, mas somos contrários a essa postura. Dessa forma, nesse capítulo⁹ vamos dissertar um pouco sobre a importância que a epistemologia tem no ato de educar, visto que o aluno se torna uma pessoa mais crítica e independente, ou seja, o aluno torna-se construtor do próprio conhecimento. Com isso, a postura do professor em sala de aula não pode ser simplesmente a de um “garoto de recados”. Faremos a conexão da epistemologia duhemiana com o Ensino de Ciências utilizando a teoria da psicologia cognitiva em termos de *representações mentais* de Johnson-Laird (1983).

5.1 EPISTEMOLOGIA NO ENSINO DE FÍSICA

Vimos nos capítulos precedentes, como as teorias são construídas. Seus mecanismos de funcionamento, são de fundamental importância para a compreensão de como o edifício da Ciência é construído. São vários os fatores que podem influenciar o desenvolvimento de uma teoria: fatores históricos; princípios metafísicos; questões políticas; questões culturais, são alguns exemplos, portanto não existe receita para se fazer Ciência. Por conseguinte, o Ensino de Ciências segue de forma análoga, ou seja, não tem uma receita de como se deve “ensinar Ciências”.

Entretanto, não se deve ensinar Ciências como uma doutrina, diferentemente da religião – que procura sempre as certezas – a Ciência não deveria ensinar certezas, porém nas escolas ocorre o oposto. A Ciência é exposta para os alunos como algo certo, perfeita, feita por gênios e ainda, para fazer Ciência só é

9 Embora seja importante compreender a estrutura da instituição escolar não vamos abordar essas questões no presente trabalho. Na literatura (tanto nacional ou internacional) são vários os trabalhos que abordam o tema. O livro *Sociedade sem escolas*, de Ivan Illich, faz uma abordagem interessante. Já questões relacionadas com a evolução da escola no Brasil, o trabalho de Sofia Vieira *A educação nas constituições brasileiras: texto e contexto*, é uma boa referência para compreender melhor o papel da escola no Brasil.

necessário observar os fenômenos, reproduzi-los através dos experimentos, usar a indução e dessa forma o cientista tem o contato com a realidade, criando, por fim, as leis. Para evitar uma postura dogmática da Ciência é necessário entender como ela é feita e como ela “funciona”, dessa forma, vamos focar na Física e no Ensino de Física.

Nosso primeiro passo foi entender como pode ser feita a estrutura da teoria física, segundo Duhem e se de fato existe algum realismo nisso tudo, ou seja, a teoria física descreve a realidade ou cria uma realidade? Segundo nosso estudo, tudo indica que a teoria física cria essa realidade, a teoria física pode ser vista como um simulacro ao qual estamos presos.

Conforme desenvolvemos a teoria, ou criamos novas teorias, estamos criando novos simulacros, criando novas realidades. Por exemplo, muitas vezes os objetos que uma teoria cria não são necessariamente encontrados na natureza, por exemplo, o conceito de partícula, como o elétron: ele não é um pontinho perfeitamente esférico, é uma abstração matemática, até mesmo a estrutura atômica, conforme a história mostra, teve sua teoria modificada com passar do tempo, antes o átomo “era” um *pudivim de passas*, hoje “é” uma *nuvem eletrônica*, amanhã ele pode ser outra coisa, essas “realidades” são de acordo com a teoria, são representações dos fenômenos. Como afirma Bachelard:

Porque seria demasiado cômodo entregar-se uma vez mais um realismo totalitário e unitário, e responder-nos: *tudo é real*, o elétron, o núcleo, o átomo, a molécula, o mineral, o planeta, o astro, a nebulosa. De acordo com nosso ponto de vista, nem tudo é real da mesma maneira; a substância não tem, a todos os níveis, a mesma coerência; a existência *não é uma função monótona*; não pode afirmar-se por toda a parte e sempre no mesmo tom. (BACHELARD, 1979, p. 32).

Também vimos nos capítulos anteriores a importância da Metafísica para o desenvolvimento da teoria física. Vimos que, para Duhem, a Metafísica tornou-se um parâmetro para construção das teorias físicas. As reflexões que Pierre Duhem traz são sobre como podemos compreender o mundo exterior de forma completa e, para isso, é necessário que a Física e a Metafísica andem de mãos dadas.

Vale a pena salientar que, embora exista uma grande distinção entre a Física e a Metafísica, ela ocorre pelo nosso uso da inteligência e não por uma separação

objetiva na natureza. Outro fato importante é que a Metafísica vem após a Física – na ordem lógica do desenvolvimento científico – dado que só podemos conhecer a essência das coisas na medida em que a essência é a causa e a razão dos fenômenos. Entretanto, o estudo destes e de suas leis deve preceder a investigação daquelas. Por conseguinte, o conhecimento das causas implica o conhecimento dos efeitos, mas acreditar na recíproca é ardil, uma vez que nem sempre o conhecimento dos efeitos leva na causa.

Por causa dessa visão equivocada, existe uma supervalorização do adjetivo ciência, visto que, de acordo com essa postura, a Ciência é baseada em um único método, o qual está relacionado ao empirismo e ao indutivismo associada a um método infalível e impessoal.

Outro problema é o fato da educação ser utilitarista. Por exemplo, o ensino está fadado à industrialização, esse foi um dos motivos que levou à criação de escolas em massa no Brasil. Em sua época Duhem questionava essa ideologia utilitarista:

Não obstante, o mal não atinge somente os livros os cursos destinados aos futuros engenheiros. Ele penetrou em todos os lugares, propagado pelos desprezos e preconceitos da multidão, que confunde a ciência com a indústria e que, vendo passar um automóvel enfumaçado, poeirento e malcheiroso, toma-o como a carruagem triunfal do pensamento humano. O ensino superior já se contaminou pelo utilitarismo e o ensino secundário é presa da epidemia. Em nome do utilitarismo, faz-se tábula rasa dos métodos que até aqui haviam servido para expor as ciências físicas. Rejeitam-se as teorias abstratas e dedutivas. Esforça-se por abrir aos alunos caminhos indutivos e concretos. Não se pretende mais dar aos jovens espíritos ideias e princípios, mas números e fatos. (DUHEM, 2014, p. 126).

O ensino que prediz o saber científico como positivista ou realista (principalmente o realismo científico) ou utilitarista é ardil e malévolo para a sociedade. Portanto, se a educação de um país não esta focada nas questões humanitárias e no senso crítico, mas sim na formação técnica dos seus jovens (na formação sem qualquer desenvolvimento libertário e questionador) tanto a educação quanto a economia desse país estará fadada ao fracasso, “pois somente os princípios abstratos e gerais podem guiar os espíritos nas regiões desconhecidas e sugeri-lhes a solução de dificuldades imprevistas” (DUHEM, 2014, p. 126).

No capítulo três mostramos que não é possível separar cada hipótese da Física em um conjunto e esse ser submetido ao controle da experiência. Porém, no Ensino de Ciências, de forma geral, é feito o oposto do que defendemos no capítulo três, por exemplo, se a Física é tratada, pelo professor, como um aglomerado de hipóteses dos quais a demonstração é realizada pela experiência e após a verificação experimental tal de hipótese, por indução, torna-se uma lei, é portanto, passado para o aluno uma concepção falsa do que é a Física.

Ao assumir o método indutivo no Ensino de Ciências, Duhem alerta para vários defeitos dessa exposição, como por exemplo: *experiência fictícia*; *a experiência irrealizável* e *a experiência absurda*. Essa abordagem já foi alvo de críticas feitas pelo físico Richard Feynman (1918-1988) quando esteve no Brasil¹⁰.

Segundo Duhem (2014, p. 242) “*o mais grave pelas falsas ideias que deposita na inteligência dos alunos, é a experiência fictícia*”. As *experiências fictícias* são necessárias para consolidar o método indutivo e muitas vezes não são realizáveis¹¹, como também podem ser piores, no caso, irrealizáveis. Experiências irrealizáveis são piores, pois, segundo Duhem (2014, p. 244), “supõe a existência de corpos que não são encontrados na natureza, de propriedades físicas que nunca foram observadas”.

Antes de ensinar Física aos alunos é necessário prepara o “terreno”. O professor tem um papel crucial, ele não pode ser simplesmente um comunicador, deve levar questionamentos aos alunos, começando com as perguntas mais simples, como por exemplo, “O que é Ciência?”, “Ciência serve para alguma coisa?”, “Por que estudamos Ciência? Qual é o seu objetivo?”, ou ainda, “Faz sentido imaginar a Ciência sendo algo relacionada com o utilitarismo?”.

É necessário ter clareza sobre o que está sendo apresentado para os alunos. Caso oposto eles não vão assimilar os conceitos físicos. É necessário deixar claro que o conhecimento científico – na melhor das hipóteses – representa algo que é provavelmente “verdadeiro” até um certo período.

10 Moreira, I. C., *Feynman e suas conferências sobre o ensino de física no Brasil*. Rev. Bras. Ensino Fís. vol.40 no.4 São Paulo 2018 Epub July 02, 2018.

11 Ao estudar a história da Ciência podemos notar que muitos dos experimentos que Galileu diz que fez, ele não realizou, o mesmo é válido para o Newton, Ampère, entre outros.

Como vimos, a lei física não é verdadeira nem falsa e que uma teoria física é dita “verdadeira” quando representa de forma satisfatória um conjunto de leis experimentais, ao passo que é dita “falsa” quando não consegue de forma satisfatória concordar com os resultados experimentais. Portanto nenhuma teoria pode ser estabelecida definitivamente.

Outro problema enfrentado no ensino de Ciência é a concepção de estímulo e resposta, pois isso dificulta a aprendizagem do aluno, já que o behaviorismo não mostra o pensar cientificamente. O pensar cientificamente é se posicionar no campo epistemológico intermediário entre Metafísica, Teoria Física e Experiência.

O Ensino de Ciência, portanto, tem que ser voltado ao senso crítico, ou seja, ao pensar cientificamente. É necessário que o aluno tenha as condições suficientes para poder escolher qual teoria ou hipóteses ele vai seguir. Note que não é acreditar, visto que o crédulo é algo relacionado com a doutrina. E o papel do professor não é doutrinar:

Que o professor desenvolva, portanto, em primeiro lugar, as teorias essenciais da ciência. Sem dúvida, ao apresentar as hipóteses sobre as quais se baseiam as teorias, é necessário que ele prepare sua aceitação. É bom que indique os dados do senso comum, as evidências coletadas pela observação comum, os experimentos simples ou pouco analisados que conduziram a formular as hipóteses. (DUHEM, 2014, p. 246).

Além disso é necessário deixar claro:

que esses fatos, suficientes para sugerir hipóteses, não o são para verificá-las. É somente depois de ter se constituído como corpo extenso de doutrina, depois de haver construído uma teoria completa, que ele poderá comparar com a experiência as consequência dessa teoria. (DUHEM, 2014, p. 246-247).

Ou seja, na nossa concepção deve-se mostrar que esse desenvolvimento da Ciência, principalmente o método da Ciência experimental, para os alunos, é deixando claro que: “deve fazer chegar ao aluno esta verdade capital: verificações experimentais não são a base da teoria” (DUHEM, 2014, p. 247).

Vimos que a construção da teoria física não depende somente dos fenômenos naturais. As questões metafísicas também são importantes para a construção do conhecimento científico, porém essa concepção é deixada de lado nos livros

didáticos¹², visto que em sua grande maioria, seguem a doutrina positivista, o que torna o Ensino de Ciência deficiente. Por causa dessa visão positivista, um abismo surge entre os cientistas e os alunos.

5.2 UMA POSSÍVEL ABORDAGEM ENTRE DUHEM E AS REPRESENTAÇÕES MENTAIS

O educador ensina um modelo conceitual, uma representação sobre os fenômenos naturais, e espera que o aluno construa modelos mentais consistentes com esse conceito. Por exemplo, quando Duhem lecionava sobre Óptica, embora, a teoria da época propunha a existência do éter, ele não imaginava a existência do éter como real (já que para ele, a teoria física é uma representação, portanto não é a explicação de uma realidade ontológica) e portanto afirmava, para seus alunos, que a o éter era somente uma grandeza abstrata, um modelo.

Com a psicologia cognitiva podemos ter uma noção de como o aluno pode “aprender a aprender”, é o que vamos discutir nesta seção.

Segundo Moreira¹³, na psicologia cognitiva é possível distinguir duas representações: as mentais analógicas e as proposicionais. As representações mentais analógicas usualmente são relacionadas às imagens visuais. Os psicólogos cognitivos que defendem essa posição são chamados de “imagistas”. Já os “proposicionalistas” defendem as representações proposicionais, que são “tipolinguagem”, que se trata de uma linguagem própria da mente, que é chamada de

12 São vários os trabalhos na literatura sobre o tema, entre eles o excelente trabalho de BRAGA, M. et al. *O papel dos livros didáticos franceses do século XIX na construção de uma concepção dogmático-instrumental do ensino de física*. Também vale a pena citar aqui o trabalho do SILVEIRA, F. L. e Ostermann F. *A insustentabilidade da proposta indutivista de “descobrir a lei a partir de resultados experimentais”*. Caderno Catarinense de Ensino de Física, Florianópolis, v.19, n. especial: p. 7-27, jun. 200 2.

13 MOREIRA, M. A., Caballero, M.C. e Rodríguez, M.L. (orgs.) (1997). Actas del Encuentro Internacional sobre el Aprendizaje Significativo. Burgos, España. pp. 19-44. Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/~moreira/apsigsubport.pdf>. Outro trabalho mais detalhado é: MOREIRA, M. A., *Modelos mentais*, Investigações em Ensino de Ciências – V1(3), pp.193-232, 1996. Que foi apresentado no *Encontro sobre Teoria e Pesquisa em Ensino de Ciência - Linguagem, Cultura e Cognição*, Faculdade de Educação da UFMG, Belo Horizonte, 5 a 7 de março de 1997.

“mentais”, já que não se trata de uma linguagem natural (que é a linguagem que falamos). Existe, também, uma terceira teoria, a qual vamos intercalar com a epistemologia duhemiana, que é chamada de *modelos mentais*, teorizada por Philip Johnson-Laird¹⁴.

Já que a teoria física é uma representação dos fenômenos naturais, tudo indica que o aluno, ao aprender sobre a física ele faça sua representação, portanto é de suma importância entender como funciona as representações por modelos mentais, pois dessa forma é possível perceber as necessidades intelectuais do aluno. Pois, para:

construir um modelo mental requer:

1. fazer uma representação interna do sistema, ou seja, traduzir os elementos da realidade em um código próprio em função de nossos interesses;
2. utilizar um processo de inferência (não necessariamente um processo da lógica formal);
3. executar o modelo, quer dizer, por em funcionamento na mente um processo de simulação qualitativa do funcionamento do sistema exterior que está sendo modelado. (LAGRECA, 1999, p. 203).

Então é possível compreender o desenvolvimento do aluno ao aprender os conceitos de Física, já que ele cria o seu próprio modelo. O aluno pode, também, extrapolá-lo, ou seja, tentar prever um determinado fenômeno com o seu modelo mental, portanto ele pode testá-lo.

Ao trabalharmos com a teoria dos modelos mentais podemos entender, também, porque determinadas teorias alternativas ainda persistem na mente dos alunos.

Para Johnson-Laird:

as **proposições** são representações de significados, totalmente abstraídas, que são verbalmente expressáveis. O critério de expressabilidade verbal distingue Johnson-Laird de outros psicólogos cognitivos. **Imagens** são representações bastante específicas que retêm muitos dos aspectos perceptivos de determinados objetos ou eventos, vistos de um ângulo particular, com detalhes de uma certa instância do objeto ou evento. **Modelos mentais** são representações analógicas, um tanto quanto abstraídas, de conceitos, objetos ou eventos que são espacial e temporalmente análogos a impressões sensoriais, mas que podem ser vistos de qualquer ângulo (e aí temos imagens!) e que, em geral, não retêm

14 JOHNSON-LAIRD, P. N. (1983). *Mental models*. Cambridge, MA, Harvard University Press.

aspectos distintivos de uma dada instância de um objeto ou evento. (MOREIRA, 1996, p. 181).

Ainda é possível usar os modelos mentais para o raciocínio:

Para Johnson-Laird, ao invés de uma lógica mental, as pessoas usam modelos mentais para raciocinar. Modelos mentais são como blocos de construção cognitivos que podem ser combinados e recombinados conforme necessário. Como quaisquer outros modelos, eles **representam** o objeto ou a situação em si; sua estrutura capta a essência (se parece analogicamente) desta situação ou objeto. O aspecto essencial do raciocínio através de modelos mentais não está só na construção de modelos adequados para representar distintos estados de coisas, mas também na habilidade de testar quaisquer conclusões a que se chegue usando tais modelos. A lógica, se é que aparece em algum lugar não está na construção de modelos mentais e sim na testagem das conclusões pois esta implica que o sujeito saiba apreciar a importância lógica de falsear uma conclusão, e não apenas buscar evidência positiva que a apoie. (MOREIRA, 1996, p. 243).

Os modelos conceituais são distintos dos modelos mentais:

Contrariamente a **modelos conceituais**, que são representações precisas, consistentes e completas de eventos ou objetos e que são projetadas como ferramentas para facilitar a compreensão ou o ensino, **modelos mentais** podem ser deficientes em vários aspectos, confusos, instáveis, incompletos, mas **devem ser funcionais**. Eles evoluem naturalmente. Testando seu modelo mental, a pessoa continuamente o modifica a fim de chegar a uma funcionalidade que lhe satisfaça. É claro que os modelos mentais de uma pessoa são limitados por fatores tais como seu conhecimento e sua experiência prévia com estados de coisas similares e pela própria estrutura do sistema de processamento humano. (NORMAN, apud, Gentner e Stevens, 1983, p. 7).

Por exemplo, o professor, segundo Duhem, deve forma formular um certo grupo de hipóteses e delas deduzir um certo número de consequências para explicar um determinado sistema físico, essa abordagem pode ser entendida como um *Modelo conceitual*. No caso do aluno, para ele absorver essas informações terá que criar modelos mentais que representam o sistema físico.

São vários os trabalhos que estudam quais são os tipos de representação mental que o aluno está usando para compreender determinado fenômeno físico. Por exemplo, Greca e Moreira (1996, 1997), Lagreca e Moreira (1999), Gentner e Gentner (1983) entre outros. No caso do trabalho de Gentner e Gentner¹⁵ foi

¹⁵ Genter, D. and Gentner, D. R. (1983). Flowing waters or teeming crowds: mental models of electricity. In Gentner, D. and Stevens, A.L. (Eds.). Mental models. Hillsdale, N.J.: Lawrence

mostrado quais eram os modelos mentais mais comum para a eletricidade. Segundo Moreira:

Gentner e Gentner (1983), descrevem pesquisas nas quais fizeram previsões sobre o desempenho de alunos em problemas de circuitos elétricos a partir de duas analogias que, segundo eles, são os modelos mais comumente usados pelos estudantes nesta área: o modelo do “fluido em movimento” (analogia hidráulica) e o modelo da “multidão em movimento”. No primeiro, o fluido em movimento corresponde à corrente elétrica, os canos aos fios, os estreitamentos dos canos aos resistores, os reservatórios às baterias e a diferença de pressão (função da altura da água no reservatório) à diferença de potencial. No segundo, a quantidade de pessoas que passa por um “portão” por unidade de tempo corresponde à corrente elétrica, o portão (passagem, saída) à resistência elétrica e a “força com que as pessoas se empurram” à diferença de potencial; neste modelo não há um análogo adequado para as baterias. (MOREIRA, 1996, p. 211-212).

Esses modelos mais comuns da pesquisa de Gentner e Gentner podem ser entendidos estudando as questões históricas e epistemológicas. Por exemplo, o primeiro modelo, que faz analogia da corrente elétrica como fluido em movimento parte do mecanicismo, ou seja, para compreender os fenômenos vários físicos, entre eles Maxwell e Lord Kelvin imaginaram modelos mecânicos para descrever os fenômenos elétricos.

É de crucial importância mostrar esses pensamentos para o aluno, pois dessa forma ele pode conceber esse modelo mental, o qual ele construiu para entender o conceito também foi utilizado por cientista de épocas remotas para representar os fenômenos naturais.

5.3 DUAS PROPOSTAS METODOLÓGICAS

Para exemplificar melhor as ideias que foram trabalhadas neste capítulo vamos exemplificar uma possível aplicação de como seria o Ensino de Física em uma perspectiva duhemiana com o auxílio da psicologia cognitiva.

Na Antiguidade a Astronomia era uma Ciência mais prática, no sentido de que foi necessário seu desenvolvimento para que o ser humano pudesse evoluir como sociedade. Isso já é de uma importância e beleza sem precedentes, entretanto o

mais belo da Astronomia não está nas aplicações diretas e sim no simples fato de observar o céu, ver como somos pequenos perante ao Universo.

Essa admiração é esquecida, perde-se em meio ao utilitarismo, já que nas escolas os alunos não são educados para admirar essa beleza, toda essa educação humanitária e o fato do pensar cientificamente são deixados de lado.

O matemático Henri Poincaré em seu livro *O Valor da Ciência*, escreve de forma brilhante:

A astronomia é útil porque nos eleva acima de nós mesmos; é útil porque é grande, é útil porque é bela; isso é o que se precisa dizer. É ela que nos mostra o quanto o homem é pequeno no corpo e o quanto é grande no espírito, já que nesta imensidão resplandecente, onde seu corpo não passa de um ponto obscuro, sua inteligência pode abarcar inteira, e dela fluir a silenciosa harmonia. Atingimos assim a consciência de nossa força, e isso é uma coisa pela qual jamais pagaríamos caro demais, porque essa consciência nos torna mais fortes. (POINCARÉ, 1995, p. 101).

Por conseguinte, o Ensino de Astronomia é um campo bem abrangente para trabalhar e desenvolver essas (e outras) questões históricas, filosóficas e epistemológicas com os alunos, dessa forma o aluno pode criar modelos mentais que possam ser semelhantes as teorias defendidas em épocas remotas, já que a Astronomia é uma das ciências mais antigas e que no decorrer das eras sofreu influências metafísicas, teológicas, sociais e políticas.

Uma outra proposta metodológica que trabalha a interdisciplinaridade, que desenvolve ainda mais o cognitivo dos alunos, além de poder abordar as questões epistemológicas, é a utilização do teatro¹⁶ como instrumento de ensino. Já que, dessa forma, é necessário estudar os fatores históricos, políticos, sociais e religiosos de um determinado período, ao fazer esse estudo os alunos vão notar a importância da interdisciplinaridade, das questões metafísicas e até mesmo das questões culturais de uma época.

Quando o professor abordar uma determinada hipótese para explicar uma teoria, o aluno consegue, então, compreender melhor os fenômenos físicos, pois sua

16 MEDINA, M. ; BRAGA, M. *Ensinar Física para o Século XXI: Uma proposta metodológica interdisciplinar que alia a História da Ciência, o Teatro e a Física*. In: XVIII Simpósio Nacional de Ensino de Física, 2009, Vitória. XVIII SNEF. São Paulo : SBF, 2009. v. 1.

representação de modelo mental leva em consideração os fatores externos que ele assimilou com o teatro.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao trabalhar na área de Ensino de Ciências é de suma importância como o indivíduo constrói o conhecimento. Dessa forma, são necessárias hipóteses de origem epistemológica e psicológica. Sendo assim podemos justificar nosso posicionamento epistemológico junto com a teoria dos *modelos mentais* de Johnson-Laird. Na maioria dos casos a “realidade” é criada pela teoria, então, isso que é chamado de “realidade” só é uma interpretação dos fenômenos naturais (tal interpretação é desenvolvida por uma teoria, dessa forma é evidente que ao olharmos a natureza com os óculos dessa teoria, não estamos vendo a realidade, mas sim simulacros), pois a teoria é uma representação.

A experiência Física não entra em contato com a realidade. Para fazer um experimento em Física é necessário ter os instrumentos, que são frutos da teoria física, portanto a experiência em Física necessita, essencialmente, da interpretação teórica.

As teorias físicas são representações dos fenômenos naturais e “não uma explicação das aparências físicas conforme a realidade” (Duhem, 2014, p. 47). É possível aplicar essas teorias para o desenvolvimento de ferramentas tecnológicas que podem ser usadas tanto na criação de novas formas de fazer experimentos científicos como também são vários os exemplos tecnológicos desenvolvidos para o bem estar da população.

Essa realidade só é possível com o advento do desenvolvimento da teoria física. Por outro lado, nada justifica que o fato de acreditarmos que estejamos próximos do descobrimento de uma realidade objetiva. Para compreender melhor essas questões é necessário o estudo da Metafísica. Por conseguinte, vejo que um dos maiores equívocos ao ensinar Ciências é dizer que o conhecimento científico é comprovado ou descoberto, já que essa postura acaba doutrinando os alunos, ou seja, essa postura implicada que na Ciência não existe espaço para a dúvida. Tal posição filosófica foge do ensino que consideramos ideal – aquele em que o aluno passa a ser um agente ativo e crítico.

O ideal seria que os professores tivessem formação para serem capazes de apresentarem vários caminhos (pelo menos dois), destacando os pontos fortes e fracos, ficando então, a cargo do aluno escolher qual caminho seguir. Mas é claro, o estudo da metodologia duhemiana aplicada na sala de aula tem que ser feito com mais cuidado, porém nosso foco foi o de mostrar uma possível aplicação e como ela pode ser conduzida.

REFERÊNCIAS

ALVES, M. T. S. ; Henrique, A. B. Pensamento Epistemológico no Ensino de Física: Uma Investigação Preliminar no Ensino Médio, XVIII Simpósio Nacional de Ensino de Física, 2009. [acessado 2019 maio 13]. Disponível em: <http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xviii/sys/resumos/T0687-1.pdf>

ASSIS, A. K. T. e CHAIB, J. P. M. d. C. Eletrodinâmica de Ampère: Análise do significado e da evolução da força de Ampère, juntamente com a tradução comentada de sua principal obra sobre eletrodinâmica. Campinas: Editora da Unicamp, 2011.

BACHELARD, G. O novo espírito científico; A Filosofia do Não: Os Pensadores. São Paulo: Abril Cultural, 1978.

BRAGA, M. et al. O papel dos livros didáticos franceses do século XIX na construção de uma concepção dogmático-instrumental do ensino de física. Também vale a pena citar aqui o trabalho do SILVEIRA, F. L. e Ostermann F. A insustentabilidade da proposta indutivista de "descobrir a lei a partir de resultados experimentais". Caderno catarinense de ensino de física, Florianópolis, v.19, n. especial: p. 7-27, jun. 2002.

DUHEM, P. Algumas reflexões sobre as teorias físicas. *Ciência e Filosofia*, 4, p. 13-37, 1989a [1892].

_____. *Física e metafísica*. *Ciência e Filosofia*, 4, p. 41-59, 1989b [1893].

_____. *A escola inglesa e as teorias físicas*. *Ciência e Filosofia*, 4, p. 63-84, 1989c [1893].

_____. *Algumas reflexões acerca da física experimental*. *Ciência e Filosofia*, 4, p. 87-118, 1989d [1894].

_____. *O valor da teoria física*. *Ciência e Filosofia*, 4, p.157-176, 1989e [1908].

_____. *Salvar os fenômenos. Ensaio sobre a noção de teoria física de Platão a Galileu*. *Cadernos de História e Filosofia da Ciência*, 3, 1984 [1908].

_____. History of physics. In: Ariew, R. & Barker, P. (Ed.). *Essays in the history and philosophy of science*. Indianapolis: Hackett, 1996 [1911]. p. 163-221.

_____. *A Teoria Física: Seu Objeto e sua Estrutura*. Rio de Janeiro: EdUERJ, 2014.

GENTNER, D. and GENTNER, D. R. *Flowing waters or teeming crowds: mental models of electricity*. In Gentner, D. and Stevens, A.L. (Eds.). *Mental models*. Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum Associates. p. 99-127, 1983.

JOHNSON-LAIRD, P. N. *Mental models*. Cambridge, MA, Harvard University Press, 1983.

LAGRECA, M. C. B e MOREIRA, M. A. *Tipos de Representações Mentais Utilizadas por Estudantes de Física Geral na área de Mecânica Clássica e Possíveis Modelos Mentais nessa área*. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 21, no. 1, Março, 1999.

LEITE, F. R. *Sobre as relações históricas entre a física e a metafísica na obra de Pierre Duhem*. Scientiæ zudia, São Paulo, v. 11, n. 2, p. 305-31, 2013.

MEDINA, M.; BRAGA, M. *Ensinar Física para o Século XXI: Uma proposta metodológica interdisciplinar que alia a História da Ciência, o Teatro e a Física*. In: XVIII Simpósio Nacional de Ensino de Física, 2009, Vitória. XVIII SNEF. São Paulo : SBF, 2009. v. 1.

MILLER, D. G. *Ignored intellect – Pierre Duhem*, Physics Today 19, 12, 47 (1966), American Institute of Physics.

MOREIRA, M. A., Caballero, M.C. e Rodríguez, M.L. (orgs.). *Actas del Encuentro Internacional sobre el Aprendizaje Significativo. Burgos, España*. pp. 19-44, 1997. [acessado 2019 maio 13]. Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/~moreira/apsigsubport.pdf>.

_____. *Modelos mentais, Investigações em Ensino de Ciências – V1*, p.193-232, 1996.

MOREIRA, I. C., *Feynman e suas conferências sobre o ensino de física no Brasil*. Rev. Bras. Ensino Fís. vol.40 no.4 São Paulo 2018 Epub July 02, 2018.

PESSOA JR., O. *Conceitos de física quântica*. São Paulo: Livraria da Física, 2003. v. 1.

POINCARÉ, H. *O valor da Ciência*. Rio de Janeiro:Contraponto,1995.

POPPER, K. R. *A lógica da pesquisa científica*. São Paulo: Cultrix, 2007.