

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO PARA  
A CIÊNCIA E A MATEMÁTICA**

**MILENE RODRIGUES MARTINS**

**UMA ABORDAGEM HISTÓRICA SOBRE CONCEITOS DE FORÇA NOS  
SÉCULOS XVII E XVIII: COMPREENSÃO ACERCA DO PROCESSO DE  
TRANSPOSIÇÃO DIDÁTICA NO CONTEXTO ACADÊMICO**

Maringá

2020

**MILENE RODRIGUES MARTINS**

**UMA ABORDAGEM HISTÓRICA SOBRE CONCEITOS DE FORÇA NOS  
SÉCULOS XVII E XVIII: COMPREENSÃO ACERCA DO PROCESSO DE  
TRANSPOSIÇÃO DIDÁTICA NO CONTEXTO ACADÊMICO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência e a Matemática da Universidade Estadual de Maringá, como requisito parcial para obtenção do título de Doutora em Educação para a Ciência e a Matemática.

Orientador: Prof. Dr. Marcos Cesar Danhoni Neves  
Coorientador: Prof. Dr. Daniel Gardelli

Maringá

2020

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)  
(Biblioteca Central - UEM, Maringá - PR, Brasil)

M386a

Martins, Milene Rodrigues

Uma abordagem histórica sobre conceitos de força nos séculos XVII e XVIII :  
compreensão acerca do processo de transposição didática no contexto acadêmico / Milene  
Rodrigues Martins. -- Maringá, PR, 2020.  
285 f.: il., figs.

Orientador: Prof. Dr. Marcos Cesar Danhoni Neves.

Coorientador: Prof. Dr. Daniel Gardelli.

Tese (Doutorado) - Universidade Estadual de Maringá, Centro de Ciências Exatas,  
Departamento de Ciências, Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência e a  
Matemática, 2020.

1. Conceito de força - Mecânica. 2. Ensino de física . 3. História da física. 4.  
Transposição didática. 5. Livros didáticos. I. Neves, Marcos Cesar Danhoni, orient. II.  
Gardelli, Daniel, coorient. III. Universidade Estadual de Maringá. Centro de Ciências  
Exatas. Departamento de Ciências. Programa de Pós-Graduação em Educação para a  
Ciência e a Matemática. IV. Título.


CDD 23.ed. 530.07

**MILENE RODRIGUES MARTINS**

**Uma abordagem histórica sobre conceitos de Força nos séculos XVII e XVIII: *compreensão acerca do processo de transposição didática no contexto acadêmico***

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência e a Matemática do Centro de Ciências Exatas da Universidade Estadual de Maringá, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em *Ensino de Ciências e Matemática*.

**BANCA EXAMINADORA**



Prof. Dr. Marcos Cesar Danhoni Neves  
Universidade Estadual de Maringá – UEM



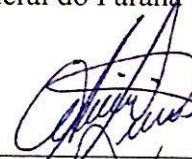
Prof. Dr. André Koch Torres Assis  
Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP



Prof. Dr. Ivã Gurgel  
Universidade de São Paulo - USP



Prof. Dr. Michel Corci Batista  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR



Prof. Dr. André Luis de Oliveira  
Universidade Estadual de Maringá – UEM

Maringá, 02 de Março de 2020.

Aos meus pais, por me darem asas para que eu pudesse voar e amparo para que eu tivesse para onde retornar.

## AGRADECIMENTOS

Ao professor Dr. Marcos Cesar Danhoni Neves, pela orientação, incentivo e inspiração enquanto educador e defensor de uma educação pública, gratuita e de qualidade.

Ao professor Dr. Daniel Gardelli, pela humildade e generosidade com que compartilha seu amplo conhecimento e sua experiência. Agradeço também as suas minuciosas correções e aos encaminhamentos teóricos e metodológicos a serem adotados.

Aos membros da banca, tanto no exame da qualificação quanto na defesa pelas pertinentes contribuições ao longo do desenvolvimento deste trabalho.

À Sandra, pelo acolhimento e prestatividade com que sempre atendeu a nós, alunos(as).

À CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), pela concessão do auxílio financeiro.

Aos meus pais, Jucelino e Norma e irmãos, Luciano e Lucinei, por serem as minhas referências de amor e caráter. Os agradeço imensamente por entenderem minha ausência, por me incentivarem a buscar meus objetivos e por sempre acreditarem em mim.

Aos amigos da pós-graduação, com os quais pude compartilhar angústias, sonhos e esperanças. Em especial, agradeço à Alessandra Buffon, minha “irmã gêmea acadêmica”, pelo companheirismo e pela valiosa amizade no decorrer de todo o nosso processo formativo.

À todas as pessoas que, diretamente ou indiretamente, contribuíram significativamente para a conclusão desta importante etapa, em particular ao Douglas, pelo apoio e encorajamento frente às adversidades.

## RESUMO

A “força” é um dos primeiros constructos teóricos a ser abordado no contexto escolar e acadêmico. Trata-se de um conceito basilar, de definições polissêmicas, que perpassa toda a Física e foi fundamental para o desenvolvimento desta. Tendo em vista que, tanto nos livros didáticos quanto na bibliografia em geral, é dada pouca ênfase à sua significação e construção histórica, este trabalho tem como objetivo compreender de que modo os conceitos de força nos séculos XVII e XVIII alcançam o processo de transposição didática e como a historiografia se apresenta no contexto acadêmico. Para atender a este propósito, buscou-se promover um resgate das concepções de importantes e, por vezes, desconhecidos estudiosos pertencentes ao referido período. Ademais, foi realizada uma pesquisa junto aos manuais didáticos voltados ao Ensino Superior, a fim de identificar como os conceitos de força, em particular na Mecânica, são apresentados nessas obras. Em complemento, foi realizada uma investigação com cinco professores universitários de uma instituição pública do estado do Paraná, de acordo os pressupostos da pesquisa fenomenológica, com o intuito de encontrar indícios de como se deu a construção destes conceitos e, de maneira indireta, entender como e se a História da Física está presente em suas práticas didáticas. Ao fim das análises, pode-se identificar que a versão que é sucintamente difundida, nos livros-texto e na maioria das concepções dos docentes, não corresponde ao recorte histórico apresentado, pois refere-se a uma abordagem essencialmente direcionada à mecânica newtoniana, que suplanta indevidamente as contribuições de seus predecessores e sucessores. A invisibilidade da história mostra-se como um problema, no sentido em que a memória histórica do desenvolvimento dos conceitos de força está se esvaindo, cedendo espaço a argumentos de autoridade que, com efeito, corroboram para uma concepção de ciência aproblemática e linear.

**Palavras-chave:** Conceitos de Força; História da Física; Livros Didáticos; Transposição Didática.

## ABSTRACT

The “force” is one of the first theoretical constructs to be addressed at school and academic context. It refers to a basilar concept, of polysemic definitions, which pervades the entire Physics and was fundamental to its development. considering that, even in textbooks and the general bibliography, little emphasis is given to its significance and historical construction, so this work has as its goal to understand in which way the force concepts in the 17th and 18th centuries reach the didactic transposition process and how the historiography promptly presents itself in the academic context. To address this purpose, we have sought to promote a conception rescue of important and sometimes even unknown scholars involved in that period. In addition, a survey was performed on college education manuals in order to identify how the concepts of force, particularly in the Mechanics field, are being presented in these works. Further, an investigation was carried out with five university professors from a public institution in the state of Paraná, according to the assumptions of phenomenological research, in order to find evidences of how these concepts were constructed and, indirectly, to understand how and if the history of Physics is present in their didactic practices. At the end of the analysis, it can be concluded that the version that is succinctly disseminated in textbooks and in most of the teachers' conceptions does not correspond to the historical outline presented, as it refers to an approach essentially related to Newtonian mechanics, which unduly supplants the contributions of its predecessors and successors. The invisibility of history shows itself as a problem, in the sense that the historical memory of the development of the concepts of force is fading, giving way to arguments of authority, which, in effect, corroborate to an aproblematic and linear conception of science.

**Keywords:** Force concepts; Physics history; Textbooks; Didactic Transposition.



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Os vórtices de Descartes .....	21
Figura 2 - Teorema do paralelogramo de Newton.....	42
Figura 3- Deflexões de repouso e movimento $\overrightarrow{PG}$ e $\overrightarrow{PQ}$ , geradas em um dado intervalo de tempo .....	46
Figura 4 - A igualdade das deflexões $\overrightarrow{LQ}$ e $\overrightarrow{PG}$ , geradas por uma determinada força em um dado momento em um determinado corpo, quando o corpo está em movimento em P e em repouso em P, respectivamente .....	48
Figura 5 - Desenho original de Newton, ilustrando o caso de força contínua de sua segunda lei: a deflexão móvel é igual à deflexão de repouso, $\overrightarrow{ab}=\overrightarrow{AB}$ .....	50
Figura 6 - Ilustração da segunda lei do Principia como Newton a entendeu, $\overrightarrow{LQ} = \overrightarrow{PG}$ (a) uma força (contínua) e (b) um impulso instantâneo .....	51
Figura 7 - A lei da força entre partículas, de Boscovich .....	85
Figura 8 - O "efeito" Lesage.....	94

## ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 - Instituições de ensino que oferecem o curso de licenciatura em Física, a(s) disciplina(s) que aborda(m) o conceito de força e seu(s) respectivo(s) período(s).....	146
Quadro 2 - Instituições de ensino e suas respectivas ementas curriculares que contemplam o ensino do conceito de força .....	147
Quadro 3 - As bibliografias básicas e complementares indicadas nas disciplinas, que discutem sobre o conceito de força, de cada instituição de ensino .....	148
Quadro 4 - O conceito de força nos livros sugeridos na bibliografia básica de uma universidade pública do estado do Paraná .....	152
Quadro 5 - o conceito de força nos livros sugeridos na bibliografia complementar de uma universidade pública do estado do Paraná. ....	154
Quadro 6 - As convergências dos discursos agrupados segundo as categorias encontradas..	200

## SUMÁRIO

INTRODUÇÃO .....	10
<b>1. A CONSTRUÇÃO DE CONCEITOS DE FORÇA NOS SÉCULOS XVII E XVIII.....</b>	<b>13</b>
1.1 RENÉ DESCARTES: CONTEXTO HISTÓRICO E CIENTÍFICO .....	13
1.1.1 A cosmogonia de Descartes .....	15
1.1.2 O conceito de movimento para Descartes.....	23
1.2 ISAAC NEWTON: DA INFÂNCIA À PUBLICAÇÃO DOS PRINCIPIA .....	25
1.2.1 A concepção de gravidade para Newton.....	27
1.2.2 A compreensão newtoniana de força .....	37
1.2.3 A segunda lei de Newton corresponde a $F = MA$ ? .....	44
1.3 LEONHARD EULER E A ORIGEM DAS FORÇAS .....	57
1.3.1 A vida e obra de Leonhard Euler.....	58
1.3.2 O desenvolvimento do conceito de força.....	61
1.3.3 O movimento dos corpos .....	69
1.3.4 A impenetrabilidade da matéria .....	75
1.4 O DINAMISMO DE ROGER BOSCOVICH .....	80
1.4.1 O contexto histórico de Boscovich.....	80
1.4.2 A lei das forças de Boscovich .....	81
1.5 TEORIA MECANICISTA DA FORÇA (GRAVITAÇÃO) .....	89
1.5.1 Georges-Louis Lesage .....	90
1.6 FLUIDOS IMPONDERÁVEIS .....	96
1.6.1 Stephen Gray .....	96
1.6.2 Charles François de Cisternay Du Fay .....	100
1.7 A ESCOLA FILOSÓFICA ALEMÃ DA NATURPHILOSOPHIE .....	105
1.7.1 Friedrich Wilhelm Joseph Schelling.....	106
1.7.2 Schelling e o conceito de força .....	113
1.8 O PROGRAMA DE PESQUISA LAPLACIANO.....	116
<b>2. TRANSPOSIÇÃO DIDÁTICA: DO SABER SÁBIO AO SABER ENSINADO.....</b>	<b>120</b>
2.1 CULTURA ESCOLAR .....	126
<b>3. ENCAMINHAMENTOS METODOLÓGICOS .....</b>	<b>131</b>
3.1 CAMINHOS PERCORRIDOS PARA A INTERPRETAÇÃO DOS LIVROS DIDÁTICOS	131
3.2 FENOMENOLOGIA.....	134
3.2.1 Contextualizando a pesquisa .....	137
3.2.2 Constituição dos dados.....	139
3.2.3 Interpretação dos dados.....	140

<b>3.2.4 Os participantes da pesquisa</b> .....	144
<b>4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS</b> .....	<b>146</b>
4.1 ANÁLISE DOS LIVROS DIDÁTICOS .....	146
4.2 ANÁLISE DAS ENTREVISTAS.....	162
<b>4.2.1 Unidades de Significado e Compreensão Ideográfica dos discursos</b> .....	162
<b>4.2.2 As convergências dos discursos dos sujeitos</b> .....	200
<b>4.2.3 Compreensão Nomotética Geral</b> .....	235
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>236</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>240</b>
<b>APÊNDICE A - DISCURSO DOS SUJEITOS DA PESQUISA NA ÍNTEGRA</b> .....	<b>249</b>
<b>APÊNDICE B – MODELO DO TERMO DE CONSENTIMENTO DE LIVRE ESCLARECIMENTO</b> .....	<b>283</b>

## INTRODUÇÃO

O conceito de força é um dos principais constructos teóricos a serem ensinados para os estudantes, ainda no Ensino Fundamental. No decorrer de seus estudos, eles o reencontram e o aprofundam; estudam a força gravitacional, a força elástica, a força eletromagnética, a força elétrica etc. Em muitos livros didáticos de Física, a “força” é o primeiro conceito não-matemático explanado. Costuma-se dar ênfase às suas inúmeras aplicações bem-sucedidas, e por meio delas comprovar seu status de verdade científica.

Tanto nos manuais didáticos quanto na bibliografia especializada são fornecidas, geralmente, poucas informações acerca da natureza do conceito de força em si ou sobre a sua construção histórica, pois subentende-se que se trata de um conceito intuitivo, que possui uma vasta aplicação prática, fácil de ser verificada e testada. Seu caráter problemático é, muitas vezes, ignorado, podendo conduzir erroneamente os estudantes de ciências a entendê-la e tratá-la como entidade mística ou até como qualidades ocultas. Ademais, “não raro e não apenas nos cursos elementares e introdutórios de física, a ‘força’ é interpretada à maneira animista ou peripatética tradicional, como uma ‘tendência’ ou um ‘esforço para’” (JAMMER, 2011, p. 15-16). Também é possível encontrar afirmações alegando que uma força é capaz de “superar” outra.

A fim de contribuir para que estudantes e professores desconstruam possíveis concepções deformadas a respeito do conceito de força, considera-se fundamental a compreensão do desenvolvimento histórico do mesmo, para que assim, não somente o historiador da ciência, mas também a comunidade acadêmica esteja comprometida com os pressupostos históricos e epistemológicos do aparato conceitual que cerca o ensino de Física.

Outrora, com o pensamento antigo, as interpretações animistas espirituais da realidade física ganharam espaço, servindo de base para que a ciência pré-clássica propusesse a existência de conotações extracientíficas que exerceram influência na interpretação do conceito de força até épocas recentes. Na ciência aristotélico-ptolomaica tinha-se um sistema de concepções essencialmente geométrico-cinemáticas. Já a ciência dos séculos XVII e XVIII pautava-se - porém não de modo exclusivo - nos escritos newtonianos sobre a dinâmica dos corpos. Percebe-se, portanto, que a investigação crítica e histórica do conceito de força se faz necessário para que se possa compreender o desenvolvimento da ciência moderna.

A explanação do desenvolvimento histórico de cada uma das forças que a física contempla é, no entanto, impossível, tendo em vista que cada uso da expressão “força” implica um sentido e uma construção histórica diferente. Nesse sentido, neste trabalho, optar-se-á por

abordar os conceitos de força mecânica, em especial no contexto dos séculos XVII e XVIII. Também será dada uma breve ênfase à força gravitacional, pois entende-se que há uma estreita ligação histórica entre os conceitos de força e o conceito de atração gravitacional, embora a origem da primeira esteja vinculada ao esforço muscular e a ação de puxar ou empurrar.

Ao estudar o desenvolvimento do conceito de força, é comum esbarrar em obstáculos inerentes ao caráter intrinsecamente impreciso das definições, pois os conceitos científicos só encontram especificação rigorosa mediante uma definição científica exata. Mas essa definição, sob a óptica de um viés histórico, se dá em uma etapa posterior de sua construção. Portanto, “Limitar a discussão aos conceitos assim definidos significa ignorar uma parte fundamental de sua história” (JAMMER, 2011, p. 22).

Ao encontro dessa objeção, entende-se que a história do conceito de força não está concluída e nem estará, mesmo após alcançar o patamar de “definido”, uma vez que “[...] ele só adquire significado completo pelo contexto sempre crescente e mutável da estrutura conceitual em que se insere.” (JAMMER, 2011, p. 22). Desse modo, ao investigar a construção de um constructo científico, é necessário atentar-se para a inevitável imprecisão do mesmo e para o perigo que é traçar limites, temporais ou teóricos, estreitos ou extensos demais.

Tendo em vista tais colocações, ainda assim considera-se que o conceito de força assume uma posição ímpar entre os demais conceitos físicos e o seu desenvolvimento histórico pode revelar como ocorreu a mudança da atitude intelectual dos cientistas ao longo dos tempos, bem como pode corroborar para que o seu ensino seja contextualizado e desvinculado de concepções equivocadas, distorcidas e superestimadas. Nessa perspectiva, este trabalho tem como problema de pesquisa “Como se deu a construção de conceitos de força nos séculos XVII e XVIII e como estes são apresentados nos livros didáticos do ensino superior e manifestos nas falas de professores de Física?”.

O objetivo geral da investigação é compreender de que modo os conceitos de força dos séculos XVII e XVIII alcançam o processo de transposição didática e como a historiografia se apresenta no contexto acadêmico.

Para responder o problema de pesquisa e atender ao objetivo proposto, este trabalho será dividido em quatro capítulos. No primeiro será apresentado o desenvolvimento histórico de conceitos de força no século XVII e XVIII sob a perspectiva de importantes e, por vezes, desconhecidos cientistas, como: René Descartes (1596-1650); Isaac Newton (1643-1727); Leonhard Euler (1707-1783); Roger Boscovich (1711-1787); George Louis Lesage (1724-1803); Stephen Gray (1666-1736); Charles Du Fay (1698-1739); Friedrich Schelling (1775-1854) e Pierre Simon Laplace (1749-1827).

No segundo capítulo será discutida a teoria da transposição didática, proposta por Yves Chevallard (1991), buscando apreender as transformações sofridas pelo saber “sábio” até estar “apto” para ser ensinado na esfera do saber ensinado. Assume-se neste trabalho que a transposição didática desempenha um importante papel no sentido de buscar entender como se dá o complexo processo de didatização dos conceitos de força e os desdobramentos inerentes ao mesmo. Em conformidade com esta teoria, pretende-se fazer um paralelo com a ideia de cultura acadêmica, em que é, ao mesmo tempo, produto e reprodutora de conteúdos, crenças e valores difundidos no decorrer do tempo.

O capítulo seguinte discorrerá sobre os encaminhamentos metodológicos empregados para analisar os livros didáticos de Física voltados para o Ensino Superior, bem como acerca dos pressupostos teóricos da pesquisa fenomenológica, utilizados para análise das entrevistas com os professores universitários do curso de Física. Buscar-se-á, também, contextualizar a pesquisa, identificar seus sujeitos, os instrumentos de coleta e interpretação de dados.

Por fim, o quarto capítulo será dedicado à análise e interpretação dos resultados, tanto da análise dos manuais didáticos quanto das entrevistas, sendo que, referente a esta última etapa, inicialmente serão apresentadas as Unidades de Significado e as Compreensões Ideográficas de cada sujeito, na sequência serão estabelecidas as convergências dos discursos, elencadas em categorias para, posteriormente, ser realizada a Compreensão Eidética das mesmas e, para finalizar, será apresentada a Compreensão Nomotética geral dos discursos.

## 1. A CONSTRUÇÃO DE CONCEITOS DE FORÇA NOS SÉCULOS XVII E XVIII

Neste capítulo, a revisão histórica da construção de conceitos de força terá como ponto de partida o trabalho de Descartes, que procurou eliminar a “força” de seu arcabouço teórico por meio da proposição de uma teoria de vórtices, de caráter essencialmente cinemático. Também será discutido o conceito newtoniano de força, pautado nos *Principia*, dando ênfase à sua segunda lei do movimento, traduzida erroneamente pela expressão  $F = ma$ . Na sequência, abordar-se-á sobre Euler e a sua tentativa de construção de uma ciência racional da mecânica, ainda influenciado pela filosofia mecanicista. Será dada atenção a desenvolvimentos pouco conhecidos no âmbito acadêmico pertinentes à: teoria dinâmica das forças de Boscovich; teoria mecanicista da força de Lesage; teoria dos fluidos imponderáveis, tendo como expoente Stephen Gray e Charles Du Fay; escola filosófica da *naturphilosophie* e o programa de pesquisa laplaciano. Optou-se por dedicar ao referido período histórico o estudo do conceito de força pois entende-se que a partir dos séculos XVII e XVIII, deu-se início a um estudo mais sistematizado e matematizado dos conceitos de força.

### 1.1 RENÉ DESCARTES: CONTEXTO HISTÓRICO E CIENTÍFICO

René Descartes (1596-1650), filósofo, matemático e físico francês, nasceu na cidade francesa de La Haye. De origem burguesa, herdou bens que lhe garantiram condições financeiras favoráveis para o acesso à educação formal. Os anos iniciais de sua educação foram de responsabilidade de um preceptor em sua residência, e aos onze anos de idade ingressou no colégio jesuíta de La Flèche, onde estudou as ciências, a filosofia e as humanidades (PEDUZZI, 2015, p. 8). Nessa instituição, inaugurada em 1604 e já dotada de reconhecimento acadêmico, Descartes conheceu e estabeleceu um forte vínculo de amizade com Marin Mersenne (1588-1648), com quem manteve contato que resultou na construção de frutíferos conhecimentos científicos. Aos 17 anos, Descartes finalizou seus estudos básicos e em 1616 concluiu o curso de licenciatura em Direito pela Universidade de Poitiers (PEDUZZI, 2015, p. 8).

Desde seus primeiros anos de escolarização, Descartes demonstrou considerável interesse pela matemática:

Ainda em sua adolescência, Descartes dedicou-se plenamente aos estudos matemáticos, abandonando gradualmente todos os demais interesses, de tal modo que, aos 21 anos de idade, era senhor de tudo o que se conhecia sobre essa ciência. No período de um ou dois anos que se seguiu, ele desenvolveu experiências simples em mecânica, hidrostática e óptica, na tentativa de aplicar o conhecimento matemático a esses campos. Ele parece haver seguido as realizações mais destacadas de Kepler e



Galileu, sem, no entanto, deixar-se afetar seriamente por quaisquer detalhes da teoria científica daqueles mestres (BURTT, 1983, p. 85).

Tal apreço pela matemática permaneceu intrínseco no desenvolvimento de seus trabalhos posteriores.

A primeira metade do século XVII, na qual viveu Descartes, referia-se a um contexto social de efervescência intelectual, de guerras e fortemente marcado pelas transformações científicas, políticas, econômicas e culturais que se deram na Europa no decorrer do século XVI. No âmbito da ciência, os conhecimentos científicos -contrários à filosofia escolástica- emergiam a passos lentos e sofriam impiedosas resistências, tanto por parte da tradição vigente quanto pelos conflitos entre ciência e fé. Nas primeiras décadas do século XVII, os trabalhos de Johannes Kepler (1571-1630) e Galileu Galilei (1564-1642) começaram a ganhar visibilidade ao sinalizar um universo mais abrangente e complexo, que diferia radicalmente da cosmologia aristotélica. Neste período histórico, era necessário pensar em uma nova Física embasada no emprego da racionalidade matemática e da experimentação, bem como em uma nova filosofia que rompesse com as concepções representadas pela filosofia aristotélico-escolástica.

Crítico à ciência e à filosofia de sua época, Francis Bacon (1561-1626), contemporâneo de Descartes, em sua obra *Novum Organum* (1620) concebia que o conhecimento é derivado da exaustiva observação e do emprego dos sentidos e, apesar de reconhecer estas características como limitadas, Bacon propôs um método científico que conduziria o homem ao real conhecimento sobre a natureza. Descartes, ao contrário de Bacon, renunciou ao empirismo como método e defendeu que uma postura filosófica mais coerente não devia ter como alicerce a confiabilidade da experiência sensorial, pois “na verdade, não percebemos qualquer objeto, tal como ele é, apenas pelos sentidos” (DESCARTES, 2007). Os sentidos para Descartes podem configurar-se como fontes de erro, uma vez que o conhecimento tem sua gênese na intuição intelectual de ideias claras e distintas:

O pensamento, para Descartes, deve ser progressivo e não regressivo. Vai das ideias às coisas e não das coisas às ideias; vai do simples ao complexo; avança, ao concretizar-se, da unidade dos princípios para a multiplicidade das diversificações; caminha da teoria para a aplicação, da metafísica para a física, da física para a técnica, para a medicina, para a moral. Não parte, como o de Aristóteles e o da escolástica, de um diverso e de um Universo dados, para *remontar* daí à unidade dos princípios e das causas que é o seu fundamento. Para o pensamento cartesiano, o dado é justamente o objeto simples da intuição intelectual, não os objetos complexos da sensação. (KOYRÉ, 1963, p. 77).

No cenário de ceticismo à tradição filosófica no qual se encontrava imerso, Descartes considerava fundamental se despir totalmente de todo o conhecimento *a priori*, a fim de que a dúvida exercesse um papel de destaque na busca da verdade, uma vez que, “para examinar a verdade, é necessário, ao menos uma vez no curso de nossa vida, duvidar, o mais possível, de todas as coisas” (DESCARTES, 2007, p. 25). Descartes esclarece que:

Como uma vez fomos crianças, e como formamos diversos juízos quanto aos objetos apresentados em nossos sentidos quando ainda não tínhamos completo uso de nossa razão, há vários preconceitos que nos impedem agora de alcançar o conhecimento da verdade; e parece impossível para nós libertar-nos deles, a menos que tomemos a iniciativa de duvidar, pelo menos uma vez na vida, de todas as coisas em que pudermos descobrir a mínima suspeita de incerteza. (DESCARTES, 2007, p. 25).

Por meio do uso da razão, Descartes concebia a existência de Deus, porém um Deus filósofo e não cristão. E a partir deste pressuposto seria possível compreender o universo e as leis que o governam.

### 1.1.1 A cosmogonia de Descartes

Descartes buscou entender como o universo se originou produzindo tudo o que se conhece sem a intervenção divina. Contudo, seu posicionamento não se constituiu como um ataque aberto à religião, uma vez que ele admitia a presença de Deus no início absoluto do universo e supôs que Deus precisou criar a matéria e o movimento e que as leis naturais determinaram tudo o que se deu posteriormente (MARTINS, 1994, p. 81).

Nas palavras de Koyré (2006, p. 90):

O Deus de um filósofo e seu mundo sempre se correspondem. Ora, o Deus de Descartes, em contraposição à maioria dos Deuses anteriores, não é simbolizado pelas coisas que Ele criou; Ele não se expressa nelas. Não existe nenhuma analogia entre Deus e o mundo; não há quaisquer *imagines e vestigia Dei in mundo*; a única exceção é a nossa alma, ou seja, um espírito puro, um ser, uma substância em que toda essência consiste em pensamento, um espírito dotado de uma inteligência apta a aprender a ideia de Deus, isto é, do infinito (que lhe é mesmo inata), um espírito dotado também de vontade, ou seja, de liberdade infinita. O Deus cartesiano nos dá algumas ideias claras e precisas que nos permitem encontrar a verdade, desde que nos atenhamos a elas e não nos deixemos cair em erro. O Deus cartesiano é um Deus verídico; assim sendo, o conhecimento sobre o mundo criado por Ele, que nossas ideias claras e precisas nos permitem alcançar, é um conhecimento verdadeiro e autêntico. Quanto a este mundo, Ele o criou por pura vontade, e mesmo que tivesse algumas razões para criá-lo, essas razões só Ele as conhece. Não temos, nem podemos ter, a menor ideia sobre elas. Por conseguinte, não só é inútil, como ainda absurdo, tentar descobrir Seus desígnios. Concepções e explicações teleológicas não têm lugar e nenhum valor na ciência, tanto quanto não tem lugar nem sentido na matemática, sobretudo porque o mundo criado pelo Deus cartesiano, isto é, o mundo de Descartes, não é de modo

algum o mundo colorido, multiforme e qualitativamente determinado dos aristotélicos, o mundo de nossa vida e experiência cotidianas (esse mundo é tão-somente um mundo subjetivo), tal como o representa uma opinião frágil e inconsistente, baseada no testemunho espúrio, da percepção sensível, duvidosa e confusa.

O mundo de Descartes é, portanto, um mundo matemático rigidamente uniforme, que possui uma geometria reificada de que ideias claras possibilitam um conhecimento evidente e certo em que somente há matéria e movimento; ou, sendo a matéria idêntica a espaço ou extensão, não há nada senão extensão e movimento (KOYRÉ, 2006, p. 90-91).

Nas palavras de Descartes “ a natureza do corpo não consiste no peso, na dureza, na cor, ou outros semelhantes, mas só na extensão” (DESCARTES, 2007, p. 60) ou, escrito de maneira mais detalhada “[...] a natureza da matéria ou do corpo, considerada em geral não consiste em ser dura, pesada ou colorida, ou naquilo que afeta os sentidos de qualquer outra maneira, mas simplesmente em ser uma substância extensa em comprimento, largura e altura.” (DESCARTES, 2007, p. 60). De modo recíproco, “[...] a extensão em comprimento, largura e profundidade não pode ser concebida – e, conseqüentemente, existir – senão como pertencente a uma *substância material* [...]” (KOYRÉ, 2006, p. 91).

Descartes argumentava que “[...] a realidade é composta de duas substâncias: o espírito é uma substância caracterizada pelo ato de pensar (*res cogitans*) e o mundo material é uma substância cuja essência é a extensão (*res extensa*)” (PIRES, 2011, p. 171-172). Nas palavras de Burt (1991, p. 86):

[Descartes] percebeu que a natureza própria do espaço, ou extensão, era tal que suas relações, ainda que complicadas, deveriam sempre permitir a expressão por meio de fórmulas algébricas e que, no caso oposto, as verdades numéricas (em determinadas condições) poderiam ser plenamente representadas do ponto de vista espacial. Como resultado natural dessa invenção notável, Descartes ampliou sua esperança de que todo reino da física pudesse ser redutível unicamente a qualidades geométricas. Quaisquer que sejam outras dimensões, o mundo da natureza é obviamente um mundo geométrico e seus objetos são grandezas em movimento, dotadas de extensão e configuração. Se nos pudermos livrar de todas as outras qualidades ou reduzi-las a estas, é evidente que a matemática terá de ser a chave única e adequada a revelar as verdades da natureza.

A ontologia axiomática fundada por Descartes constitui a base de um novo sistema que vai de encontro ao ceticismo predominante na tradição escolástica. Descartes é considerado o principal pensador responsável pelo novo estilo de filosofia natural – a filosofia cartesiana (COHEN; WESTFALL, 2002). Esta era:

[...] uma forma de filosofia mecanicista (esse nome foi dado por Robert Boyle) segundo a qual o mundo inanimado poderia, para propósitos científicos, ser considerado como um mecanismo de relógio e que era possível imaginar um modelo

mecânico para todo tipo de fenômeno físico. O objetivo da filosofia mecanicista era o de explicar os mecanismos escondidos atrás dos fenômenos. Seu ponto de partida era que todos os fenômenos da Natureza são produzidos por partículas de matéria em movimento. A incapacidade dos filósofos mecanicistas para tratar qualquer conceito de força além da “força de um corpo em movimento” foi um obstáculo para a criação de uma teoria matemática da Dinâmica. (PIRES, 2011, p. 173).

As contribuições de Descartes para o desenvolvimento da ciência e de outras áreas do conhecimento podem ser verificadas em suas importantes obras. Dentre as principais:

- *Regras para a direção do espírito* - 1628 (publicada apenas em 1701);
- *O mundo ou tratado da luz* - 1629 - 1633 (publicado em 1664);
- *O homem* - 1629-1633 (publicado em 1662);
- *Discurso do método* - 1637;
- *Geometria* - 1637;
- *Meditações metafísicas* (ou *Meditações sobre a Filosofia Primeira*) - 1641;
- *Objecões contra as meditações e respostas* - 1641;
- *Princípios da Filosofia* - 1644;
- *As paixões da alma* - 1649.

Nas obras *O mundo ou tratado da luz* e *Princípios da Filosofia*, Descartes procurou delinear uma cosmogonia que rejeitava por completo a existência do vazio, bem como negava a possibilidade de haver forças físicas atuando a distância entre dois corpos. Na interpretação de Pires (2011, p. 174):

Descartes se recusava a aceitar qualquer tipo de influências “ocultas”, e assim propôs que qualquer tipo de ação deveria ocorrer por pressão ou impacto. Os corpos podiam interagir somente quando estavam em contato, em outras palavras, ele negou a ação a distância e, em consequência, afirmou que o espaço não podia estar vazio.

A respeito do vazio, Koyré explica que:

[...] segundo Descartes, o vazio é não só fisicamente impossível. Mas também essencialmente impossível. Espaço vazio – se existisse tal coisa seria uma *contradictio in adjecto*, um nada existente. Aqueles que afirmam sua existência – Demócrito, Lucrecio e seus seguidores – são vítimas de falsa imaginação de pensamento confuso. Não percebem que o *nada* não pode ter propriedades e, portanto, dimensões. Falar de 10 pés de espaço vazio separando dois corpos não faz sentido: se houvesse um vazio haveria separação, e os corpos separados pelo *nada* se tocariam. E se existe separação e distância, essa distância não é um comprimento, uma largura ou uma profundidade de *nada*, mas de alguma coisa, isto é, de substância ou matéria “sutil”, uma matéria que não percebemos pelos sentidos – é exatamente por isso que as pessoas que estão acostumadas a imaginar, em vez de pensar, falam em espaço *vazio* – mas ainda uma matéria tão real e tão “material” (não existem graus de

materialidade) como a matéria “bruta” de que são feitas as árvores e as pedras (KOYRÉ, 2006, p. 91).

Desse modo, as distâncias entre as partículas constituintes dos corpos encontravam-se permeadas por partículas mais sutis que pressionavam e colidiam umas com as outras e, portanto, o espaço, considerado um *plenum*, era ocupado por um meio (o éter) que, apesar de imperceptível aos sentidos, era capaz de transmitir forças e exercer efeitos nos corpos imersos nele; o movimento de uma parte era comunicado à outra pelo impacto (PIRES, 2011, p.174). Pode-se inferir que Descartes foi um pensador que defendeu a tese de que o éter possuía propriedades mecânicas e que suas partículas permaneciam em constante movimento.

Giordano Bruno (1548-1600) e Johannes Kepler (1571-1630) também não concebiam a existência de espaços vazios no mundo e acreditavam que o espaço físico estava preenchido de éter. Contudo, Descartes foi além destes pressupostos e negou “[...] simplesmente [que] haja aquilo que se chama de “espaço”, uma entidade distinta de “matéria” que o “enche” (KOYRÉ, 2006, p. 92). Os corpos não estão *no espaço*, mas entre outros corpos, o espaço que “ocupam” não é em nada diferente deles próprios (DESCARTES, 2007).

Através de um sistema de princípios mecânicos vinculados às ideias geométricas e rejeitando concepções espirituais e causas teleológicas, Descartes procurou fornecer explicações coerentes para todos os fenômenos levando em consideração argumentos metafísicos. De acordo com a sua visão de mundo, ele:

[...] equacionava a matéria com a extensão e, por conseguinte, insistia em que o espaço não podia ser vazio, como seria se existisse um vácuo perfeito; o espaço era repleto de algum tipo de matéria; em outras palavras, o Universo era um *plenum*. Ele tratava a luz como uma pressão transmitida através do espaço pleno. Também descrevia o céu como um conjunto de imensos redemoinhos ou vórtices. Nosso Sol estaria no centro de um desses vórtices e os planetas seriam arrastados em torno dele como gravetos flutuando na água. Embora explicasse todos os fenômenos da natureza em termos de partículas de matéria, Descartes afirmava que nenhuma partícula era indivisível. (COHEN; WESTFALL, 2002, p. 20).

Em uma de suas principais e mais elaboradas obras intitulada *Princípios da Filosofia*, publicada em 1644, Descartes descreveu um universo preenchido por uma matéria homogênea, inerte e passiva que conserva o movimento, sem a necessidade de postular quaisquer poderes ou forças. O movimento inicial dado a este universo foi obra divina, conforme o próprio Descartes ressalta:

Depois de ter examinado a natureza do movimento, é necessário considerar a sua causa. E porque pode ser dupla, começaremos pela primeira e mais universal, a que produz geralmente todos os movimentos do mundo. [...] parece-me evidente que só pode ser Deus, cuja onipotência deu origem à matéria com o seu movimento e o

repouso das suas partes, conservando agora no universo, pelo seu concurso ordinário, tanto movimento e repouso como quando o criou (DESCARTES, 2007, p. 76).

A partir deste movimento primordial a matéria que compunha todo o universo foi inicialmente dividida em muitas partes iguais que, no princípio, não poderiam ter sido redondas, pois muitas esferas juntas não compõem um corpo inteiramente sólido e contínuo como o universo é, mas independente da forma que estas partes tiveram, com o decorrer do tempo tornaram-se redondas, na medida em que executaram diversos movimentos circulares (DESCARTES, 2007, p. 114).

Como Descartes rejeitava a ideia de haver espaço vazio, as partículas de matéria arredondadas só poderiam unir-se estreitamente se fossem deixados pequenos intervalos entre elas, que deveriam ser preenchidos por quaisquer outras partes desta matéria, que deveriam ser extremamente pequenas para mudarem continuamente de figura a fim de se adaptarem à dos locais onde entraram (DESCARTES, 2007, p. 114).

Desse modo, deve-se pensar que aquilo que sobressai dos ângulos das partes da matéria à medida que se arredondam, friccionando-se umas contra as outras, é tão diminuto e adquire uma enorme velocidade capaz de dividir em partes incontáveis, as quais, por não terem espessura nem figura determinadas, preenchem facilmente todos os pequenos intervalos por onde as outras partes da matéria não podem passar (DESCARTES, 2007, p. 114-115). Seriam estes movimentos circulares os responsáveis pela origem de imensos turbilhões e redemoinhos espalhados pelo espaço que, no decorrer do tempo, tiveram suas partes desgastadas e usadas para o preenchimento de todos os intervalos entre as partículas.

Em síntese, inicialmente a matéria seria sólida, e após Deus ter fornecido pelo menos dois movimentos a esta matéria, ela acabou sofrendo uma quebra em pequenos blocos. Um desses movimentos seria interno, de rotação de cada pedaço em torno de si próprio, que resultaria em uma fragmentação em pedaços cada vez menores da matéria sólida, produzindo uma espécie de “pó” que preencheria todos os espaços entre as partículas maiores. O segundo referia-se a um movimento de rotação de diferentes grupos de partículas arredondadas em torno de um centro comum (MARTINS, 1994, p. 82). Rocha (2011, p. 90) busca explicar tal processo de modo mais didático:

[Descartes] imaginava um universo infinito inicialmente constituído por um único bloco sólido de uma matéria parecida com cristal, sem luz, sem estrelas, cometas ou planetas, no qual Deus provoca uma imensa quantidade de turbilhões (vórtices) giratórios em pontos distribuídos ao acaso e ao largo de toda a sua extensão. Os turbilhões girariam tal qual liquidificadores, em grandes velocidades, em torno de seus centros, fragmentando a matéria sólida e criando três tipos de elementos.

Descartes buscou elucidar quais eram estes três tipos de elementos essenciais no universo na sua obra *O mundo ou tratado da luz* ao escrever que: “concebo o primeiro, que se pode nomear elemento fogo, como o líquido mais sutil e mais penetrante que existe no mundo”; “quanto ao segundo, que se pode tomar como o elemento ar, concebo-o igualmente como um líquido muito sutil, comparando-o com o terceiro [...]”; “[...] admito só mais um terceiro, a saber o elemento terra, cujas partes julgo serem tão mais grossas e se moverem tão menos depressa em comparação às do segundo, como estas em comparação às do primeiro” (DESCARTES, 2015, p. 59).

Já na sua obra posterior, *Princípios da filosofia*, Descartes aprimora sua concepção e ressalta que:

[...] podemos considerar que encontramos na matéria duas formas diferentes, e que podem ser consideradas como as formas dos dois primeiros elementos do mundo visível. A primeira é que essa fricção obrigou-a a separar-se das outras partículas da matéria quando se arredondaram e, movendo-se com tanta velocidade que ao encontrar-se com outros corpos, a simples força da sua agitação é suficiente para ser friccionada e dividida por eles numa infinidade de partículas, adquirindo tal figura que preenchem sempre e de forma exata todos os espaços ou pequenos intervalos à volta dos seus poros. A segunda é a restante matéria, cujas partículas são redondas e pequeníssimas comparadas com os corpos que vemos na Terra; apesar de tudo, têm alguma quantidade determinada, de modo que podem dividir-se noutras menores. E haverá uma terceira forma nalgumas partes da matéria, isto é, naquelas que devido à sua espessura e figuras não podem mover-se tão facilmente como as precedentes. Procurarei demonstrar que todos os corpos deste mundo visível se formam de três formas presentes na matéria como três elementos diversos, a saber: o Sol e as estrelas fixas têm a forma do primeiro destes elementos, os céus a do segundo, e a Terra, os planetas e os cometas a do terceiro. (DESCARTES, 2007, p. 115-116).

O “segundo elemento” referia-se às “partículas sólidas maiores, tais como as que constituem o solo; uma matéria mais sutil resultante do arredondamento das partículas sólidas, e que seria constituída por partículas esféricas muito pequenas” (MARTINS, 1994, p. 82). O “primeiro elemento” corresponderia a algo ainda menor, que ocuparia todo espaço por esses outros tipos de matéria (MARTINS, 1994, p. 82).

Martins (1994) especifica que:

Nessa teoria, a rotação da matéria nos redemoinhos produz uma separação das partículas de diferentes tamanhos: as menores se concentram no centro dos turbilhões. Assim, no centro de cada gigantesco redemoinho, forma-se um espaço redondo, ocupado apenas pelo “primeiro elemento” – a matéria com as menores partículas. Todas as partículas estão sempre se movendo, e as menores são as que têm um movimento mais rápido. Descartes compara esse primeiro elemento a um fogo, cujas partículas estão permanentemente se movendo com grande velocidade. (MARTINS, 1994, p. 83).

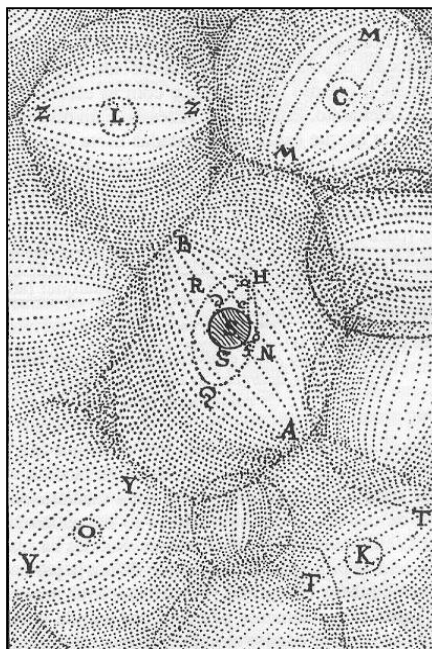
Nesse sentido, o processo de formação das estrelas teria iniciado. Cada turbilhão ocuparia um lugar semelhante ao nosso Sistema Solar, e na região central destes turbilhões haveria uma estrela constituída por pequenas partículas referentes ao “primeiro elemento”.

O segundo elemento é descrito como um tipo de líquido que estaria ocupando quase todo o volume do turbilhão. Este elemento apresentaria partículas arredondadas e escorregadias entre si, porém as mesmas não eram iguais, pois difeririam em tamanho. As esferas menores estariam localizadas nas proximidades do centro e apresentariam uma velocidade de rotação maior. Contrariamente, os círculos mais afastados do centro demandariam de um tempo maior para concluir uma volta.

Já o “terceiro elemento” estaria situado na superfície da estrela e, devido ao seu aspecto escuro formando uma espécie de camada, seria o responsável pelas manchas solares. Estas poderiam aumentar ou diminuir em decorrência da agitação contínua do primeiro elemento, que estaria em constante colisão com esta camada do terceiro elemento, porém, simultaneamente estaria trazendo mais partículas irregulares para a superfície (MARTINS, 1994, p. 83).

Os vórtices concebidos por Descartes podem ser visualizados na Figura 1.

Figura 1 - Os vórtices de Descartes



Fonte: Descartes (2005, p. 101).

A teoria cosmogônica de Descartes trouxe à luz explicações sobre a origem e a dinâmica dos corpos celestes, desde as denominadas “estrelas novas” (estrelas que apresentam bruscas variações de luminosidade) até a formação do Sistema Solar. Os planetas estariam girando em torno de uma estrela central em uma região onde as partículas do segundo elemento estariam



detendo o mesmo grau de “força” que o planeta, ou seja, “se o planeta se aproxima um pouco mais do centro, ele entra em contato com as partículas menores e que possuem uma agitação mais forte. Adquire, então, um movimento maior e se afasta do centro.” (MARTINS, 1994, p. 84).

Para fornecer esclarecimentos à formação do Sistema Solar, Descartes propôs a existência de mais de dez turbilhões próximos uns dos outros, porém com tamanhos distintos. Nos menores de todos os turbilhões, as estrelas centrais se recobririam primeiro com uma casca opaca e seriam capturadas pelos turbilhões próximos, que aumentariam de tamanho e os turbilhões médios dariam origem aos planetas (MARTINS, 1994, p. 84-85).

Como sinalizado, a teoria dos vórtices de Descartes consistia em um sistema de proposições essencialmente qualitativas, em que eram empregados conceitos de pressão e ideias semelhantes, que eram conceitos dinâmicos disfarçados. Descartes também buscou fornecer uma possível causa para a gravidade, ou seja, para a queda dos corpos próximos à superfície terrestre:

Agora, porém, desejo que considereis o que é a gravitação desta Terra, ou seja, a força que une todas as partes dela e faz todas tenderem para o seu centro, conforme cada qual seja mais ou menos volumosa e sólida, o que nada mais é do que apenas isto: que as partes do pequeno espaço celeste que a cerca, girando mais depressa do que as partes dela em torno de seu centro, também tendem, com muito mais força, a se afastar dela e, por conseguinte, a empurrá-las de volta para lá. (DESCARTES, 1927, apud JAMMER, 2011, p. 139).

Em outras palavras, Descartes considerou que o próprio vórtice da Terra seria capaz de produzir a gravidade por meio do argumento de que um líquido se movendo em círculos teria suas partículas afastadas do centro, tendendo a se movimentar em linha reta. Ao movimentarem-se mais rapidamente, haveria uma tendência maior deste afastamento ocorrer. Se houvesse um líquido em alta rotação, contendo no seu interior partículas com rotação mais lenta, tais partículas teriam menor tendência de se afastar do centro e seriam empurradas pelo líquido para a região central. Desse modo, era possível explicar os acontecimentos que se sucediam nas proximidades da Terra, ou seja, concebia-se que, enquanto o segundo elemento do vórtice terrestre estivesse girando depressa, os corpos terrestres, por sua vez, estariam girando lentamente em torno do eixo da Terra, e por isso poderiam ser empurrados pelo material do vórtice em direção à Terra (MARTINS, 1998, p. 90).

A gravitação não passava de um movimento descendente da matéria terrestre, uma espécie de turbulência antiperistáltica de *plenum*. Os corpos terrestres eram pressionados para o centro do vórtice – ou seja, a Terra – pelos componentes etéreos que flutuavam no turbilhão. Portanto, a gravitação não era uma tendência inerente à matéria, e sim uma repulsão ou uma reação exercida pelas partículas etéreas que se

afastavam no centro dos vórtices. A pedra caía na Terra porque devia dar espaço às partículas etéreas que, em virtude de seu movimento circular, afastavam-se da superfície terrestre. Se essa matéria etérea em rotação veloz não circundasse a Terra, ou se fosse presumido que a Terra estava mergulhada no vácuo, todos os corpos que não estivessem firmemente presos ao solo seriam lançados para fora, em decorrência do movimento circular a que ficariam constantemente sujeitos. (JAMMER, 2011, p. 140).

A teoria de Descartes é complexa e bem elaborada, pois através de um sistema único de princípios mecânicos, é possível tecer explicações lógicas sobre os fenômenos da natureza. Contudo o contexto histórico no qual Descartes estava inserido exigia um embasamento matemático, ou seja:

Ela não era uma teoria com base matemática, e toda a física estava, naquela época, passando por uma reformulação que exigia que as teorias permitissem fazer cálculos e previsões quantitativas. Embora o próprio Descartes fosse um importante matemático, sua física era praticamente qualitativa, o que acabou deixando muitos pontos vulneráveis em seu modelo dos turbilhões. (MARTINS, 1994, p. 86).

Apesar da aceitação desfavorável mesmo por parte dos cartesianos, antes do advento da teoria newtoniana<sup>1</sup>, é notável o trabalho de Descartes em desenvolver um esquema conceitual que, com efeito, buscava unir a gravitação terrestre e o movimento cósmico dos planetas, movendo-se em seu vórtice solar (JAMMER, 2011, p. 141).

### 1.1.2 O conceito de movimento para Descartes

O movimento para Descartes não era considerado um processo, mas sim um “estado”, ou seja, o movimento retilíneo uniforme era entendido como um “estado”, do mesmo modo que o repouso.

Estando no estado de repouso, um corpo não conseguirá se mover por si próprio a menos que ele seja impelido por uma causa externa. Contudo, se o corpo estiver em estado de movimento, este continuará a se mover eternamente. Os corpos que se movem em círculos, por sua vez, tendem a se afastar do centro dos círculos que estão descrevendo.

O movimento para Descartes, portanto, está submetido a três leis compreendidas como leis da natureza:

A primeira lei da natureza: cada coisa permanece no seu estado se nada o alterar; assim, aquilo, que uma vez foi posto em movimento continuará sempre a mover-se [...]. A segunda lei da natureza: todo corpo que se move tende a continuar o seu movimento em linha reta [...]. A terceira lei: se um corpo que se move encontrar outro mais forte, o seu movimento não diminui em nada; se encontrar um corpo mais fraco,

---

<sup>1</sup> Isaac Newton criticou fortemente as ideias cartesianas e procurou desenvolver um novo e revolucionário modo de pensar as interações entre os corpos.

que consiga mover, só perderá o movimento que lhe transmitir (DESCARTES, 2007, p. 77-79).

Descartes também foi responsável por propor o princípio de conservação do movimento.

Ademais:

Ele foi o criador da Geometria Analítica e o primeiro a anunciar o princípio da inércia ao escrever que Deus havia criado uma quantidade definida de movimento retilíneo em cada direção, de modo que um corpo não podia alterar sua direção de movimento, a não ser adquirindo ou perdendo movimento através de outro corpo (PIRES, 2001, p. 172).

Nesse sentido, pelo exposto, é possível encontrar semelhanças entre o princípio proposto por Descartes e a primeira lei de Newton, ou lei da inércia, publicada mais de quatro décadas após a publicação de Descartes. Contudo, em seu artigo intitulado *Estado de repouso e estado de movimento: uma revolução conceitual de Descartes* (2012), Martins salienta que não é adequado referir-se à lei de inércia de Descartes, uma vez que o mesmo não empregou esse termo em suas obras e o entendimento que ele tinha a respeito da “inércia” não fugia do sentido comum que ela possuía na época. Desse modo, é conveniente adotar a expressão “conservação do movimento” para sintetizar as concepções de Descartes.

Jammer (2011, p. 137), no entanto, ressalta que a lei da inércia foi proposta ainda em 1585 por Battista Benedetti (1530-1590) como parte de sua teoria do ímpeto. Devido a esse princípio:

Descartes julgou que seria possível eliminar a força como conceito físico separado. Todos os fenômenos físicos [...] deveriam ser deduzidos de dois pressupostos cinemáticos fundamentais: a lei da conservação da quantidade de movimento – que, para ele, – não era um corolário do princípio da inércia, mas seu verdadeiro conteúdo físico – e a teoria dos vórtices giratórios de éter (JAMMER, 2011, p. 138).

A força, para Descartes era apenas uma aparência fictícia, pois a matéria deveria ser desprovida de quaisquer entidades espirituais, bem como de todas as formas ou tendências inerentes, apresentando como características somente extensão e movimento eterno (JAMMER, 2011, p. 138). Tal argumento justificava para Descartes a impossibilidade de ação a distância, pois conceber a possibilidade de forças estarem atuando a distância significaria dotar as partículas de propriedades divinas e ocultas.

## 1.2 ISAAC NEWTON: DA INFÂNCIA À PUBLICAÇÃO DOS PRINCÍPIA

Isaac Newton (1642–1727) nasceu em Woolsthorpe, na Inglaterra. Aos 12 anos, Newton ingressou na escola secundária de Grantham (WESTFALL, 1995, p. 11). Após o término dos estudos básicos, Newton foi chamado pela sua mãe a retornar a Woolsthorpe, com o propósito de ajudá-la na administração de sua propriedade rural, porém tal iniciativa consistiu em um desastre, pois ele não demonstrou interesse e dedicação aos afazeres rurais.

No começo de junho de 1661, Newton mudou-se para Cambridge, onde apresentou-se no Trinity College, considerado o mais famoso colégio da Universidade de Cambridge. Em Cambridge, Newton adquiriu um caderno, no qual provavelmente registrou os frutos de suas leituras do currículo oficial. Esse caderno de apontamentos foi denominado *Quaestiones quaedam philosophicae* (Certas questões filosóficas) e, embora não se saiba com exatidão a data de início dos escritos, muitas considerações sugerem algum momento não muito distante do final de 1664. Segundo Westfall (1995, p. 27):

A maioria das anotações das “Quaestiones” compõe-se de textos originados nas leituras de Newton. O todo, entretanto, tem a marca inconfundível de seu autor. Numa medida notável, as “Quaestiones” anteciparam os problemas em que se centraria em sua carreira científica e o método pelo qual iria atacá-los. Quanto a este, o título “Quaestiones”, que descreve não só o conjunto de títulos, mas também seu conteúdo, sugere o questionamento ativo que estava por trás do processo de investigação experimental de Newton. Muitas das perguntas eram dirigidas aos autores que estava lendo, cujas opiniões ele não se limitava a registrar passivamente.

Em 1664 Newton foi selecionado para uma bolsa de estudos, garantindo assim a sua permanência no Trinity College por mais quatro anos irrestritos. No verão de 1665, uma calamidade assolou muitas regiões da Inglaterra, inclusive Cambridge, o que acarretou no fechamento temporário da instituição, fazendo com que Newton se refugiasse em Woolsthorpe. Nesse período, “os primeiros botões de sua genialidade desabrocharam em particular, silenciosamente observados apenas por seus próprios olhos, nos anos de 1664 a 1666, seus *anni mirabiles*” (WESTFALL, 1995, p. 37).

É nessa época que obtém seus primeiros resultados importantes em matemática (teorema binominal, o método das fluxões, que é origem do cálculo diferencial e integral etc.) e física (decomposição da luz solar nas cores do espectro ao atravessar um prisma, teoria das cores dos corpos naturais, primeiras ideias sobre a gravitação universal, leis das colisões elásticas e inelásticas, lei de ação e reação, expressão da aceleração centrípeta, lei do paralelogramo das acelerações (ASSIS, 1998, p. 38-39).

Ainda sobre esse mesmo período, Newton escreve no final de sua vida que:

No final do ano de 1665, descobri o método de aproximação a uma série desse tipo & a regra para reduzir qualquer potência de qualquer binômio a tal série. No mesmo ano, em maio, descobri o método das tangentes de Gregory & Slusius &, em novembro obtive o método direto das fluxões, & no ano seguinte, em janeiro, a teoria das cores, & em maio seguinte desvendei o método inverso das fluxões. & no mesmo ano, comecei a pensar na gravidade como se estendendo até a órbita da Lua & (depois de descobrir como calcular a força com que [um] globo girando dentro de uma esfera pressiona a superfície da esfera), a partir da regra de Kepler de que os períodos dos planetas estão numa proporção sesquiáltera com suas distâncias do centro de suas órbitas, deduzi que as forças que mantêm os planetas em suas órbitas devem [variar] reciprocamente com o quadrado da distância do centro em torno do qual eles giram: & a partir disso, comparei a força necessária para manter a Lua em sua órbita com a força da gravidade na superfície da Terra, anos da peste, 1665-1666. Pois, nessa época, eu estava no auge da minha fase de invenção & me interessava mais pela matemática & pela filosofia do que em qualquer ocasião posterior. (WESTFALL, 1995, p. 39).

Em 1668 Newton foi agraciado com o título de *Master of Arts*, o que foi essencial para que ele fosse eleito representante da Universidade de Cambridge no parlamento inglês em 1669. Nesse mesmo ano ele iniciou sua atuação como professor lucasiano de matemática. Após 35 anos de permanência no Trinity College, Newton passou a residir em Londres em 1696, ao ser nomeado Superintendente da Casa da Moeda. Já em 1703, Newton elegeu-se presidente da Royal Society, posição que ocupou até a sua morte.

Do outono de 1684 à primavera de 1687, Newton dedicou-se à redação do livro *Princípios Matemáticos da Filosofia Natural*, que foi publicado em 5 de julho de 1687. Também conhecido como *Principia* “[...] foi um dos mais notáveis acontecimentos em toda a história da Física. Neles se encontram sintetizados milhares de anos de luta pela compreensão do sistema de mundo, dos princípios de força e movimento e da física dos corpos que se movem em meios diferentes” (COHEN, 1967, p. 159). Os *Principia* “redirecionariam a vida intelectual de Newton, que a teologia e a alquimia haviam dominado por mais de uma década” (WESTEFALL, 1995, p. 162).

Os conteúdos contidos nos *Principia* permaneceram soberanos por mais de duzentos anos. A conceituada obra é dividida em três partes ou livros, sendo o livro I destinado aos desenvolvimentos dos princípios gerais que regem a dinâmica dos corpos em movimento, o livro III refere-se à aplicação destes princípios ao mecanismo do universo na tentativa de unificar a física terrestre à física celeste, sem, no entanto, tecer qualquer hipótese acerca da causa da atração gravitacional, e o livro II trata da mecânica dos fluidos, em que busca sinalizar as fragilidades da teoria dos vórtices de Descartes e também aborda aspectos da teoria ondulatória e de outras questões da Física.

No prefácio à primeira edição, disponível no livro I, Newton esclarece que:

[...] pelas proposições matematicamente demonstradas nos Livros anteriores, no terceiro [Livro III: O Sistema de Mundo] derivo dos fenômenos celestes as forças e gravidade com as quais os corpos tendem para o Sol e para os vários planetas. Então, dessas forças, por outras proposições que também são matemáticas, deduzo os movimentos dos planetas, dos cometas, da Lua e do mar. Gostaria que pudéssemos derivar o resto dos fenômenos da Natureza dos princípios mecânicos pelo mesmo tipo de raciocínio, pois, por muitas razões, sou induzido a suspeitar de que todos eles possam depender de certas forças pelas quais as partículas dos corpos, por algumas causas até aqui desconhecidas, ou são mutuamente impelidas umas em direção às outras e se ligam com formas regulares, ou são repelidas e se afastam umas das outras. Sendo desconhecidas essas forças, os filósofos têm tentado em vão a investigação da Natureza; mas espero que os princípios aqui expostos tragam alguma luz, seja a esse ou algum outro método mais verdadeiro de filosofar (NEWTON, 2016, p. 14).

A partir desse enunciado é possível perceber que a matemática, para Newton, era uma ferramenta essencial para atuar na filosofia natural, pois sua esperança residia no fato de que todos os fenômenos naturais pudessem ser explicados em termos de mecânica matemática. Para ele “[...] o procedimento da ciência consiste de duas partes: a dedução das forças a partir de certos movimentos, e as demonstrações de outros movimentos a partir de forças assim conhecidas” (BURTT, 1991, p. 169).

Em outras palavras, Newton concebia a matemática como:

[...] unicamente um método para a solução de problemas apresentados pela experiência perceptível. Era pouco interessado em raciocínios matemáticos que não fossem destinados à aplicação de fenômenos físicos; essencialmente considerava-os um instrumento útil para a redução de fenômenos físicos. (BURTT, 1991, p. 172).

Conforme Burt (1991, p. 171) ressalta “Newton foi o herdeiro natural dos mais importantes e férteis movimentos no desenvolvimento anterior da ciência, o empírico e o experimental, como também o dedutivo e o matemático”. Sendo que, caso fosse possível separar os dois aspectos de seu método, poderia afirmar que sua aptidão era mais empírica que matemática.

### **1.2.1 A concepção de gravidade para Newton**

Os estudos de Newton sobre a gravitação, que o levaram à formulação da lei da Gravitação Universal (GU), apresentam uma grande riqueza conceitual e matemática e, ao se tratar de sua história, percebe-se que a mesma apresenta versões distintas difundidas na literatura, que conduzem a diferentes visões de mundo. No artigo intitulado *Os caminhos de Newton para a Gravitação Universal: uma revisão do debate historiográfico entre Cohen e Westfall*, os autores (TEIXEIRA; PEDUZZI; FREIRE JR, 2010) sinalizam a existência de duas versões sobre os caminhos percorridos por Newton para chegar à GU. Uma delas considera que

Newton teria elaborado a lei da GU no decorrer dos *anni mirabili*, embora tivesse publicado anos mais tarde no *Principia*. Já a outra defende que a lei da GU foi desenvolvida por Newton a partir das leis de Kepler.

Outra ideia que também é bastante disseminada nos livros didáticos e de divulgação científica diz respeito à anedota da maçã, em que a queda desta teria desencadeado em Newton o entendimento sobre a gravidade. Tal história sofre algumas modificações dependendo da fonte consultada, porém comumente apresenta-se que este episódio se deu em meio aos *anni mirabili*, período em que Newton se manteve recluso na propriedade rural em Woolsthorpe. No artigo “A maçã de Newton: história, lendas e tolices”, Martins (2006) discute sobre essas variações, evidenciando os inúmeros erros conceituais encontrados, bem como demonstra as implicações negativas para o ensino de Física.

Desde a Antiguidade os filósofos discutiam sobre a queda dos corpos e também já empregavam a palavra “gravidade” mais de um século antes de Newton. Contudo,

A palavra gravidade significava originalmente apenas a propriedade dos corpos pesados (também chamados de “graves”), ou seja, aquilo que faz com que eles caiam ou empurrem para baixo. Ninguém pensava, na Antiguidade, que a gravidade fosse um efeito produzido pela Terra atraindo os corpos. A palavra “gravidade” não transportava consigo uma *interpretação* ou *explicação* da queda dos corpos (MARTINS, 2006, p. 171).

A concepção de Newton acerca da gravitação foi bastante explanada, quando comparado aos seus escritos sobre o conceito de força. Entretanto, tanto no plano histórico quanto no metodológico, este constructo esteve intimamente relacionado com os estudos newtonianos a respeito da gravitação. Essa relação “[...] é histórica porque a exposição newtoniana das ideias fundamentais da mecânica pretendeu servir, acima de tudo, como base axiomática para as deduções matemáticas dos fenômenos gravitacionais do sistema solar” (JAMMER, 2011, p. 155).

Costuma-se atribuir a Newton a ideia de forças gravitacionais estarem atuando a distância. Todavia, “[...] para ele, pelo menos nos seus trabalhos iniciais, não era concebível uma ação a distância. Seus estudos sobre óptica, especialmente, levaram-no a pensar na necessidade de um meio [etéreo] para explicar a propagação da luz.” (BURTT, 1991, p. 209). Na segunda carta escrita à Richard Bentley <sup>2</sup>(1662-172), Newton expressou seu ponto de vista:

---

<sup>2</sup>Essa correspondência se deu após a publicação da obra-prima de Newton, *Princípios Matemáticos da Filosofia Natural*.

É inconcebível que a matéria bruta, inanimada, opere sem a mediação de alguma outra coisa, não-material, sobre outra matéria e a afete sem contato mútuo, como deve ocorrer se a gravitação, no sentido de Epicuro, for essencial e inerente a ela. E é por essa razão que desejei que não me fosse atribuída a gravidade inata. Para mim, é absurdo que a gravidade devesse ser inata, inerente e essencial à matéria, de modo que um corpo pudesse atuar sobre o outro à distância, através de um vácuo, sem a mediação de qualquer outra coisa, por cujo intermédio sua ação e força pudesse ser transmitida de um corpo a outro. Absurdo tão grande que eu creio que nenhum homem dotado de uma faculdade de pensamento competente em questões filosóficas pode jamais cair nele. A gravidade deve ser causada por um agente que atua constantemente de acordo com certas leis; mas, se esse agente é material ou imaterial é uma consideração que deixo para os meus leitores. (NEWTON, apud BURTT, 1991, p. 209).

Apesar de, inicialmente, rejeitar tal ideia, Newton também refutava a concepção cartesiana do meio etéreo, como um fluido denso e compacto, que seria capaz de equilibrar os planetas em suas órbitas pelo seu movimento de vórtice. Nos *Principia* estão contidos os argumentos empregados por Newton para refutar a teoria do vórtice do movimento planetário.

Para ele, “se o denso fluido etéreo estiver em repouso, em vez de estar executando movimentos giratórios, sua resistência tornará os movimentos celestes contínuos e regulares” (BURTT, 1991, p. 211). Desse modo, na tentativa de propor uma explicação mais eloquente, que substituísse esse fluido, Newton escreveu uma carta para Henry Oldenburg (1618-1677), em 1675, em que externalizou sua primeira concepção de éter, salientando o papel e a função da hipótese:

Se tivesse de presumir uma hipótese, seria esta, se proposta de forma mais geral, de modo a não determinar o que é a luz; além de ser ela algo capaz de estimular vibrações no éter; pois assim ela tornar-se-á geral e abrangerá outras hipóteses, de modo a deixar pouco espaço para a invenção de novas hipóteses; por conseguinte, em vista de haver observado que as mentes de certos grandes virtuosos operam muito em função de hipóteses, como se meu discurso necessitasse de uma hipótese pela qual lhes fosse explicada alguma coisa e em vista de haver descoberto, quando não conseguia fazê-los compreender-me quando falava de forma abstrata a respeito da natureza da luz e das cores, que sua compreensão era imediata se eu ilustrasse meu discurso como uma hipótese; por essa razão, achei apropriado enviar uma descrição das circunstâncias desta hipótese, em que mantenho, tanto quanto possível, a ilustração dos papéis que envio em anexo. (NEWTON, apud BURTT, 1991, p. 211-212).

No caderno de apontamentos *Quaestiones Quaedam Philosophicae (Algumas Questões Filosóficas)*, Newton registrou suas primeiras especulações sobre a gravidade. Seguindo a corrente mecanicista da época, sustentada pela premissa de que os movimentos dos corpos só poderiam ser explicados por colisões, pode-se inferir que:

Newton era um plenista. Ao postular um éter sutil, um meio imperceptível aos sentidos, mas capaz de transmitir efeitos por pressão e impacto, os filósofos mecanicistas elaboraram uma convenção que livrou a filosofia natural das incompreensíveis influências ocultas agindo a distância (por exemplo, a atração magnética e os efeitos lunares). Para Newton, somente tal éter mecânico, permeando o universo todo e fazendo-o pleno, tornara-se uma hipótese inquestionável. Através



dele, ele podia explicar a gravidade e, até certo ponto, a coesão entre as partículas da matéria” (DOBBS, 1982 apud GARDELLI, 2004, p. 23).

Em uma de suas primeiras especulações sobre a gravidade, Newton supôs que esta “[...] poderia ser produzida por um tipo de corrente de éter que viria do espaço em direção à Terra, com grande velocidade, impulsionando os corpos para baixo” (MARTINS, 1998, p. 80). Porém, na tentativa de eliminar o crescente armazenamento de éter no interior da Terra, era preciso conceber a saída deste de alguma forma:

Ele deve subir sob uma forma diferente daquela em que desceu, ou então teria uma força para transportar os corpos para cima, semelhante à que tem que pressioná-los para baixo, e assim não haveria gravidade. Deve subir sob uma consistência mais grosseira do que desce [...] (McGUIRE; TAMNY, 1997, p. 362-363)<sup>3</sup>.

O efeito dessa corrente que estaria subindo seria menor, acarretando no impulso dos corpos para baixo<sup>4</sup>.

Aparentemente, essa suposição fomentou os pensamentos de Newton a respeito de uma possível relação entre a gravidade e a distância entre o centro da Terra, pois considerou que a “corrente que desce se tornará mais grossa à medida que se aproxima da Terra” (NEWTON, apud McGUIRE; TAMNY, 1983, p. 364-365)<sup>5</sup>. Desse modo, se a corrente de éter permanecesse constante e a sua densidade aumentasse na proporção em que ela se aproximasse da Terra (em virtude de estar retida em um espaço menor), a pressão produzida por essa corrente tenderia a aumentar. O peso de um corpo, portanto, próximo à superfície da Terra deveria ser maior do que o do mesmo corpo longe da superfície (NEWTON, apud McGUIRE; TAMNY, 1983, p. 426-427). Este também poderia apresentar uma relação de dependência com a velocidade de queda do corpo, uma vez que, se um objeto estivesse caindo a uma grande velocidade, o efeito da corrente descendente de éter sobre ele deveria ser menor, e o efeito da corrente ascendente deveria ser maior. Nessa perspectiva, seu peso tenderia a diminuir com a velocidade de queda (NEWTON, apud McGUIRE; TAMNY, 1983, p. 428-429).

A concepção de éter concebido no *Quaestiones quaedam philosophicae* passou por muitas reconstruções no decorrer do tempo e a partir de influências oriundas da alquimia, em

---

<sup>3</sup>“For it must descend exceding fast & swift as appeareth by the falling of bodies & exceeding weighty pressure, to y Earth. It must ascend in another forme y it descendeth or else it would have a like force to beare bodys up y’ it hath to press y downe & so there would be no gravity. It must ascend in a grosser consistence y’ it descends [...]” (NEWTON, apud McGUIRE; TAMNY, 1983, p. 362-363).

<sup>4</sup>“Newton imaginava que o éter poderia subir mais lentamente do que em sua descida, mas nesse caso ele deveria estar mais denso, e mesmo com uma velocidade menor poderia produzir um empurrão para cima igual ao empurrão para baixo. Na época em que escreveu essas especulações, no entanto, Newton não procurou fazer nenhuma análise quantitativa do modelo” (MARTINS, 1998, p. 120).

<sup>5</sup>“The stream descending will grow thicker as it comes nearer to the Earth” (NEWTON, apud McGUIRE; TAMNY, 1983, p. 364-365).

meados do ano de 1670, o éter newtoniano começou a admitir propriedades de um éter vital. Essas características foram ressaltadas em seu tratado denominado *Das leis e processos óbvios da natureza na vegetação*.

[...] o éter é pressionado e, com isso, é continuamente forçado a descer para a Terra, de onde veio o ar, e ali é gradativamente condensado e entremeado com os corpos que lá encontra, e promove as ações deles, sendo um fermento suave. Mas, em sua descida, ele se esforça por carregar os corpos que atravessa, isto é, torna-os pesados, e essa ação é promovida pela tenaz constituição elástica mediante a qual ele exerce maior controle sobre as coisas que estão em seu caminho; e também por sua imensa rapidez. Tem que descer tanto éter quanto ar e exalações sobem, e portanto, sendo o éter muitos graus mais fino e ralo do que o ar (como é o ar comparado com a água), ele deve descer com muito mais rapidez e, por conseguinte, ter muito mais eficácia para empurrar os corpos para baixo do que tem o ar para empurrá-los para cima (NEWTON, apud COHEN; WESTFALL, 2002, p. 369-370).

Tal inferência mostra-se compatível com os métodos da natureza para produzir a circulação de todas as coisas, ou seja, a Terra assemelha-se a um vegetal inanimado, que suga o sopro etéreo para sua manutenção diária e, posteriormente torna a transpirá-lo. Esse processo, assim como todos os seres vivos, possuía seus tempos de início, juventude, velhice e perecimento. Desse modo, a Terra precisaria de um suprimento constante e renovado de éter, sendo que é provável que o mesmo tenha sido considerado apenas um veículo de algum espírito mais ativo. E, esse espírito provavelmente seria o corpo da luz, porque nenhuma substância permeia todas as coisas de maneira tão indiscriminada, sutil e veloz quanto a luz, e nenhum espírito esquadrinha os corpos de maneira tão sutil, penetrante e rápida quanto o espírito vegetal (NEWTON, apud COHEN; WESTFALL, 2002, p. 369-370).

Em 1672, Newton escreveu algumas considerações sobre a possível causa da gravidade, tendo como título *Uma hipótese explicando a propriedade da luz*. Neste ensaio, constava a hipótese de que:

A Terra estaria cercada e imersa por um certo tipo de éter, e teria o poder de condensar esse éter. Por esse motivo, o éter que circunda a Terra desceria, e seria novamente condensado, e assim por diante. O fluxo de éter em direção à Terra arrastaria os corpos, produzindo gravidade. Da mesma forma, o Sol também absorveria grande quantidade de éter, produzindo assim uma atração indireta sobre os planetas” (COHEN, 1958 apud MARTINS, 1998, p. 83).

Já em 1675, cinco anos após ter exposto sua compreensão acerca de um éter vital, Newton submeteu esse mesmo artigo sob o título *Uma hipótese explicativa das propriedades da luz sobre as quais discorrem meus diversos artigos*, em forma de carta, no início de dezembro de 1675, a Henry Oldenburg (1618-1677), secretário da Royal Society de Londres e fundador e editor do jornal *Philosophical Transactions*. Nessa correspondência, os fenômenos

foram descritos como sendo decorrentes de movimentos violentos dos “espíritos etéreos”, as partículas de éter foram apontadas como princípios explicativos de processos físicos e até biológicos. A gravitação também foi interpretada pelo mecanismo das partículas de éter (JAMMER, 2011, p. 173).

Essa ponderação trouxe à luz novas ponderações sobre o éter, bem como descreveu em detalhes os movimentos gerados a partir do atrito de um bastão de vidro com pedaços pequenos de papéis. Nas palavras de Newton:

Ora, não posso imaginar de onde viriam todos esses movimentos irregulares, a menos que seja de algum tipo de matéria sutil que fique condensada no vidro e seja rarefeita pela fricção, tal como a água é rarefeita em vapor pelo calor, e que, nessa rarefação, seja difundida pelo espaço em torno do vidro a uma grande distância, e levada a se mover e a circular de várias maneiras e, por conseguinte, a acionar os papéis, até retornar novamente para o vidro e ser recondensada nele (NEWTON, 1717 apud COHEN; WESTFALL, 2002, p. 33).

Pode-se presumir que Newton considerou a atração e a repulsão elétrica como consequências da condensação e rarefação de um dos hipotéticos espíritos etéreos (BURTT, 1991, p. 213).

Após aproximadamente três anos Newton escreveu uma carta e a enviou a Robert Boyle (1627-1691), filósofo, químico e físico irlandês, em 28 de fevereiro de 1679. Nessa correspondência a extravagância e ousadia foram suprimidas, cedendo espaço a uma explicação da gravidade, embora ainda em termos etéreos, mais simples e menos fantasiosa dos fatos. Newton empenhou-se para se desvincular de todos os elementos mágicos e extravagantes:

[...] suponho que há, difundida por toda parte, uma substância etérea, capaz de contração e dilatação, fortemente elástica e, em uma palavra, muito parecida com o ar em todos os aspectos, mas muito mais tênue. Suponho que esse éter permeie todos os corpos volumosos, mas de modo a permanecer, entretanto, mais rarefeito em seus poros do que em espaços livres, e tanto mais rarefeito quanto menos poros houver<sup>6</sup>.  
[...] suponho o éter dentro dos corpos mais rarefeito, e mais denso fora deles, não para terminarem em superfícies matemáticas, mas para se misturarem gradualmente um com o outro, passando o éter externo a ficar mais rarefeito, e o interno mais denso, à pouca distância das superfícies do corpo, e passando por todos os graus intermediários de densidade nos espaços intermediários (NEWTON, carta a Robert Boyle, 28 de fevereiro de 1679)<sup>7</sup>.

<sup>6</sup> “[...] suppose that there is diffused through all places an ethereal substance capable of contraction & dilatation, strongly elastic, & in a word much like air in all respects, but far more subtle. I suppose this æther pervades all gross bodies, but yet so as to stand rarer in their pores than in free spaces, & so much the rarer as their pores are less” (NEWTON, carta a Robert Boyle, 28 de fevereiro de 1679).

<sup>7</sup> “I suppose the rarer æther within bodies & the denser without them, not to be terminated in a mathematical superficies but to grow gradually into one another: the external æther beginning to grow rarer, & the internal to grow denser at some little distance from the superficies of the body, & running through all intermediate degrees of density in the intermediate spaces” (NEWTON, carta a Robert Boyle, 28 de fevereiro de 1679).

Ao término da correspondência, a ideia de éter como algo graduado em densidade de acordo com a sua distância dos poros centrais dos corpos sólidos sugeriu a Newton uma explicação mais simplificada para a existência da gravidade:

Vou apresentar mais uma conjectura, que veio à minha mente enquanto estava escrevendo esta carta; é sobre a causa da gravidade. Para isso, suporei que o éter consiste em partes que diferem uma da outra em sutileza, por graus indefinidos; que nos poros dos corpos há menos do éter grosseiro, em proporção ao mais fino, do que nos espaços abertos; e conseqüentemente que no grande corpo da Terra há muito menos do éter grosseiro, em proporção ao mais fino, do que nas regiões do ar; e que o éter mais grosseiro no ar afeta as regiões superiores da Terra, e o éter mais fino na Terra as regiões mais baixas do ar, de tal modo que do topo do ar até a superfície da Terra, e da superfície da Terra até o seu centro, o éter é insensivelmente cada vez mais fino. Imagine agora qualquer corpo suspenso no ar ou jazendo sobre a Terra, e o éter sendo por hipótese mais grosso nos poros que estão nas partes superiores do corpo do que naqueles [poros] que estão em suas partes inferiores, e esse éter mais grosseiro sendo menos apto a se alojar naqueles poros do que o éter inferior mais fino, ele tentará sair e dar lugar ao éter mais fino de baixo, o que não pode ocorrer sem que os corpos desçam para dar lugar acima deles para que ele [o éter mais grosseiro] saia (NEWTON, carta a Robert Boyle, 28 de fevereiro de 1678)<sup>8</sup>.

Em outras palavras, o éter era concebido com uma densidade variável que acarretaria em um empuxo, empurrando os corpos para a Terra.

De acordo com Jammer (2011), a tentativa newtoniana de deduzir o fenômeno da gravitação “[...] baseou-se, sobretudo, em dois pressupostos: uma estratificação de partículas etéreas elásticas de sutileza continuamente variável, circundando e permeando a Terra, e sua tendência irreduzível para a dilatação.” (2011, p. 173).

A postura adotada por Newton ia ao encontro dos pressupostos da cosmologia cartesiana, uma vez que, esta era, desde 1644, a doutrina predominante entre os membros da comunidade científica da Europa. Contudo, o próprio Newton não estava convencido, pois ele ressalta que “[...] a verdade é que minhas ideias sobre coisas dessa natureza são tão mal digeridas, que eu mesmo não me sinto satisfeito com elas”<sup>9</sup> (NEWTON, carta a Robert Boyle, 28 de fevereiro de 1679).

---

<sup>8</sup> “*I shall set down one conjecture more which came into my mind now as I was writing this letter. It is about the cause of gravity. For this end I will suppose ether to consist of parts differing from one another in subtilty by indefinite degrees: That in the pores of bodies there is less of the grosser æther in proportion to the finer than in open spaces, & consequently that in the great body of the earth there is much less of the grosser æther in proportion to the finer than in the regions of the air: & that yet the grosser æther in the Air affects the upper regions of the earth & the finer æther in the earth the lower regions of the air, in such a manner that from the top of the air to the surface of the earth & again from the surface of the earth to the center thereof the æther is insensibly finer & finer. Imagin now any body suspended in the air or lying on the earth: & the æther being by the Hypothesis grosser in the pores which are in the upper parts of the body than in those which are in its lower parts, & that grosser æther being less apt to be lodged in those pores than the finer æther below, it will endeavor to get out & give way to the finer æther below, which cannot be without the bodies descending to make room above for it to go out into*” (NEWTON, carta a Robert Boyle, 28 de fevereiro de 1679).

<sup>9</sup> “*The truth is my notions about things of this kind are so indigested that I am not well satisfied myself in them*” (NEWTON, carta a Robert Boyle, 28 de fevereiro de 1679).

Como é possível perceber, Newton postulou diferentes explicações na tentativa de elucidar, por meio de causas mecânicas, a existência da gravidade, uma vez que, desde o início de sua carreira científica ele demonstrou demasiado interesse em entender como se davam as interações físicas mecânicas. Contudo, cada modelo por ele proposto era dotado de problemas difíceis de serem solucionados, o que, com efeito, contribuiu para que Newton abandonasse, em 1680, seus planos de elaborar e desenvolver modelos mecânicos de éter, iniciando assim a construção de uma nova realidade física baseada no conceito de força de interação a distância entre as partículas de matéria (GARDELLI, 2004, p. 28).

Entender como se constituiu o pensamento de Newton a respeito das interações gravitacionais é uma tarefa essencialmente difícil. Contudo, Martins (1998, p. 85) procura reconstruir a sua concepção da seguinte maneira:

- 1) seria desejável dispor de uma explicação mecânica da gravitação, porém não existe nenhum modelo aceitável;
- 2) é possível e útil utilizar a força inexplicada da gravitação para explicar diferentes fenômenos;
  - (a) a lei da gravitação é justificada pela indução;
  - (b) ela deve ser aceita até que sejam encontradas exceções;
- 3) nesse sentido, pode-se introduzir “ação a distância” na filosofia natural.

Os estudos desenvolvidos por Newton estavam imersos em uma filosofia mecanicista, em que não era suficiente descrever as formulações matemáticas que regiam os fenômenos físicos, mas sim era basilar que se compreendesse e explicasse em termos mecânicos a causa destes fenômenos. Sob essa ótica, pode-se inferir ingenuamente que a contribuição de Newton para o entendimento da natureza tenha sido incompleta, tendo em vista que admitiu a ação a distância e concebeu a gravidade como “qualidade oculta” da matéria.

Além dos *Principia*, outra contribuição essencial de Newton para a Física refere-se ao livro *Óptica*, publicado pela primeira vez em língua inglesa, apresentando quatro edições, sendo a primeira em 1704, e posteriormente em 1717, 1721 e 1730. Em 1706 e 1719, foram publicadas as versões para o latim. Tal obra, apesar de diferir completamente do conteúdo presente no *Principia*, também despertou grande interesse e fascínio, tanto por seus aspectos físicos quanto filosóficos. Nesse livro tem-se:

[...] essencialmente um tratamento experimental dos fenômenos da reflexão e refração da luz, da decomposição da luz branca no espectro ao atravessar um prisma, das cores dos corpos naturais, do arco-íris, do telescópio refletor, das cores produzidas por corpos transparentes delgados e espessos (anéis de Newton), da difração da luz etc. (ASSIS, 1998, p. 41).

De acordo com determinadas passagens presentes no *Principia* de 1687, bem como em fragmentos isolados e descontextualizados, pode-se pensar que Newton aceitou com certa naturalidade a ação a distância, como é possível perceber no seguinte trecho do *Óptica*, de 1706:

Não têm as pequenas partículas dos corpos certos poderes, virtudes ou forças por meio dos quais elas agem a distância não apenas sobre os raios de luz, refletindo-os, refratando-os e inflectindo-os, mas também umas sobre as outras, produzindo grande parte dos fenômenos da natureza? (NEWTON, Questão 31, Livro III, 2002, p. 274).

Na sequência, no entanto, Newton escreveu que:

Pois sabe-se que os corpos agem uns sobre os outros pelas ações da gravidade, do magnetismo e da eletricidade; e esses exemplos mostram o teor e o curso da natureza, e não tornam improvável que possa haver mais poderes atrativos além desses. Porque a natureza é muito consonante e conforme a si mesma. Não examino aqui o modo como essas atrações podem ser efetuadas. O que chamo de atração pode-se dar por impulso ou por algum outro meio que desconheço. Uso esta palavra aqui apenas para expressar qualquer força pela qual os corpos tendem um para o outro, seja qual for a causa. (NEWTON, Questão 31, Livro III, 2002, p. 274).

Já em 1717, na segunda edição em inglês do *Óptica*, Newton resgatou suas primeiras especulações sobre a gravidade, ou seja, ele tentou novamente entender a gravidade por meio da postulação de um éter de densidade variável, que em decorrência dessa variação, um tipo de empuxo estaria sendo gerado, empurrando assim os corpos em direção à Terra:

Não é esse meio muito mais rarefeito dentro dos corpos densos do sol, das estrelas, dos planetas e cometas, do que nos espaços celestiais vazios entre eles? E, ao passar por eles a grandes distâncias, não se torna ele cada vez mais denso, causando assim a gravidade desses grandes corpos um em direção ao outro, e de suas partes em direção aos corpos, esforçando-se todo corpo para ir das partes mais densas do meio para as mais rarefeitas? (Newton, Questão 21, Livro III, 2002, p. 258).

Percebe-se, portanto, que a busca em encontrar explicações mecânicas plausíveis para as interações físicas norteou significativamente os pensamentos de Newton no decorrer de toda sua carreira científica, uma vez que ele chegou a propor o próprio sensório infinito de Deus como mediador das ações físicas, na ausência de algum éter material substancial (GARDELLI, 2004, p. 31). As seguintes passagens representam tal suposição:

O que há em lugares quase desprovidos de matéria, e por que motivo o Sol e os planetas gravitam em direção um ao outro, sem matéria densa entre eles? Por que a natureza não faz nada em vão, e por que razão surge toda essa ordem e beleza que vemos no mundo? Para que servem os cometas, e por que motivo os planetas se movem todos de uma mesma maneira em órbitas concêntricas, enquanto os cometas se movem de todas as maneiras em órbitas muito excêntricas? E o que impede as estrelas fixas de caírem umas sobre as outras? [...] E, sendo essas coisas tratadas corretamente, não se segue do exame dos fenômenos que há um Ser incorpóreo, vivo, inteligente, onipresente, que no espaço infinito (como se fosse em seu sensório) vê as coisas em si mesmas, intimamente, e as percebe completamente, e as compreende inteiramente pela presença imediata delas? [...] E, embora todo passo verdadeiro dado

nessa filosofia não nos conduza imediatamente ao conhecimento da causa primeira, ele nos aproxima dela, e por esta razão deve ser tido em alta conta. (NEWTON, Questão 28, Livro III, 2002, p. 270-271).

Essa uniformidade maravilhosa no sistema planetário deve ser concedida ao efeito da escolha. [...] [Ela] não pode ser senão o efeito da sabedoria e habilidade de um agente poderoso, sempre vivo, que, estando em todos os lugares, é mais capaz por Sua vontade de mover os corpos dentro de Seu sensorio ilimitado, uniforme e assim formar e reformar as partes do Universo, do que nós somos capazes por nossa vontade de mover as partes do nossos próprios corpos. E, todavia, não devemos considerar o mundo como o corpo de Deus, ou as várias partes dele como as partes de Deus. Ele é um Ser uniforme, destituído de órgãos, membros ou partes, e elas são suas criaturas, subordinadas a Ele e subservientes à Sua vontade. (NEWTON, Questão 31, Livro III, 2002, p. 291-292).

Em outros excertos do *Óptica*, Newton defendeu a possibilidade de o movimento universal estar continuamente desvanecendo-se, a ponto de ser necessário haver princípios ativos que restabelecessem esse movimento:

Como, pois, a variedade do movimento que encontramos no mundo está sempre diminuindo, há uma necessidade de conservá-lo e restabelecê-lo por princípios ativos, como a causa da gravidade, em virtude da qual os planetas e os cometas mantêm seus movimentos em suas órbitas e os corpos em queda adquirem um grande movimento. [...] Pois encontramos no mundo muito pouco movimento além do que é devido a esses princípios ativos. E, não fossem esses princípios, os corpos da Terra, dos planetas, dos cometas, do Sol e de todas as coisas que neles existem ficariam frios, congelariam e se converteriam em massas inativas; e toda a putrefação, geração, vegetação e vida cessariam, e os planetas e cometas não se manteriam em suas órbitas. (NEWTON, Questão 31, Livro III, 2002, p. 289).

Sendo que as razões desses princípios ativos poderiam ser identificadas por indivíduos interessados em saber a respeito, por meio da sugestão de uma base metodológica que os orientariam:

Considero esses princípios, não como qualidades ocultas, que se supõe resultar das formas específicas das coisas, mas como leis gerais da natureza, em virtude das quais as coisas são formadas, a verdade deles aparecendo para nós pelos fenômenos, embora suas causas ainda não estejam descobertas. Pois estas são qualidades manifestas, e apenas suas causas estão ocultas. E os aristotélicos deram o nome de qualidades ocultas não às qualidades manifestas, mas apenas às que eles supunham estar escondidas nos corpos e que seriam as causas desconhecidas dos efeitos manifestos. Tais como seriam as causas da gravidade, das atrações elétricas e magnéticas e das fermentações se supuséssemos que essas forças ou ações resultam de qualidades desconhecidas para nós e impossíveis de descobrir e de tornar manifestas. Essas qualidades ocultas põem fim ao aperfeiçoamento da filosofia natural e por isso têm sido rejeitadas nos últimos anos. Dizer que toda espécie de coisas é dotada de uma qualidade oculta específica pela qual ela age e produz efeitos manifestos é não dizer nada; mas derivar dos fenômenos dois ou três princípios gerais do movimento e depois dizer como as propriedades e ações de todas as coisas corpóreas decorrem desses princípios manifestos seria um grande passo em filosofia, embora as causas desses princípios ainda não tenham sido descobertas. Não hesito, pois, em propor os princípios do movimento acima mencionados, sendo eles de uma extensão muito geral, deixando suas causas para serem descobertas. (NEWTON, Questão 31, Livro III, 2002, 290-291).

Os - por vezes distintos- pressupostos adotados por Newton ao buscar uma explicação para a gravitação revelam como este era um conceito essencialmente difícil de ser descrito, tendo em vista que o contexto histórico da época exigia explicações mecânicas para os fenômenos físicos observados. Essa perspectiva mecanicista contribuiu para o florescer da matematização no século XVIII. Conforme Jammer (2011, p. 178) enfatiza:

O conceito de força gravitacional, em última, instância, é uma ideia irredutível no esquema conceitual newtoniano da ciência física. Ela se distingue de outros tipos de força por sua universalidade e sua conseqüente importância para as considerações astronômicas e cosmológicas. Seus aspectos quantitativos são extraídos da observação experimental, e sua natureza última é desconhecida.

A conceituação da gravidade implicava na compreensão do conceito de força, pois ambos os constructos teóricos estavam imbricados historicamente e metodologicamente. Os *Principia* buscaram unificar a matemática com os movimentos celestes e terrestres.

### 1.2.2 A compreensão newtoniana de força

As correspondências trocadas entre Newton e o cientista inglês Robert Hooke (1635-1703), no período de novembro de 1679 a dezembro de 1680, possivelmente fomentaram o interesse de Newton pela dinâmica dos corpos celestes e pela gravitação, uma vez que nelas Hooke expunha suas concepções a respeito do movimento planetário e a lei da força que poderia estar diretamente relacionada a esse movimento. Em uma carta datada de 24 de novembro de 1679, Hooke, logo após ser nomeado secretário da Royal Society, solicitou que Newton retomasse o intercâmbio científico com a Sociedade e também pediu a ele a análise da determinação da trajetória de um corpo em queda (na conjectura de a Terra se mover). Nesse contexto, Newton estava interessado em encontrar uma explicação dinâmica para os movimentos planetários, a fim de esclarecer as três leis de Kepler.

Além de Hooke, outros importantes estudiosos, contemporâneos a Newton, como Edmund Halley (1656- 1742), John Wallis (1616-1703) e Christopher Wren (1632-1723) dedicaram-se a essas questões, bem como ocuparam-se em investigar a gravitação terrestre, chegando a notáveis considerações, muitas vezes, antes mesmo de Newton.

Quando Newton, por exemplo, relacionou a gravitação terrestre com a atração astronômica e tentou utilizar os cálculos acerca do movimento lunar, percebeu que o peso de um objeto terrestre se dava em função da sua distância do centro da Terra e que a aceleração



dos corpos em queda estava relacionada sua posição no espaço. A partir desse pressuposto, Newton inferiu que alguma propriedade característica do corpo devia ser invariante em relação à sua posição, concluindo que deveria haver uma distinção entre peso e massa, a qual chamou de “quantidade de matéria” (JAMMER, 2011, p. 156-157). Essa ideia, contudo, já tinha sido desenvolvida por seus predecessores, embora não tinha sido reconhecida como um conceito fundamental mecânica. Newton buscou determinar uma base matemática, e após possivelmente contar com respaldo experimental de Robert Boyle, ele definiu a “quantidade de matéria” como sendo o produto do volume pela densidade. Desse modo, o conceito de massa passou a ser entendido como uma ideia básica de seu sistema e, como consequência, a definição de momento linear, ou, nos dizeres de Newton, de “quantidade de movimento”, e de força, determinada pela alteração do momento, tornou-se mais inteligível (JAMMER, 2011, p. 157).

Como já sinalizado anteriormente, a gênese do conceito newtoniano de força pode ser encontrada no *Principia*, que dispõe de definições, escólios e leis ou axiomas que lançam luz sobre conceitos ainda não priorizados com tanta ênfase. O termo força (*vis*) foi apresentado pela primeira vez na Definição III: “*a vis insita*, ou força inata da matéria, é um poder de resistir, através do qual todo o corpo, no que depende dele, mantém seu estado presente, seja ele de repouso ou movimento uniforme em linha reta” (NEWTON, 2016, p. 40). Na sequência, Newton explicou que:

Essa força é sempre proporcional ao corpo ao qual ela pertence, e em nada difere da inatividade da massa, a não ser pela nossa maneira de concebê-la. A partir da natureza inerte da matéria, um corpo não tem seu estado de repouso ou movimento facilmente alterado. Nesse sentido, essa *vis insita* pode, por um nome mais apropriado, ser chamado de inércia (*vis inertiae*) ou força de inatividade. Mas, um corpo só exerce essa força quando outra força, imprimida sobre ele, procura mudar sua condição; e o exercício dessa força pode ser considerado tanto como impulso; resistência na medida em que, para conservar seu estado, o corpo opõem-se à força imprimida; e impulso na medida em que o corpo, não cedendo facilmente à força imprimida por um outro, esforça-se para mudar o estado deste outro corpo. Resistência é normalmente atribuída a corpos em repouso, e o impulso àqueles em movimento; mas movimento e repouso, como vulgarmente concebidos, diferem apenas relativamente um do outro; nem esses corpos estão verdadeiramente em repouso, como vulgarmente são considerados (NEWTON, 2016, p. 40).

A *vis insita*, ou força inata à matéria, consistia em uma capacidade de resistir, isto é, de esforçar-se para manter-se em seu estado natural, seja de repouso ou de movimento retilíneo uniforme. A natureza inerte da matéria é entendida como uma força da inatividade. A inércia, segundo Newton, assemelhava-se a força inata (*insita*) à matéria, uma força latente, desde que não houvesse outra força impressa sobre o corpo que alterasse seu estado. Como o mesmo sinalizou, a força inata podia ser considerada resistência e um impulso, sendo a primeira em relação a um corpo em repouso e o segundo referente a um objeto em movimento. Todavia,

essa distinção era apenas aparente, pois movimento e repouso eram concebidos como relativos e não requeriam ação contínua de uma força para se manterem em seus estados.

Percebe-se assim que a força não foi compreendida como uma causa do movimento ou da aceleração, mas sim admitia-se uma concepção cartesiana, onde apresentava semelhanças e diferenças com a ideia defendida originalmente por Descartes.

De acordo com Cohen (1964, p. 135), os escritos de Descartes sobre a ideia de inércia eram familiares a Newton. Nesse sentido, para este historiador, a Lei da Inércia newtoniana deriva diretamente da primeira Lei da Natureza de Descartes, apesar do mesmo não ter recebido os devidos créditos. Na perspectiva de Jammer (2011, p. 159), contudo, há uma ligeira diferença na proposição deste princípio, pois para Descartes tratava-se da extensão espacial do corpo, em conformidade com a identificação entre matéria e espaço, e já para Newton era a matéria em si, a inércia era proporcional à quantidade de matéria que o corpo possuía.

Em contraposição à noção de “força inata”, na definição IV dos *Principia*, Newton escreveu sobre a força impressa, esta era “[...] uma ação exercida sobre um corpo a fim de alterar seu estado, seja de repouso, seja de movimento uniforme em linha reta” (NEWTON, 2016, p. 41). Há três aspectos que diferenciavam a força impressa da força inata, são eles:

[...] a força impressa é pura ação e tem caráter transitório; [...] ela não permanece no corpo depois que a ação é concluída; [...], enquanto a inércia, na visão newtoniana, era uma força universal da matéria, a força impressa podia ter origens diferentes, provindo da percussão, da pressão ou da força centrípeta. (JAMMER, 2011, p. 159).

Newton considerava que a força impressa derivava da força centrípeta, pois esta era entendida como um elemento basilar e irreduzível, que se manifestava pela força impressa quando exercida sobre um objeto e podia ser medida pela mudança de seu momento. A compreensão newtoniana de força impressa, ou seja, uma ação exercida sobre um corpo a fim de alterar seu estado de repouso ou de movimento uniforme, ia ao encontro de seu princípio metafísico da causalidade. Toda alteração requer uma causa, a alteração do movimento era um efeito, e a força impressa a responsável pela mudança.

Já a V Definição dos *Principia* traz consigo o terceiro tipo de força, a força centrípeta “uma força centrípeta é aquela pela qual os corpos são dirigidos ou impelidos, ou tendem, de qualquer maneira, para um ponto ou centro.” (NEWTON, 2016, p. 41). Newton exemplifica esse tipo de força:

São forças desse tipo: a gravidade, pela qual os corpos tendem para o centro da Terra; o magnetismo, pelo qual o ferro tende para a magnetita; e aquela força, seja qual for, pela qual os planetas são continuamente desviados dos movimentos retilíneos – os

quais, em caso contrário, eles perseguiriam – e obrigados a revolucionar em órbitas curvilíneas (NEWTON, 2016, p. 41).

Ao que os *Principia* indicam a força centrípeta era mais relevante que as outras forças aos olhos de Newton, uma vez que ela ocupou por muito tempo a sua mente e foi fundamental para o desenvolvimento de sua teoria acerca da gravidade. A quantidade da força centrípeta podia assumir três tipologias; absoluta, acelerativa e motriz:

Definição VI: A quantidade absoluta de uma força centrípeta é medida da mesma, proporcional à eficácia da causa que a propaga a partir do centro, a partir dos espaços ao seu redor.

Definição VII: A quantidade acelerativa de uma força centrípeta é a medida da mesma, proporcional à velocidade que ela gera em um dado tempo.

Definição VIII: A quantidade motora de uma força centrípeta é a medida da mesma, proporcional ao movimento que ela gera em um dado tempo (NEWTON, 2016, p. 42-43).

Para distingui-las, Newton sugeriu que fossem consideradas com relação aos corpos que tendem para o centro, aos lugares desses corpos e ao centro de força que eles tendem. Nesse sentido, a força motora foi atribuída ao corpo como um esforço e propensão do todo em direção a um centro. A força acelerativa estava vinculada ao lugar do corpo, como um certo poder do centro para todos os lugares ao redor com o propósito de mover os corpos que aí estivessem. A força absoluta, por sua vez, direcionava-se para o centro, enquanto dotado de alguma causa sem a qual as forças motoras não se propagariam pelos espaços circundantes (NEWTON, 2016, p. 43).

A força acelerativa é a que mais se aproxima da compreensão moderna que se sobressai atualmente acerca do conceito de força, pois era exercida sobre um corpo, dotado de massa e numericamente igual à aceleração.

Após definir os tipos de força e distingui-los, Newton discorreu sobre as leis ou axiomas do movimento, são eles:

Lei I: Todo corpo continua em seu estado de repouso ou de movimento uniforme em uma linha reta, a menos que ele seja forçado a mudar aquele estado por forças imprimidas sobre ele.

Lei II: A mudança de movimento é proporcional à força motora imprimida, e é produzida na direção da linha reta na qual aquela força é imprimida.

Lei III: À toda ação há sempre oposta uma reação igual ou, as ações mútuas de dois corpos um sobre o outro são sempre iguais e dirigidas a partes opostas (NEWTON, 2016, p. 53-54).

A primeira lei diz respeito ao princípio da inércia, que pode ser interpretado como “[...] uma definição qualitativa da força, ou, se considerarmos possível reconhecer a força

independentemente das leis do movimento, como uma afirmação empírica que descreve o movimento dos corpos livres” (JAMMER, 2011, p. 162).

A segunda lei é amplamente conhecida e difundida no cenário escolar e acadêmico e na bibliografia em geral pela sua aparente tradução matemática, isto é,  $\vec{F} = m\vec{a}$ , contudo esta formulação não reflete o enunciado newtoniano, pois na notação moderna o mesmo corresponde à  $F \propto \Delta(mv)$ <sup>10</sup> e não à  $\vec{F} = m\vec{a}$ . Esta última foi escrita somente em 1752, no artigo *Découverte d'un nouveau principe de Mécanique* (Descoberta de um novo princípio da Mecânica), por Leonhard Paul Euler (1707-1783)<sup>11</sup>.

As ferramentas matemáticas e os pressupostos teóricos os quais Euler dispunha diferentemente de Newton foram fundamentais para que ele propusesse  $\vec{F} = m\vec{a}$ . Desse modo, portanto, não se trata de uma evolução conceitual do enunciado newtoniano, mas sim, da formulação de um novo princípio da mecânica.

A segunda lei do movimento não se referia a uma definição de força, tampouco pretendia empregá-la para afirmar um método de mensuração de forças, uma vez que, para Newton, a força era um conceito dado *a priori*, intuitivamente e em última análise, análogo à força muscular humana (JAMMER, 2011, p. 163). A partir dos escritos de Newton, é perceptível que o mesmo se manteve indeciso e consciente do caráter problemático de suas proposições tanto em relação à natureza da força em geral quanto no que diz respeito às forças gravitacionais.

Diferentemente das duas primeiras leis do movimento, que agregam poucos esclarecimentos sobre o conceito de força, a terceira lei – conhecida como ação e reação – traz consigo a importante consideração do caráter dual, recíproco e simultâneo de ambas as forças. Após enunciar a terceira lei do movimento, Newton propôs, no Corolário I, em que apresenta o teorema do paralelogramo de forças: “Um corpo, submetido a duas forças simultaneamente descreverá a diagonal de um paralelogramo no mesmo tempo em que ele descreveria os lados pela ação daquelas forças separadamente”. (NEWTON, 2016, p. 55).

Newton explicou que:

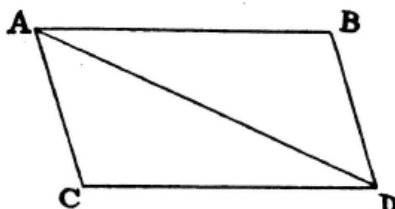
Se um corpo num dado tempo, pela força M imprimida separadamente no lugar A, fosse levado com um movimento uniforme de A até B, e pela força N imprimida separadamente no mesmo lugar, fosse levado de A para C, completa o paralelogramo ABCD, e por ambas as forças agindo juntas, o corpo seria levado, no mesmo tempo, na direção diagonal de A para D. Pois, uma vez que a força N age na direção da linha AC, paralela a BD, essa força (pela Segunda Lei) de modo algum altera a velocidade gerada pela outra força M, pela qual o corpo é levado em direção à linha BD. O corpo,

<sup>10</sup> A variação do movimento (quantidade de movimento) é proporcional à força motriz impressa.

<sup>11</sup> Na próxima sessão será discutido em detalhes a proposição da segunda lei do movimento e da equação  $F = ma$ .

portanto, chegará na linha BD no mesmo tempo, seja a força N imprimida ou não e, portanto, ao final daquele tempo será encontrado em algum lugar da linha CD. Portanto, ele será encontrado no ponto D, onde ambas as linhas se encontram. Mas mover-se-á numa reta de A para D, pela Lei I (NEWTON, 2016, p. 55).

Figura 2 - Teorema do paralelogramo de Newton



Fonte: Newton (2016, p. 55).

A proposição deste paralelogramo permitiu a caracterização da força como uma grandeza vetorial, bem como propiciou apreender como Newton concebia a dinâmica dos corpos. Supõe-se que a derivação do paralelogramo de forças baseou-se na composição cinemáticas das velocidades, uma vez que, no período histórico no qual Newton estava inserido, a maneira de somar forças era bem conhecida, independentemente do modo como estas eram definidas. Nesse contexto, qualquer compreensão de força deveria ser consoante com o teorema do paralelogramo (JAMMER, 2011, p. 166- 167).

De acordo com a definição newtoniana do paralelogramo de forças, a ação de uma força impressa sobre um corpo não depende da ação de uma segunda força, ou seja, se um corpo, submetido à ação de uma força, pretende percorrer a distância AB com um movimento uniforme e se, em decorrência de outra força, esse corpo percorrer a distância AC no mesmo tempo em que percorre AB, então quando ambas as forças forem impressas sobre o corpo, ele percorrerá a distância da diagonal AD do paralelogramo ABCD nesse mesmo intervalo de tempo. Isso ocorre porque, de acordo com a segunda lei, uma força não modifica a velocidade gerada por outra força.

Ainda na perspectiva newtoniana, a resultante de uma determinada força corresponde a um movimento uniforme. Contudo, a segunda lei do movimento enfatiza que a força impressa é proporcional à variação de movimento. Ambas inferências sinalizam, aparentemente, uma incompatibilidade, que poderia ser elucidada se Newton concebesse a ação da força acelerativa como uma “[...] série de ações sucessivas que transmitiam, ao objeto em movimento, aumentos sucessivos de velocidade” (JAMMER, 2011, p. 168). Concebendo dessa forma, o movimento de um corpo seria o resultado de uma sequência de pequenos “impulsos”.

A mecânica newtoniana pautava-se na geometria cartesiana, que era eficaz para tratamento de alguns problemas físicos, porém apresentava objeções ao tentar traduzir as definições cartesianas em princípios de uma ciência matemática do movimento. A dificuldade residia no fato de que as definições apenas forneciam condições para que uma certa quantidade fosse o produto ou proporção de duas outras quantidades dadas, mas não eram capazes de fornecer esta razão ou proporção, ou seja, não permitiam comparar, respectivamente, duas velocidades diferentes ou duas acelerações distintas entre si. Para atender essa demanda, Newton passou a assumir que cada quantidade mecânica deveria ser entendida como uma medida de segmento, isso significava que, caso houvesse medidas de segmento de espaço percorrido e de tempo despendido na realização do movimento, era possível determinar as velocidades e acelerações também em forma de segmentos, e por meio dessa abordagem obter-se-ia as expressões algébricas para denotar o objeto (PANZA, 2002, p. 18).

Em decorrência dessas inferências, outra dificuldade emergiu, pois, se o espaço percorrido por qualquer movimento fosse representado por um segmento, a geometria cartesiana não poderia ser empregada para representar movimentos não retilíneos. Para contornar esse empasse, Newton fez uso de seus estudos sobre inércia e força, decompondo o movimento: se nenhuma força atuasse sobre o corpo em movimento, ele deveria mover-se uniformemente em linha reta; se forças atuassem sobre o corpo, o movimento seria o resultado da combinação dessas forças. As trajetórias curvilíneas só seriam possíveis se uma ou mais forças agissem continuamente sobre o corpo, provocando a alteração continua de sua direção. Desse modo, a cada instante de um movimento curvilíneo era possível descrever a velocidade e a força que estivessem agindo sobre o ponto, pois a velocidade era representada por um segmento tangente à curva, assim como a força que também era identificada por um segmento, porém em outra direção, ambos derivados do corpo pontual. Tais segmentos passaram a ser denominados vetores. Percebe-se, portanto, que a mecânica newtoniana se desenvolveu, de acordo com essas premissas, como uma geometria de trajetórias (PANZA, 2002, p. 18).

Os movimentos, para Newton, são efeitos das forças (ou inércia) e assumem características dinâmicas. As forças e velocidades não são mais compreendidas como qualidades dos movimentos constantes ou variáveis, mas sim como objetos matemáticos, essencialmente geométricos, e assim o movimento não é mais considerado um fenômeno externo. Seu método pautava-se na matemática para tratar dos movimentos de corpos naturais, pois a partir de leis e definições era possível prever como estes iriam ocorrer, devido a atuação de forças. Desse modo, a teoria newtoniana do movimento não era apenas uma ciência matemática resultado da aplicação da matemática ao estudo do movimento, mas era também

uma ciência de objetos matemáticos, decorrente de um processo de matematização (PANZA, 2002, p. 19).

Como sinalizado, as contribuições de Newton para o estudo da mecânica foram imprescindíveis, embora não exclusivas. Os *Principia* configuram-se como sendo aparentemente a primeira “[...] exposição sistemática e rigorosa sob o ponto de vista matemático, da compreensão científica do Mundo, projectando-se a sua influência, de uma forma decisiva, na forma e no método como a partir de então se começou a pensar e a fazer ciência” (FITAS, 1996, p. 2). Contudo, a renomada obra precisou ser aperfeiçoada e completada, tendo em vista que o contexto histórico e científico de Newton impunha certas limitações conceituais e matemáticas.

Nos anos subsequentes, coube a outros importantes estudiosos e cientistas a tarefa de aperfeiçoar e reformular certos princípios da mecânica newtoniana, além de resolver problemas até então não propostos e estudados. Vale ressaltar, no entanto, que no século XVIII existiam outras obras que versavam sobre mecânica além dos *Principia*, havia ainda as vertentes de Christian Huygens (1629-1695) e as de Gottfried Wilhelm Leibniz (1646-1716), Pierre Varignon (1654-1722) e a tradição da estática. Nesse contexto, Johann Bernoulli (1667-1748) dedicou-se ao estudo da relação entre forças e suas deformações, e Euler, por sua vez, buscou propor uma junção entre conceitos newtonianos e o formalismo de Leibniz. Essa história estendeu-se até 1788, com a publicação da obra de Joseph-Louis Lagrange (1736-1813), *Mécanique Analytique* (Mecânica Analítica), que finalizou os desenvolvimentos da hoje denominada Mecânica Clássica (SITKO, 2019, p. 52)<sup>12</sup>.

### 1.2.3 A segunda lei de Newton corresponde a $F = MA$ ?

Quando se menciona a equação conhecida como “segunda lei de Newton”, é importante se atentar às verdades históricas que condicionaram a construção da mesma. Na maioria dos cursos e livros didáticos sobre mecânica clássica, o nome “segunda lei de Newton” diz respeito à equação  $F = ma$ . Contudo, no cenário da história da ciência, esta geralmente é relacionada à segunda das três leis de movimento que Newton registrou em sua célebre obra, os *Principia*:

---

<sup>12</sup> Neste trabalho optou-se por abordar o conceito de força no século XVIII segundo a perspectiva de outros cientistas, discutidos na sequência, que não os responsáveis pela construção da Mecânica Clássica.

“Uma mudança de movimento é proporcional à força motriz impressa e é produzida na linha reta na qual a força é impressa.” (NEWTON, 1990, p. 16).

Nesse sentido, com o propósito de aprofundar a compreensão acerca destes dois enfoques, Pourciau (2011, p. 1015) distinguiu os diferentes sentidos da “segunda lei de Newton”, o sentido moderno e o sentido histórico, com nomes diferentes: a “equação  $F = ma$ ” e a “segunda lei de Principia”, respectivamente. No que se refere à expressão matemática, muitos estudiosos têm se questionado sobre a autoria da mesma. Poder-se-ia esperar que a equação  $F = ma$  fosse uma versão matemática da segunda lei de Newton, porém este não é o caso.

As definições presentes nos *Principia* ainda são embaraçosas, pois a compreensão de “força motriz” mostra-se confusa e a conceituação de “mudança de movimento” não é explanada. A fim de tentar aclarar tais inferências, é importante lançar um olhar para a primeira lei de Newton: “Todo corpo continua em seu estado de repouso ou de movimento uniforme em uma linha reta, a menos que ele seja forçado a mudar aquele estado por forças impressas sobre ele” (NEWTON, 1990, p. 15). Segundo Pourciau (2011, p. 1015, tradução nossa) essa lei também pode ser reescrita de maneira equivalente em termos de desvios decorrentes de uma força impressa: “Se um corpo se desvia do seu estado de repouso ou de um movimento uniforme em linha reta, então alguma força impressa compele esse desvio”<sup>13</sup>.

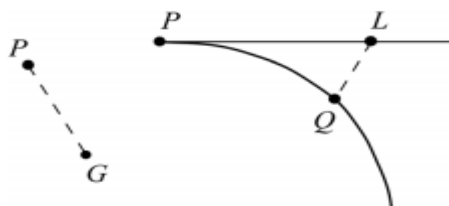
Com a introdução de uma notação específica para esses desvios que, de acordo com a primeira lei, sinalizam a presença de uma força impressa, pode-se supor que um corpo em movimento, chegando ao ponto  $P$ , teria atravessado o segmento de linha  $\overline{PL}$  em um dado intervalo de tempo  $h$ , se sua velocidade e direção em  $P$  tivessem continuado uniformemente. Mas, se em vez disso, o corpo tivesse atravessado o segmento de arco (ou possivelmente segmento de linha)  $PQ$  no mesmo tempo  $h$ . O segmento de linha direcionada  $\overline{LQ}$  refere-se ao desvio (ou, em termos newtonianos, deflexão) do movimento linear uniforme gerado no tempo  $h$ . Considera-se  $\overline{LQ}$  a deflexão em movimento. Na Figura 3, pode-se conceber um corpo partindo do repouso em  $P$ , atravessando o segmento de linha direcionada  $\overline{PG}$  em um determinado momento. Denomina-se  $\overline{PG}$  a deflexão de repouso.

---

<sup>13</sup> “If a body deviates from its state of rest or of uniform straight-line motion, then some impressed force compels that deviation” (POURCIAU, 2012, p. 1015).



Figura 3- Deflexões de repouso e movimento  $\overline{PG}$  e  $\overline{PQ}$ , geradas em um dado intervalo de tempo



Fonte: Pourciau (2011, p. 1016).

A partir dessas proposições, pode-se novamente reformular a primeira lei em termos dessas deflexões: “para qualquer corpo, se uma deflexão de movimento ou uma deflexão de repouso,  $\overline{LQ}$  ou  $\overline{PG}$ , for diferente de zero, então alguma força impressa obriga esse desvio (POURCIAU, 2011, p. 1016, tradução nossa)<sup>14</sup>.

De acordo com a mecânica newtoniana, a expressão “força” pode apresentar distintas interpretações, dependendo do contexto em que está inserida, como por exemplo, pode se referir a uma fonte ou mecanismo (gravidade ou magnetismo), a uma ação (um “impulso” específico ou o ato de “puxar”) produzida por esse mecanismo, ou ao efeito observado (uma deflexão móvel ou em repouso) gerada por essa ação em um determinado corpo (POURCIAU, 2011, 1016).

No artigo denominado *Newton's Interpretation of Newton's Second Law (Interpretação de Newton da Segunda Lei de Newton)*, publicado em 2006, Bruce Pourciau argumentou que entender a segunda lei do movimento de Newton somente em termos de uma “força impulsiva”, ou seja, em relação à representação matemática de um “impacto instantâneo” trata-se de uma interpretação equivocada, tendo em vista que para ele, a referida lei também pode abranger “forças contínuas”. A partir de uma série de “provas” extraídas de corolários, exemplos e revisões do trabalho dinâmico de Newton, Pourciau assumiu a posição de que “[...] a interpretação somente por impulso é uma interpretação errônea, na verdade, na interpretação de Newton, a segunda lei se aplica e se destina a ser aplicada diretamente à forças impulsivas e contínuas” (BRUCE, 2006, p. 157, tradução nossa)<sup>15</sup>.

Posteriormente, no artigo intitulado *Is Newton's second law really Newton's? (A segunda lei de Newton é mesmo de Newton?)* publicado em 2011, Pourciau afirmou, no início

<sup>14</sup> “For any body, if either a moving deflection or a resting deflection,  $\overline{LQ}$  or  $\overline{PG}$ , is nonzero, then some impressed force compels that deviation” (POURCIAU, 2012, p. 1016).

<sup>15</sup> “[...] position that the impulse-only interpretation is a misinterpretation, indeed that in Newton's own interpretation the second law applies, and was intended to apply, directly to both impulsive and continuous force” (POURCIAU, 2006, p. 157).

de seu trabalho, que a “força impressa” da primeira e segunda leis de Newton se referem exclusivamente a uma ação, isto é, um “impulso” que possui uma magnitude e direção particular. Ao encontro dessa proposição, Barra (1994), em sua dissertação *Omnis philosophia difficultas: o conceito de força na filosofia natural de Newton*, defende que as forças “impulsivas” constituem a base conceitual do tratamento dinâmico dos movimentos dados por Newton, ou seja, a “força” na segunda lei é aquilo que Newton frequentemente chama de “impulsos”, isto é, “forças” que agem instantaneamente. A abordagem realizada por Sitko (2019) em seu trabalho *O novo princípio de Euler e a emergência da segunda lei de Newton na forma  $F = ma$* , também coincide com a referida perspectiva ao considerar que “na segunda lei proposta por Newton, o movimento de um corpo seria uma sequência de pequenos ‘golpes’.” (SITKO, 2019, p. 49).

Nas palavras de Pourciau (2011, p. 1016, tradução nossa):

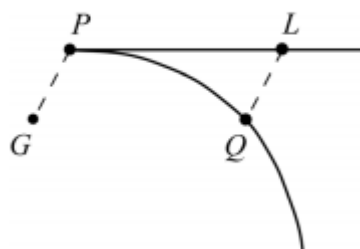
De acordo com a primeira lei, uma deflexão em movimento ou em repouso diferente de zero sinaliza a presença de uma força impressa. O que poderia ser mais natural para Newton do que caracterizar a magnitude e direção de tal força impressa em termos do comprimento e direção do efeito observado (isto é, a deflexão) gerada por aquela força impressa no corpo dado? Mas para poder caracterizar a força impressa em termos da deflexão observada, a mesma força atuando sobre o mesmo corpo deve gerar ao mesmo tempo a mesma deflexão, não importando a velocidade ou direção do corpo. Pois sem essa restrição, a mesma força dada (intuitivamente, o mesmo “impulso”) pode ter uma magnitude e direção quando atua em um dado corpo em movimento e uma magnitude e direção diferente quando atua no mesmo corpo em repouso. Sem essa restrição, a mesma força impressa (ou “impulso”) poderia até gerar uma aceleração finita em um corpo em movimento, mas uma aceleração infinita (como num impulso instantâneo) sobre o mesmo corpo em repouso: se as deflexões  $\overline{LQ}$  e  $\overline{PG}$ , geradas pela mesma força, poderiam ser diferentes, então os limites de  $2 (\overline{LQ} / h^2)$  e  $2 (\overline{PG} / h^2)$  como  $h \rightarrow 0$  poderiam ser diferentes, o primeiro finito e o segundo infinito, por exemplo, e esses limites são as acelerações vetoriais geradas pela força dada no corpo em movimento e em repouso.<sup>16</sup>

---

<sup>16</sup> “According to the first law, a nonzero moving or resting deflection signals the presence of an impressed force. What could be more natural for Newton than to characterize the magnitude and direction of such an impressed force in terms of the length and direction of the observed effect (that is, the deflection) generated by that impressed force on the given body? But to be able to characterize the impressed force in terms of the observed deflection, the same force acting on the same body must generate in the same time the same deflection, no matter the speed or direction of the body. For without this constraint, the same given force (intuitively, the same “thrust”) could end up having one magnitude and direction when it acts on a given body in motion and a different magnitude and direction when it acts on the same body at rest. Without this constraint, the same given impressed force (or “thrust”) could even generate a finite acceleration on a body in motion, but an infinite acceleration (as in an instantaneous impulse) on the same body at rest: if the deflections  $\overline{LQ}$  and  $\overline{PG}$ , generated by the same force, could be different, then the limits of  $2 (\overline{LQ} / h^2)$  and  $2 (\overline{PG} / h^2)$  as  $h \rightarrow 0$  could be different, the first finite and the second infinite, for example, and these limits are the vector accelerations generated by the given force on the body in motion and at rest” (POURCIAU, 2011, p. 1016).

Se esperaria, em decorrência da primeira lei, que Newton excluísse esse comportamento indisciplinado, com o propósito de assegurar que uma determinada força impressa pudesse ser caracterizada em termos da deflexão observada. Era sugestivo imaginar que a primeira lei passasse a ser reescrita da seguinte maneira: “a mesma força (ou impulso instantâneo) atuando no mesmo corpo gera ao mesmo tempo a mesma deflexão, quer o corpo esteja em movimento ou em repouso:  $\overline{LQ} = \overline{PG}$ .” (POURCIAU, 2011, p. 1016, tradução nossa)<sup>17</sup>.

Figura 4 - A igualdade das deflexões  $\overline{LQ}$  e  $\overline{PG}$ , geradas por uma determinada força em um dado momento em um determinado corpo, quando o corpo está em movimento em P e em repouso em P, respectivamente



Fonte: Pourciau (2011, p. 1016).

Nesse sentido, enquanto a primeira lei sinaliza a existência de uma força impressa quando uma deflexão de movimento ou de repouso não-zero é observada, presume-se que ao se adotar a sequência natural, ter-se-ia uma segunda lei que admite a presença de uma força impressa em termos das deflexões diferentes de zero.

Segundo Pourciau (2011), Newton foi fortemente influenciado pela obra *Horologium Oscillatorium*, publicada pelo cientista holandês Christiaan Huygens (1629-1695) em 1673, 14 anos antes da primeira edição do *Principia*. A partir de suas conjecturas a respeito da queda dos corpos e seus respectivos movimentos, Newton aparentemente propôs uma generalização das hipóteses levantadas por Huygens e concluiu a já apresentada igualdade entre  $\overline{LQ}$  e  $\overline{PG}$ , ou seja, a mesma força que atua no mesmo corpo gera no mesmo tempo a mesma deflexão, quer o corpo esteja em movimento ou em repouso. Seja em decorrência de uma sequência natural da primeira lei, ou seja, em virtude de uma generalização dos princípios apresentados por Huygens sobre o

<sup>17</sup> “The same force (or instantaneous impulse) acting on the same body generates in the same time the same deflection, whether the body is in motion or at rest:  $\overline{LQ} = \overline{PG}$ ” (POURCIAU, 2011, p. 1016).

movimento dos corpos, há evidências históricas que indicam que esta igualdade se tratava da interpretação dada por Newton à segunda lei dos *Principia*.

Uma dessas evidências se deu no período em que o matemático escocês David Gregory (1661-1708) foi até Cambridge visitar Newton, em maio de 1694. Durante o tempo que estiveram juntos, Newton lhe apresentou as revisões planejadas para a segunda edição dos *Principia*, bem como lhe descreveu o esboço de seus planos mais radicais - uma nova estrutura matemática e lógica, baseada na noção de curvatura, para as primeiras partes do Livro I - e compartilhando com ele as páginas do manuscrito revelando detalhes deste novo esquema. Contudo, no final, seja por falta de tempo, energia ou interesse, a maioria das retificações, tanto as consideráveis mudanças quanto as melhorias meramente estilísticas nunca foram impressas, embora partes e o esquema de curvatura apareceu como novos corolários ou soluções alternativas na segunda edição, de 1713. As páginas manuscritas encontradas na biblioteca da Universidade de Cambridge preservam essas revisões projetadas. Em quatro folhas avulsas, Newton escreveu oito diferentes reformulações da segunda lei, porém sete destas foram riscadas, restando somente a segunda lei: “todo novo movimento pelo qual o estado de um corpo é mudado é proporcional à força motriz impressa, e ocorre a partir do lugar que o corpo ocuparia em direção ao objetivo que a força impressa almeja” (POURCIAU, 2011, p. 1017, tradução nossa)<sup>18</sup>.

Tal lei estava acompanhada por uma figura desenhada por Newton e ambas possivelmente tornaram mais claro o significado da segunda lei dos *Principia*:

Se o corpo  $A$  deve, em seu lugar  $A$  onde uma força está impressa, ter um movimento pelo qual, quando uniformemente continuado, descreveria a linha reta  $Aa$ , mas se pela força impressa for desviada desta linha para outra  $Ab$  e, quando deveria estar localizado no lugar  $a$ , ser encontrado no lugar  $b$ , então, porque o corpo, livre da força impressa, teria ocupado o lugar  $a$  e é lançado fora deste lugar por aquela força e transferido de lá para o lugar  $b$ , a translação do corpo do lugar  $a$  para o lugar  $b$ , no sentido desta Lei, será proporcional a essa força e dirigida para o mesmo objetivo para o qual esta força é impressa. Daí, se o mesmo corpo privado de todo movimento e impressionado pela mesma força com a mesma direção, pudesse ao mesmo tempo ser transportado do lugar  $A$  para o lugar  $B$ , as duas linhas retas  $AB$  e  $ab$  seriam paralelas e iguais. Pois a mesma força, atuando com a mesma direção e no mesmo tempo no mesmo corpo, seja em repouso ou continuando com qualquer movimento, quer, no sentido desta Lei, conseguirá uma translação idêntica para o mesmo objetivo, e neste caso, a translação é  $AB$ , onde o corpo está em repouso antes da força ser impressa e  $ab$  onde estava em estado de movimento. (POURCIAU, 2011, p. 1018, tradução nossa)<sup>19</sup>.

<sup>18</sup> “All new motion by which the state of a body is changed is proportional to the motive force impressed, and occurs from the place which the body would otherwise occupy towards the goal at which the impressed force aims” (POURCIAU, 2011, p. 1017).

<sup>19</sup> “If the body  $A$  should, at its place  $A$  where a force is impressed upon it, have a motion by which, when uniformly continued, it would describe the straight line  $Aa$ , but by the impressed force be deflected from this line into another one  $Ab$  and, when it ought to be located at the place  $a$ , be found at the place  $b$ , then, because the body, free of the

Quando Newton faz uso da expressão “no sentido desta Lei” por duas vezes, subentende-se que esta passagem não corresponde à descrição de um mero corolário ou aplicação da segunda lei, mas sim o próprio significado da lei, tendo em vista que a sentença apresentada considera que a deflexão em movimento é igual à deflexão de repouso ( $ab = AB$ ). Pourciau (2011) destaca que segundo o próprio testemunho de Newton, essa igualdade é a segunda lei do *Principia*, como o mesmo a entendeu. Contudo, vale ressaltar que as notações acerca das deflexões encontram-se escritas de outra forma, ou seja,  $\overline{AB}$  para a deflexão de repouso  $\overline{PG}$ ,  $\overline{ab}$  para a deflexão móvel  $\overline{LQ}$ .

Figura 5 - Desenho original de Newton, ilustrando o caso de força contínua de sua segunda lei: a deflexão móvel é igual à deflexão de repouso,  $\overline{ab} = \overline{AB}$



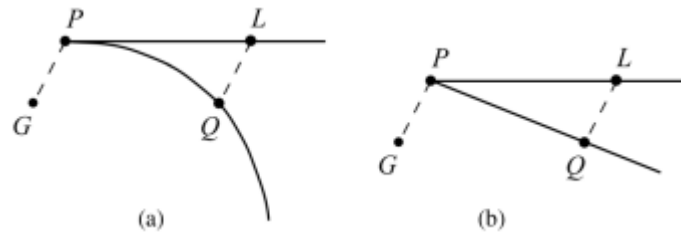
Fonte: Pourciau (2011, p. 1018).

A interpretação padrão dada à segunda lei dos *Principia* refere-se à aplicação de um impulso instantâneo diretamente e a uma força (contínua) apenas indiretamente, através de aproximação por impulsos em série. Porém, a figura escrita à mão pelo próprio Newton mostra uma tangente continuamente girando que, com efeito, evidencia que a lei também deveria ser aplicada diretamente a uma força (contínua). Desse modo, presumivelmente esta seria a interpretação fornecida por Newton, conforme a Figura 6 demonstra.

---

*impressed force, would have occupied the place a and is thrust out from this place by that force and transferred therefrom to the place b, the translation of the body from the place a to the place b will, in the meaning of this Law, be proportional to this force and directed to the same goal toward which this force is impressed. Whence, if the same body deprived of all motion and impressed by the same force with the same direction, could in the same time be transported from the place A to the place B, the two straight lines AB and ab will be parallel and equal. For the same force, by acting with the same direction and in the same time on the same body whether at rest or carried on with any motion whatever, will in the meaning of this Law achieve an identical translation towards the same goal, and in the present case the translation is AB where the body is at rest before the force was impressed and ab where it was there in a state of motion.” (POURCIAU, 2011, p. 1018).*

Figura 6 - Ilustração da segunda lei do Principia como Newton a entendeu,  $\overline{LQ} = \overline{PG}$  (a) uma força (contínua) e (b) um impulso instantâneo



Fonte: Pourciau (2011, p. 1018).

Pourciau (2011) chama de “Segunda Lei Composta” a segunda lei dos *Principia*, conforme possivelmente Newton tenha a entendido, e explica o porquê adota o termo “composto”. Um dos motivos diz respeito ao fato de que a lei se aplica diretamente a um impulso instantâneo e a uma força contínua e o outro refere-se à consideração que a lei informa o movimento inercial dos compostos do corpo independentemente com o movimento que teria sido gerado pela força dada ao corpo em repouso.

A segunda lei composta diz que:

A mesma força (ou impulso instantâneo) atuando no mesmo corpo gera ao mesmo tempo a mesma deflexão, quer o corpo esteja em movimento ou em repouso:  $\overline{LQ} = \overline{PG}$ . Em outras palavras, o movimento (velocidade e direção) do corpo continuou uniformemente compostos independentemente com o movimento que teria sido gerado pela força dada no mesmo corpo em repouso:  $\overline{PQ} = \overline{PL} + \overline{PG}$  (POURCIAU, 2011, p. 1018, tradução nossa)<sup>20</sup>.

O termo “massa” (“quantidade de matéria” na compreensão de Newton) somente terá expressividade na terceira das três leis contidas nos *Principia*. Tal fato pode causar um certo estranhamento, tendo em vista que a massa é comumente considerada uma componente integral da equação  $F = ma$ , porém, embora não esteja mencionada a variável massa, a segunda lei do *Principia* ainda se aplica a muitos problemas em que a massa não desempenha papel significativo.

Após apresentar como Newton supostamente compreendeu sua segunda lei, é necessário tentar entender que significados ele atribuiu às expressões “mudança em movimento” e “força motriz”. Os *Principia* trazem consigo uma seção inicial de definições que contribui para a explanação desses conceitos. As definições VII e VIII afirmam respectivamente que:

<sup>20</sup> “The same force (or instantaneous impulse) acting on the same body generates in the same time the same deflection, whether the body is in motion or at rest:  $\overline{LQ} = \overline{PG}$ . In other words, the motion (speed and direction) of the body uniformly continued compounds independently with the motion that would have been generated by the given force on the same body at rest:  $\overline{PQ} = \overline{PL} + \overline{PG}$ .” (POURCIAU, 2011, p. 1018).

A quantidade acelerativa de uma força centrípeta é a medida da mesma, proporcional à velocidade que ela gera em um dado tempo.

A quantidade motora de uma força centrípeta [a força motriz] é a medida da mesma, proporcional ao movimento que ela gera em um dado tempo (NEWTON, 1990, p. 5).

Ao adotar a premissa de que a força motriz é o produto da força aceleradora e da quantidade de matéria e que a força aceleradora é a velocidade que gera um determinado tempo, presume-se que a força motriz assume a forma  $M\Delta V$ , onde  $M$  refere-se à quantidade de matéria e  $\Delta V$  à algum tipo de mudança newtoniana na velocidade ou velocidade gerada em um dado tempo pela força dada. Todavia, há controvérsias, pois não se sabe a princípio se o  $\Delta V$  é gerado no corpo em repouso ou em movimento, bem como se desconhece se o mesmo se trata de uma grandeza escalar ou vetorial e de que forma é medido.

Com o intuito de resolver essa imprecisão, é importante valer-se da interpretação fornecida por Newton à sua segunda lei, em que o efeito observado gerado em um certo momento por uma determinada força em um dado corpo não depende da velocidade ou direção desse corpo. A partir da retomada dessa colocação é possível inferir que a medida desse efeito pode ser chamada de “força motriz”, pois sua definição aparece antes das leis do movimento nos *Principia*, sem restrições. Assim, a menos que seja definida de uma maneira que a impeça, a força motriz  $M\Delta V$  poderia em princípio depender, não apenas da força impressa e do corpo dado, mas também da velocidade ou direção do corpo, o que tornaria uma medida simplória da força dada. A fim de evitar essa dependência, a velocidade gerada  $\Delta V$  deve ser definida para um corpo que tenha alguma velocidade e direção padrão (no caso o repouso). Este argumento sugere a seguinte reescrita da definição VIII:

A quantidade motriz de força centrípeta (ou, mais brevemente, a força motriz) é o movimento que essa força centrípeta gera num dado tempo a partir do repouso. Em outras palavras, se sob a influência de uma força centrípeta um corpo com quantidade de matéria  $M$  se desloca do repouso em  $P$ , descrevendo o segmento de reta  $PG$  em um dado tempo  $h$ , então a força motriz é a quantidade  $M(PG/h)$  que ocorre ao longo da linha  $PG$ , isto é, a quantidade  $M(\overrightarrow{PG}/h)$ . (POURCIAU, 2011, p. 1019, tradução nossa).<sup>21</sup>

Em relação à conceituação da expressão “mudança de movimento”, há grande dificuldade em defini-la com precisão. Contudo, se admitir que a força motriz é a quantidade

---

<sup>21</sup> “The motive quantity of centripetal force (or, more briefly, the motive force) is the motion which that centripetal force generates in a given time from rest. In other words, if under the influence of a centripetal force a body with quantity of matter  $M$  moves from rest at  $P$ , describing the line segment  $PG$  in a given time  $h$ , then the motive force is the quantity  $M(PG/h)$  taking place along the line  $PG$ , that is, the quantity  $M(\overrightarrow{PG}/h)$  (POURCIAU, 2011, p. 1019).

$M(\overrightarrow{PG}/h)$  e que o significado subjacente da segunda lei dos *Principia* é a igualdade  $\overrightarrow{LQ} = \overrightarrow{PG}$ , então a “mudança de movimento” deve ser igual a  $M(\overrightarrow{LQ}/h)$ . Escrito de outra forma:

Suponha que um corpo com quantidade de matéria  $M$ , tivesse sua velocidade e direção em  $P$  uniformemente continuadas, tivesse descrito o segmento de linha  $PL$  no tempo  $h$ , mas fosse desviado dessa linha e descrevesse uma curva (ou uma linha)  $PQ$  nesse mesmo tempo  $h$ . Então a mudança no movimento é a quantidade  $M(LQ/h)$  ocorrendo ao longo da linha  $LQ$ , ou seja, a quantidade  $M(\overrightarrow{LQ}/h)$ . (POURCIAU, 2011, p. 1019, tradução nossa).<sup>22</sup>

Nesse sentido, a partir da combinação da definição de “força motriz” e “quantidade de movimento” tem-se supostamente por completo a compreensão dada por Newton à segunda lei:

Pela ação de qualquer força (ou impulso instantâneo), uma mudança no movimento é igual à força motriz impressa e ocorre na direção dessa força motriz:  $M\overrightarrow{LQ}/h = M\overrightarrow{PG}/h$ . Equivalentemente, a mesma força que atua no mesmo corpo gera no mesmo tempo a mesma deflexão, quer o corpo esteja em movimento ou em repouso: a deflexão em movimento é igual à deflexão de repouso,  $\overrightarrow{LQ} = \overrightarrow{PG}$ . Em outras palavras, a deflexão que teria sido gerada por uma determinada força em um corpo em repouso se combina independentemente com o movimento de inércia do corpo:  $\overrightarrow{PQ} = \overrightarrow{PL} + \overrightarrow{PG}$  (POURCIAU, 2011, p. 1019, tradução nossa).<sup>23</sup>

Diante do exposto, percebe-se que a segunda lei dos *Principia* (segunda lei composta) aparentemente não é idêntica à equação  $F = ma$ . Para que fosse possível trabalhar com os problemas contidos nos *Principia*, era preciso que Newton dispusesse de uma lei que relacionasse a força à aceleração, pois a segunda lei apenas afirma a igualdade  $\overrightarrow{LQ} = \overrightarrow{PG}$ , assegurando assim que as deflexões móveis e em repouso  $\overrightarrow{LQ}$  e  $\overrightarrow{PG}$  podem ser usadas em medidas da força, porém não garante essas deflexões por si mesmas, nem a mudança de movimento  $M(\overrightarrow{LQ}/h)$  ou força motriz  $M(\overrightarrow{PG}/h)$  as tornariam necessariamente boas medidas da força por conta própria. Contudo, como já mencionado, Newton precisava e fazia uso de uma versão teórica da equação  $F = ma$ , sem, no entanto, tê-la de fato formulado. A partir dos pressupostos estabelecidos pela segunda lei composta, Newton foi capaz de resolver uma série de problemas não triviais da mecânica.

<sup>22</sup> “Suppose a body with quantity of matter  $M$ , had its speed and direction at  $P$  been uniformly continued, would have gone on to describe the line segment  $PL$  in the time  $h$ , but instead is deflected from this line and describes a curve (or a line)  $PQ$  in that same time  $h$ . Then the change in motion is the quantity  $M(LQ/h)$  taking place along the line  $LQ$ , that is, the quantity  $M(\overrightarrow{LQ}/h)$ .” (POURCIAU, 2011, p. 1019).

<sup>23</sup> “By the action of any force (or instantaneous impulse), a change in motion equals the motive force impressed and takes place in the direction of that motive force:  $M\overrightarrow{LQ}/h = M\overrightarrow{PG}/h$ . Equivalently, the same force acting on the same body generates in the same time the same deflection, whether the body is in motion or at rest: the moving deflection equals the resting deflection,  $\overrightarrow{LQ} = \overrightarrow{PG}$ . In other words, the deflection that would have been generated by a given force on a body at rest compounds independently with the inertial motion of the body:  $\overrightarrow{PQ} = \overrightarrow{PL} + \overrightarrow{PG}$ .” (POURCIAU, 2011, p. 1019).



Em oposição às inferências de Pourciau (2011), o físico Michael Nauenberg publicou em 2012 um artigo intitulado *Comment on “Is Newton’s second law really Newton’s?” by Bruce Pourciau* (Comentários sobre “A segunda lei de Newton é mesmo de Newton? de Bruce Pourciau), em que buscou contrapor alguns argumentos defendidos por Pourciau.

Pourciau (2011) afirma com bastante ênfase que a deflexão em movimento é igual à deflexão em repouso, e para apoiar sua reivindicação ele cita um manuscrito inédito de Newton, composto durante 1692–1693 para algumas revisões propostas dos *Principia*. Contudo, Nauenberg contrapõe essa inferência e explica que Newton estava demonstrando neste documento apenas uma restrição à segunda lei de movimento para o caso especial de forças que são independentes da velocidade. Para Nauenberg, foi para este propósito que Newton desenhou um diagrama, mostrado na Figura 3, em que apresenta uma curva  $Ab$  representando a trajetória de um corpo em movimento no sentido horário durante um curto intervalo de tempo  $h$ , sob a ação de uma força dirigida ao longo da linha  $ab$ . Assim:

Se esta força é repentinamente desligada quando o corpo está em  $A$ , então pela primeira lei de movimento o corpo se moveria ao longo da linha reta  $Aa$  tangente à curva em  $A$  com a velocidade  $v = Aa/h$  que tinha em  $A$ . De acordo com sua segunda lei do movimento, a linha  $ab$  é uma medida do efeito da força atuando em  $A$ . Se  $v = 0$  em  $A$ , então  $Aa = 0$  e a linha  $AB$  representa o deslocamento devido a esta força durante a mesmo intervalo de tempo  $h$ . Além disso, se essa força é independente da velocidade, então  $AB = ab$ . [...], Mas quando a força que atua em  $A$  também depende da velocidade  $v$ , então  $AB \neq ab$ . (NAUENBERG, 2012, p. 931-932, tradução nossa).<sup>24</sup>

Diferentemente da interpretação dada por Pourciau (2011) ( $AB = ab$ ), Nauenberg (2012, p. 932) ressalta que a ilustração feita por Newton buscava somente retratar a restrição à aplicação da segunda lei para o caso especial em que a força que age sobre um corpo em repouso é a mesma que a força atuando sobre um corpo movendo-se com velocidade  $v$ .

Em relação aos questionamentos levantados por Pourciau (2011) no que se refere à mudança de velocidade  $\Delta v$  gerada por um impulso de força centrípeta ( $\Delta v$  é gerada no corpo em repouso ou em movimento?  $\Delta v$  é escalar ou tem uma direção? Como  $\Delta v$  é medida?), Nauenberg (2012) diz que para as forças centrais, as questões apresentadas foram respondidas, a saber: “[...]  $\Delta v$  é gerado no corpo em movimento, tem uma direção ao longo do impulso de

---

<sup>24</sup> “If this force is suddenly turned off when the body is at  $A$ , then by the first law of motion the body would move along the straight line  $Aa$  tangent to the curve at  $A$  with the velocity  $v = Aa/h$  that it had at  $A$ . Hence, in accordance with his second law of motion, the line  $ab$  is a measure of the effect of the force acting at  $A$ . If  $v = 0$  at  $A$ , then  $Aa = 0$  and the line  $AB$  represents the displacement due to this force during the same time interval  $h$ . Moreover, if this force is independent of velocity, then  $AB = ab$ . [...] But when the force acting at  $A$  also depends on the velocity  $v$ , then  $AB \neq ab$ .” (NAUENBERG, 2012, p. 921-932).

força central e é medido pela magnitude desse impulso de força dividido pelo intervalo de tempo decorrido entre esses impulsos” (NAUENBERG, 2012, p. 932, tradução nossa).<sup>25</sup>

No que diz respeito à massa [inercial], Nauenberg (2012) acrescenta que, embora esta não tenha aparecido explicitamente nas proposições de Newton, é inegável que ela desempenhou um papel central nos escólios precedentes às leis do movimento relativas às “regras de colisão e reflexão” dos corpos, embasados na terceira lei de movimento de Newton. Segundo o referido autor, a importância da massa também pode ser apreciada quando Newton se propôs a discutir sobre o movimento dos corpos atraídos mutuamente pela força centrípeta e, posteriormente, no momento em que se dedicou ao estudo dos movimentos dos planetas e satélites, em que descreveu seus experimentos de pêndulo a fim de verificar a equivalência de massa inercial e gravitacional.

O historiador, Bernard Cohen, autor da obra *Introduction to Newton's Principia* (*Introdução aos Principia de Newton*), de 1971, afirmou que “[...] a falha em ler o texto dos *Principia* (além das Definições e Leis) fez com que muitos escritores afirmassem incorretamente que Newton não "conhecia" a forma contínua da Segunda Lei.” (COHEN, 1971, p. 166, tradução nossa).<sup>26</sup> Newton nunca escreveu as seguintes equações:

$$f = ma; \text{ ou } f = m \frac{dv}{dt} = \frac{mdv}{dt} = \frac{md^2s}{dt}$$

Bem como nunca propôs uma equação fluxional do tipo:

$$f = m\dot{v} = m\ddot{s}$$

Apesar de Newton não ter escrito as equações, Cohen alega que:

[...] qualquer um que estude cuidadosamente a Proposição XLI do Livro I (ou muitos outros como Proposição XXIV, Teorema. XIX, Livro II) verá imediatamente que a mera ausência de uma equação ou o algoritmo diferencial ou fluxional não pode mascarar o fato de que Newton estava perfeitamente ciente da Segunda Lei na forma em que nós a conhecemos (COHEN, 1971, p. 166, tradução nossa).<sup>27</sup>

<sup>25</sup> “[...] “ $\Delta v$  is generated in the body in motion, it has a direction along the central force-impulse, and it is measured by the magnitude of this force-impulse divided by the elapsed time interval between these impulses” (NAUENBERG, 2012, p. 932).

<sup>26</sup> “[...] *Failure to read the text of the Principia (apart from the Definitions and Laws) has caused many writers to assert incorrectly that Newton did not 'know' the continuous form of the Second Law.*” (COHEN, 1971, p. 166).

<sup>27</sup> “[...] *anyone who studies carefully Prop. XLI of Book I (or many others, such as Prop. XXIV, Theor. XIX, Book II) will see at once that the mere absence of an equation or the differential or fluxional algorithm cannot mask the fact that Newton was perfectly aware of the Second Law in the form in which we know it*” (COHEN, 1971, p. 166).

Na Proposição 39 do Livro 1 dos *Principia*, Newton aplicou a segunda lei do movimento para obter a lei de conservação de energia para uma força contínua. Na sequência, na Proposição 41, empregou esta lei de conservação de energia às forças centrípetas. Já na proposição 51, Newton também considerou forças não centrais para o movimento restrito do pêndulo cicloide, afirmando a segunda lei em termos da aceleração do corpo ser proporcional à força aceleradora, onde “esta força aceleradora” refere-se ao componente da gravidade ao longo do normal ao fio de suspensão do pêndulo (NEWTON, 1990).

Por fim, na proposição 24 do Livro 2, Newton declarou que:

Pois a velocidade que uma força dada pode gerar numa matéria dada num tempo dado é diretamente como a força e o tempo, e inversamente como a matéria. Quão maior é a força ou o tempo, ou menor a matéria, maior é a velocidade. Isto é manifesto a partir da Segunda Lei do Movimento. (NEWTON, 2012, p. 85).

Essas proposições configuram para Nauenberg (2012) e Cohen (1971) razões suficientes para acreditarem que Newton pensou a sua segunda lei do movimento da forma como atualmente é interpretada. Contudo, Sharma (2014), no artigo *Isaac Newton, Leonhard Euler and  $F = ma$*  (Isaac Newton, Leonhard Euler e  $F = ma$ ), aponta que Nauenberg (2012) considerou erroneamente o movimento como sendo igual à quantidade de movimento, tendo em vista que a força é dependente da velocidade.

Aparentemente, no escólio V do *Principia*, Newton definiu o movimento como movimento absoluto: “movimento absoluto é a translação de um corpo de um lugar absoluto para outro” (NEWTON, 1990, p. 8). Essa translação é entendida como o movimento do corpo de um ponto para outro, indicativo que o corpo possui uma determinada velocidade. Já a conceituação da quantidade de movimento pode ser encontrada na definição II: “a quantidade de movimento é a medida do mesmo, obtida conjuntamente a partir da velocidade e da quantidade de matéria” (NEWTON, 1990, p. 2). A partir dessas colocações, é possível inferir que as definições de movimento absoluto e quantidade de movimento são inteiramente diferentes, de modo que o movimento não pode substituir a quantidade de movimento e vice-versa. Em relação à segunda lei “uma mudança de movimento é proporcional à força motriz impressa e é produzida na linha reta na qual a força é impressa” Sharma (2014, p. 504-505, tradução nossa) faz o seguinte questionamento:

A pergunta óbvia com a segunda lei é o que Newton quer dizer com “uma mudança de movimento”. Se ele quisesse dizer uma mudança no que chamamos de momentum - isto é, se ele quis dizer, na notação moderna,  $\Delta mv$  - o fraseado apropriado teria sido “uma mudança na quantidade de movimento”. No entanto, pode ser facilmente entendido através da compreensão dos termos quantidade de movimento e

movimento, conforme definido nos *Principia* em diferentes seções. Sem dúvida, estes dois são quantidades diferentes e não devem ser considerados iguais.<sup>28</sup>

Há, portanto, interpretações distintas e controversas em relação ao real significado atribuído por Newton à sua segunda lei. Contudo, em relação à formulação da equação  $F = ma$ , parece consenso entre os historiadores que a mesma não é de sua autoria. Newton procurou definir inicialmente importantes termos como inércia, força, repouso, movimento, gravidade, força centrípeta, etc. Os fenômenos físicos eram expressos na forma de leis, axiomas e proposições. Suas leis foram ilustradas por explicações descritivas e demonstrações geométricas, pois as equações ou métodos algébricos e analíticos não se faziam presentes. Ademais, os termos aceleração e segunda derivada (no caso, a aceleração como a segunda derivada da distância) ainda não tinham sido definidos, o que impossibilitaria a formulação de  $F = ma$ . De acordo com Sharma (2014, p. 503), a equação que traduz a ideia original de Newton, tendo a força dependente da velocidade, é:  $F = k(v - u)$  ou  $F\alpha(v - u)$ .

Diferentemente de Newton, que postulou uma força dependente da velocidade, Euler colocou a força como dependente da aceleração. A mecânica geométrica newtoniana foi transformada em mecânica analítica. Euler propôs de forma direta e independente quatro equações de força:  $F = ma/n$  (1736);  $F = 2ma$  (1750);  $F = ma/2g$  (1765) e finalmente  $F = ma$  (1775).

A obra de Euler é bastante vasta, em torno de 900 artigos, documentos científicos e livros em latim e francês, porém seus trabalhos não foram completamente estudados, portanto, pode ser que posteriormente sejam encontradas ainda mais equações. A formulação de  $F = ma$  se deu 48 anos após a morte de Newton, porém, equivocadamente é creditado a ele a autoria da equação na maioria dos livros didáticos e na literatura não especializada em geral.

### 1.3 LEONHARD EULER E A ORIGEM DAS FORÇAS

O físico e matemático suíço Leonhard Euler (1707-1783) foi um dos mais importantes cientistas do século XVIII. Sua influência ainda repercute hodiernamente no campo da

---

<sup>28</sup> “The obvious question with the second law is what Newton means by “a change in motion.” If he had meant a change in what we call momentum—that is, if he had meant in modern notation,  $\Delta mv$ —the proper phrasing would have been “a change in the quantity of motion.”<sup>8</sup> However it can be easily understood by understanding the terms quantity of motion and motion as defined in the *Principia* in different sections. Undoubtedly these two are different quantities and should not be regarded as the same” (SHARMA, 2014, p. 504-505).

Matemática e da Física. Nessas esferas do saber, Evangelista (2014, p. 55) ressalta que as contribuições de Euler:

[...] são imensas e envolvem geometria, teoria dos números, álgebra, estudos de séries infinitas, funções em geral e funções de uma variável complexa, cálculo diferencial e integral, cálculo variacional, mecânica, hidrodinâmica, astronomia, óptica, acústica, magnetismo, entre outras coisas. Ele foi o matemático que mais textos publicou ao longo da história dessa disciplina.

Os seus estudos concebem as forças como sendo o conceito fundamental da sua dinâmica, embora a sua medida, ou a sua comparação, seja relegada ao domínio da estática (FITAS, 1998). O interesse de Euler pelo entendimento das forças resultou na formulação da célebre expressão  $F = m.a^{29}$  que é exaustivamente empregada na resolução de questões de Física, principalmente no âmbito do Ensino Médio.

Além desta formulação matemática, Euler empreendeu esforços na tentativa de compreender o conceito de força sob a perspectiva da impenetrabilidade – resistência apresentada pelos corpos à penetração mútua. A impenetrabilidade, portanto, consistia na origem das forças. Euler, como um exímio matemático, provavelmente percebia que não era necessário compreender a origem das forças para dar sequência aos seus estudos sobre o movimento, pois as leis que o regem podem ser descritas independentemente deste conhecimento. Contudo, Euler era adepto à tradição da filosofia natural e, portanto, para ele, a razão carece “[...] conhecer as causas de todos os fenômenos e, mais especificamente, desse agente do movimento que é a força. Se, do ponto de vista matemático, ele pode dispensar esse conhecimento, do ponto de vista do saber, em geral, ele não o pode!” (EVANGELISTA, 2014, p. 63).

O trabalho de Euler situa-se no caminho entre a publicação dos *Principia* (1687) de Isaac Newton (1643-1727) e o despontamento da *Mécanique Analytique* (1788), de Joseph-Louis Lagrange (1736-1813). Esse período serviu de cenário para a elaboração de uma linguagem mais refinada da Física e da Matemática, tendo Euler como um dos expoentes científicos que proporcionaram o desenvolvimento de uma mecânica analítica que ainda é essencialmente igual à apresentada nos dias de hoje nos livros-textos.

### 1.3.1 A vida e obra de Leonhard Euler

---

<sup>29</sup> Esta formulação foi escrita em 1752, no artigo “Découverte d'un nouveau principe de Mécanique” (Descoberta de um novo princípio da Mecânica), por Leonhard Euler (EULER, 1752).

O físico e matemático Leonhard Paul Euler (1707-1783) nasceu no dia 15 de abril de 1707, na cidade de Basileia, na Suíça. Aos 6 anos Euler passou a residir com sua avó, ainda em Basileia, para dedicar-se a estudos clássicos e, aos 13 anos, ingressou na universidade da mesma cidade, contrariando a vontade de seu pai, que gostaria que ele estudasse teologia ao invés de matemática. Contudo, apesar de promover tal desapontamento, Euler manteve-se crente aos dogmas, princípios e práticas religiosas calvinistas no decorrer de toda sua vida.

Em 1723, aos 16 anos, “[...] recebeu o grau de mestre, com uma tese comparando as filosofias de Descartes e de Newton. Foi o discípulo preferido de Johann Bernoulli (1667-1748), irmão de Jacob, e muito amigo de seus filhos Nicolaus II (1695-1726), Daniel (1700-1782) e Johann II (1710-1790).” (D’AMBRÓSIO, 2008, p. 18). A vida de Euler se deu essencialmente em Basileia, Suíça<sup>30</sup> até os 20 anos (1707-1727); em São Petersburgo, Rússia, em dois períodos (1727-1741 e 1766-1783), e em Berlim, Prússia, de 1741 a 1766 (D’AMBROSIO, 2008). A relevância dos trabalhos de Euler estendeu-se por toda a Europa, o que fez com que ele passasse a ser membro de muitas academias científicas em outros países, entre elas, a Académie Royale des Sciences de Paris, a Royal Society of London e a Società Scientifica Privata Torinese. As mudanças realizadas por Euler provavelmente refletiram o tumultuoso momento político vivenciado na Europa neste período. Nas suas obras é possível perceber o domínio de diferentes línguas devido, possivelmente, à indefinição política que prevaleceu na Europa no século XVIII. Euler era, pois, um “cidadão do mundo”.

Há grandes indícios de que Leonhard Euler tenha sido o matemático mais prolífico da história, uma vez que sua obra e seus reflexos ainda são temas de estudos promovidos em diferentes eventos nacionais e internacionais. Conforme D’Ambrósio (2008, p. 14-15) ressalta: “suas Obras Completas, cuja publicação foi iniciada em 1911 e encontra-se em fase final, consistem em 84 volumes, e ainda está sendo planejado um volume adicional, com os manuscritos não publicados, cadernos e diários”, sendo que:

A maneira como foi organizada a publicação das Obras Completas reflete sua produção variada. Na Série I, estão as “Obras Matemáticas”; na Série II, as “Obras Mecânicas e Astronômicas”; na Série III, as “Obras Físicas e Miscelânea”; na Série IV-A, a “Correspondência” e, na Série IV-B, os “Manuscritos”, consistindo em material jamais publicado, cadernos e diários (D’AMBRÓSIO, 2008, p. 15).

Os trabalhos de Euler tinham como característica o fato de serem bem escritos, fazendo uso de importantes exemplos, principalmente no que diz respeito à matemática, uma vez que, de toda sua vasta produção, quarenta por cento referem-se a esta área e estão contidos em 30

---

<sup>30</sup> A efígie de Leonard Euler encontra-se em papel moeda na Suíça, como uma forma de homenageá-lo.

volumes da Série I. As demais publicações tratam da mecânica, ótica, acústica, astronomia, magnetismo, filosofia, além de outros temas. Muitos de seus estudos foram desenvolvidos a partir de correspondências trocadas com outros célebres cientistas da época:

A lista dos correspondentes é imensa. Com alguns, há uma intensa troca de cartas. Dentre seus correspondentes figuram, com maior intensidade, Nicolaus I Bernoulli, Clairaut, D'Alembert, Lagrange, Maupertuis e Frederico II. Também há correspondência com Daniel Bernoulli, Bertrand, Bonnet, Bouguer, Condorcet, Cramer, Delisle, Formey, Goldbach, Haller, Lalande, Lambert, Lesage, Lomonosov, Marinoni, Sanchez, Stanislaw Poniatowski, Segner, Wettstein e outras 260 pessoas. Curiosamente, encontram-se algumas cartas na forma de pequenas notas, tratando de assuntos os mais variados. (D'AMBRÓSIO, 2008, p. 15-16).

Para ter acesso a muitas obras e biografias de Euler é possível consultar o site oficial das comemorações dos 300 anos de seu nascimento, onde há inúmeras fontes disponíveis e confiáveis.<sup>31</sup>

A primeira obra de Euler dedicada à mecânica refere-se à *Mechanica sive motus scientia analytice exposita* (*Mecânica, ou a ciência do movimento exposta analiticamente*), publicada em São Petersburgo, em 1736. O livro discute sobre a cinemática e da dinâmica de uma partícula. O primeiro volume aborda o movimento da partícula no vácuo e, posteriormente, num meio resistente. Na sequência, é dada ênfase à problemática do movimento sob a ação de uma força central, servindo como introdução aos outros livros de Euler sobre mecânica celeste (EVANGELISTA, 2014).

De modo mais detalhado, Max Jammer (2011) esclarece que na respectiva obra, Euler:

[...] reduziu a mecânica teórica à dinâmica. Depois, Euler separou forças absolutas, como gravidade, cujos efeitos dinâmicos independiam de o corpo afetado estar em repouso ou movimento, e forças relativas, cujos efeitos dependiam da velocidade do corpo, como a hidrodinâmica de uma corrente líquida sobre um objeto. No começo, Euler discutiu o efeito da força em um único corpo (*corpus* significava ponto ou partícula de materiais). Depois, para generalizar os resultados para um conjunto de corpos, introduziu o conceito de massa, completando assim os fundamentos da maneira como desenvolveu a dinâmica. (JAMMER, 2011, p. 263).

Algumas décadas mais tarde, em 1765, Euler publicou o livro *Theoria motus corporum solidorum seu rigidorum* (*Teoria do movimento dos corpos sólidos ou rígidos*), que teve considerável reconhecimento na história da mecânica, pois, nele “Euler reuniu todas as suas diversas abordagens para o problema dos corpos rígidos e apresentou uma série bastante grande de casos particulares antes de chegar às suas equações fundamentais” (EVANGELISTA, 2014, p. 60).

<sup>31</sup> O endereço eletrônico é: <https://www.euler-2007.ch/en/>.

### 1.3.2 O desenvolvimento do conceito de força

No campo da Física, Euler desempenhou um importante papel: o de tentar reestruturar os fundamentos da mecânica. No período que o antecedeu, Isaac Newton definiu o conceito de força por meio apenas do formalismo matemático presente no *Principia*, empregando certos termos, como “atração”, “impulso” e “tendência” para um determinado centro, de modo indiscriminado, desconsiderando os aspectos físicos que subsidiavam tais expressões.

Como já discutido, a segunda lei de Newton não corresponde à equação  $F = ma$ , como destaca Westfall (1984, p. 185-186 apud NEVES, 2000, p. 552):

[...] usando os termos a rigor, as palavras de Newton dizem que  $F = \Delta mv$ , e não  $F = ma$ , nem  $F = \frac{d(mv)}{dt}$ , formas da segunda lei que nos são familiares. A enunciação newtoniana da lei reflete a fonte de seus primeiros estudos sobre choques e as exigências da geometria com a qual ele apresentou os *Principia*. Considerava que  $F = \Delta mv$ , se aproxima a  $F = ma$  como limite quando  $\Delta t$  se aproxima de zero. Na definição de força estava implícita [grifo do autor] a definição de massa, agora, pela primeira vez, claramente distinta do peso.

O enunciado de Newton condiz aparentemente à  $F = \Delta(mv)$ , pois a expressão “mudança de movimento” refere-se à uma mudança de velocidade ou de movimento, e não à aceleração. Para que  $F = ma$  fosse equivalente à segunda lei de Newton, este deveria ter se reportado à taxa de variação de movimento.

No livro III dos *Principia*, “[...] a órbita de um planeta sob a ação de uma força que varia com o inverso do quadrado da distância é determinada usando essa ideia” (EVANGELISTA, 2014, p. 65). Entretanto, quando Newton se debruçou sobre os impasses envolvendo fluídos (Livro II) ou corpos contínuos, ele não os elucidou empregando a equação  $F = ma$ , justamente porque quem a propôs foi Euler, anos mais tarde.

De acordo com Dias (2006, p. 205):

Para muitos cartesianos, o conceito de força ecoava as qualidades ocultas do que se chamava o pensamento comum. Padre Pierre Mersenne, o líder do cartesianismo, clamava que só uma ciência descritiva (assertórica) do movimento seria possível, descartando a possibilidade de uma ciência apodítica (DIAS, 2006, p. 205).

Nesse sentido, o desenvolvimento da mecânica clássica no século XVIII “[...] é frequentemente caracterizado em termos de uma progressiva e inexorável libertação de questões sobre a natureza essencial da substância, ou matéria, em favor da representação simbólica das relações matemáticas entre entidades materiais.” (TAKIMOTO, 2013, p. 23). Entretanto:

[...] a falta de uma Dinâmica bem fundamentada e universalmente aceita não impediu que, antes mesmo do *Principia*, sistemas dinâmicos tivessem sido corretamente



descritos, em particular, a queda dos corpos na superfície terrestre (Galileu Galilei) e o movimento dos planetas (Johannes Kepler). Além disso, no século XVIII foram desenvolvidos vários métodos para tratar sistemas dinâmicos. (DIAS, 2006, p. 205).

A ideia atribuída parcialmente ao físico e filósofo Ernst Mach (1838-1916) de que tudo o que se deu no século XVIII refere-se à elaboração de uma mecânica dedutiva e matemática, baseando-se essencialmente nas leis de Newton, é ingênua e enganosa, na melhor das hipóteses:

Os *Principia* de Newton precisavam muito mais do que uma reformulação em termos analíticos, se fosse a base para a mecânica abrangente desenvolvida no século XVIII. O livro II dos *Principia*, em particular, em que apareceu o problema da resistência oferecida ao movimento de um corpo finito por um meio fluido, foi geralmente (e com razão) pensado como estando em grande parte mal interpretado e confuso. Havia também uma série de áreas cruciais para a unificação da mecânica que Newton não explicava com os *Principia*: particularmente a dinâmica dos corpos rígidos, flexíveis e elásticos e a dinâmica de vários corpos com interações mútuas. (GAUKROGER, 1982, p. 132, tradução nossa).<sup>32</sup>

Alguns desses assuntos foram alvo de estudos preliminares ainda no século XVII, por cientistas como Galilei (1564-1642), Beeckman (1588-1637), Mersenne (1588-1648), Huygens (1629-1695), Hooke (1635-1703) e Leibniz (1646-1716). Contudo, foi somente no século XVIII que tais tópicos foram submetidos a um exame detalhado e a contribuição de Euler para a unificação de mecânica foi evidenciada.

Para Hesse (1961, p. 189, tradução nossa):

Os princípios da mecânica teórica são estabelecidos nas três leis do movimento de Newton, mas do modo como aparecem, elas só podem ser aplicadas para a massas pontuais sujeitas à forças externas. A aplicação delas a sólidos contínuos ou corpos fluidos requer hipóteses físicas, e aqui Newton não obteve sucesso.<sup>33</sup>

Ainda para a referida autora:

Euler deve ser considerado o verdadeiro fundador da mecânica de meios contínuos. Na obra "*Mechanica* de 1736", ele estabelece um programa para o desenvolvimento da mecânica de vários tipos de sistemas: corpos infinitamente pequenos, já traçados por Newton; corpos rígidos finitos; Corpos flexíveis; órgãos que se estendem e contraem, vários corpos com interações mútuas; fluidos. Destes, Euler iniciou a teoria da dinâmica rígida; foi menos bem-sucedido nos próximos três tópicos; mas acabou

---

<sup>32</sup> "Newton's *Principia* needed much more than a reformulation in analytic terms if it was to provide the basis for the comprehensive mechanics that was developed in the eighteenth century. Book II of the *Principia*, in particular, where the problem of the resistance offered to the motion of a finite body by a fluid medium was raised, was generally (and rightly) thought to be in large part mistaken and confused. There were also a number of areas crucial to the unification of mechanics which Newton did not deal with at all in the *Principia*: particularly the dynamics of rigid, flexible and elastic bodies, and the dynamics of several bodies with mutual interactions." (GAUKROGER, 1982, p. 132).

<sup>33</sup> "The principles of theoretical mechanics are stated in Newton's three laws of motion, but as they stand there they can be applied only to point masses subject to external forces. Their application to continuous solid or fluid bodies requires further physical hypotheses, and here Newton was not successful" (HESSE, 1961, p. 189).

por completar a teoria elementar dos movimentos de fluidos (HESSE, 1961, p. 189, tradução nossa).<sup>34</sup>

Euler obteve êxito ao aplicar o método matemático de Newton para solucionar dificuldades apontadas pelo mesmo. Nas palavras de Evangelista (2014, p. 66) ele “[...] foi capaz de escrever as componentes da velocidade de um corpo rígido, usando um sistema fixo de eixos ortogonais que se encontram no centro de gravidade do corpo”. Ademais, em seu trabalho, Euler rejeitou a ideia de atração à distância, considerando-a ininteligível (HESSE, 1961, p. 189).

Diante do exposto, percebe-se que tanto a teoria empregada para tratar o movimento dos corpos rígidos quanto a teoria destinada ao estudo dos meios contínuos (que descreve o movimento dos fluidos) foram elaboradas no século XVIII embasando-se na teoria para um ponto material proposta nos *Principia*. Entretanto:

[apesas d]as três leis de Newton serem usadas para problemas que envolvem - como Leonhard Euler as chamou - “massas pontuais”; porém, uma vez dadas as forças que atuam sobre uma massa-pontual, as três leis devem ser somadas a outros princípios para uma série de problemas mecânicos que envolvem corpos rígidos ou fluidos. (TAKIMOTO, 2013, p. 23).

Como já sinalizado, a “mecânica newtoniana” no século XVIII, tendo como âncora os princípios postulados nos *Principia*, não foi suficiente para a resolução de todos os problemas mecânicos conhecidos e inferidos à época.

Nesse sentido, em 1744, o próprio Euler colocou em forma diferencial a equação do movimento de Newton e a considerou como “um novo princípio”, não atribuindo créditos ao próprio Newton (DIAS, 2006, p. 206). A partir do emprego do formalismo do matemático Leibniz, do sistema cartesiano de coordenadas e do teorema de Galileu, Euler estabeleceu a relação  $\alpha = \text{força}/\text{massa}$ . Contudo, como já foi dito, não menciona as equações de Newton, mas sim as considera como um “novo princípio”. Em outras palavras:

Leonhard Euler, na *Mechanica*, por meio de axiomas, definições e deduções lógicas, propôs construir uma ciência racional da mecânica, bem como demonstrar que a mecânica newtoniana era uma ciência apodítica; sua verdade não era contingente, mas necessária. Ainda adotando o ponto de vista do realismo clássico, Euler considerou a força um conceito fundamental de sua dinâmica, embora a comparação e a medição das forças fossem relegadas à estática (JAMMER, 2011, p. 262).

---

<sup>34</sup> “Euler must be regarded as the real founder of the mechanics of continuous media. In this “*Mechanica of 1736*” he sets out a programme for the development of the mechanics of various kinds of systems: infinitely small bodies, already treated by Newton; finit rigid bodies; flexible bodies; bodies which extend and contract; several bodies with mutual interactions; fluids. Of these, Euler initiated the theory of rigid dynamics; was less successful with the next three topics; but eventually completed the elementary theory of motions of fluids” (HESSE, 1961, p. 189).

Nas palavras de Euler, “a potência é uma força que inicia o movimento de um corpo (originalmente) ou que altera seus movimentos” (EULER, 1736 apud JAMMER, 2011, p. 262). Desse modo, a gravidade poderia ser considerada uma força desse tipo, portanto, uma potência. Sendo que o termo *potência* correspondia à ideia de *força aceleradora*.

Euler dispendeu de tempo e interesse na tentativa de compreender as causas das forças, considerando-as oriundas mais de uma vertente metafísica do que física ou matemática. No capítulo II da *Mechanica*, definiu a ideia de força sem contudo apresentar as suas causas, mas sim baseando-se nos seus efeitos: “a força é uma ação sobre um corpo livre que leva ao movimento do corpo inicialmente em repouso ou altera o movimento desse corpo” (EULER, 1736, p. 47, tradução nossa)<sup>35</sup>. Em outro momento, entretanto, Euler atentou-se à discussão das causas e origens das forças e, “dentre todas as forças que podem realmente existir no mundo, Euler considerou somente a gravitação. E, para essa força, segundo ele, era preciso determinar uma origem, uma causa.” (EVANGELISTA, 2014, p. 61).

Em estudos posteriores, Euler passou a determinar que a força merecedora de destaque era a oriunda da impenetrabilidade da matéria. Nesta perspectiva, a necessidade de definir com maior precisão e riqueza o conceito de força era evidente para Euler, porém, ele evitava se aprofundar nas complexidades metafísicas intrínsecas a este tema. Segundo o mesmo, era importante que a ideia de força não fosse redundante, bem como não se constituísse como algo absolutamente primitivo, mas sim representasse algo mais intuitivo - a impenetrabilidade da matéria. Na perspectiva de Euler:

Os fundamentos finais da mecânica deveriam ser dados em termos de algo que poderia ser entendido como sendo necessário e auto evidente, e era necessário e evidente para ele que os corpos fossem impenetráveis: era impossível conceber um corpo (isto é, matéria cheia, sólida, livre de vácuo) sendo penetrado, pois isso exigiria que dois corpos estivessem no mesmo lugar, o que é impossível (GAUKROGER, 1982, p. 133, tradução nossa).<sup>36</sup>

Os pressupostos teóricos adotados por Euler condiziam com os procedimentos cartesianos, apesar dos mesmos terem sido praticamente extintos na época, pois, por meio destes era possível construir uma mecânica apodítica com bases evidentes e necessárias.

---

<sup>35</sup> “A force is an action on a free body that either leads to the motion of the body at rest, or changes the motion of that body” (EULER, 1736, p. 47).

<sup>36</sup> “[...] the ultimate foundations of mechanics had to be given in terms of something which could be grasped as being both necessary and self-evident, and it was necessary and self-evident for him that bodies are impenetrable: it was impossible to conceive of a body (i.e. full, solid matter free from vacuum) being penetrated since this would require that two bodies be in the same place at the same time, which is impossible” (GAUKROGER, 1982, p. 133).

Todavia, Euler procurava não explicitar nenhum compromisso evidente com o método cartesiano e seu trabalho fundamental permaneceu, em consequência, em dívida com Descartes:

Para simplificar um pouco, para Euler [...] era uma questão de espremer a mecânica newtoniana em uma forma cartesiana, uma forma que fosse possível torná-la mais certa e mais frutífera. A certeza da nova mecânica era derivar de sua estrutura, mas mais importante ainda da natureza dos fundamentos dessa estrutura. Essas bases eram de um tipo rigorosamente cartesiano: não podiam ser dúvidas sem receio de contradição. [Esta] foi a essência do projeto fundamental de Euler. A dinâmica newtoniana, adequadamente reformulada, teve que ser mostrada não apenas como verdadeira, mas como necessariamente verdadeira (GAUKROGER, 1982, p. 134, tradução nossa).<sup>37</sup>

Euler buscou distinguir princípios internos e externos. Todo movimento devia possuir uma relação, seja devido a fatores internos ou externos, e havia uma dificuldade acentuada em identificar de qual fator a ação era oriunda. Uma possível condição para a resolução deste problema era supor a existência de um corpo isolado, onde haveria uma separação mais evidente dos fatores. Tal separação constituía-se como uma abstração que se justificava diante da ponderação de que a totalidade dos corpos interagira tão de perto que a remoção de um acarretaria na destruição dessa interação, bem como seria capaz de mostrar quais os efeitos que a interação tem no corpo e o que é devido ao próprio corpo. O funcionamento dos princípios "internos" era então investigado em termos das condições que um corpo teria para alterar seu estado de movimento ou repouso.

A inércia era, portanto, entendida como a perseverança apresentada pelo corpo para manter-se em seu estado de repouso ou movimento retilíneo uniforme. Para Euler, quando não se detectavam forças agindo sobre um corpo, o estado absoluto do mesmo podia ser medido e, então, ele mostra que:

se um corpo estiver em repouso ou movimento absoluto, os axiomas para repouso e movimento relativos também se aplicam. Por outro lado, por causa da inércia, os corpos persistirão não apenas no mesmo estado absoluto, mas também no mesmo estado relativo, fornecendo ao corpo pelo qual o movimento é medido, se o mesmo encontra-se absolutamente em repouso ou tem velocidade uniforme” (GAUKROGER, 1982, p. 135, tradução nossa).<sup>38</sup>

---

<sup>37</sup> “*To simplify somewhat for Euler [...]it was a question of squeezing Newtonian mechanics into a Cartesian shape, a shape which, it was hoped, was to render it more certain and more fruitful. The certainty of the new mechanics was to derive from its structure, but more importantly from the nature of the foundations of that structure. These foundations were of a rigorously Cartesian type: they could not be doubted without fear of contradiction. [...] was the essence of Euler's foundational project. Newtonian dynamics, suitably reformulated, had to be shown not just to be true but to be necessarily true*” (GAUKROGER, 1982, p. 134).

<sup>38</sup> “[...] *if a body is in absolute rest or motion the axioms for relative rest and motion also apply. Conversely, because of inertia, bodies will persist not only in the same absolute state but also in the same relative state providing the body by which the motion is measured is absolutely at rest or has uniform velocity*” (GAUKROGER, 1982, p. 135).

Os princípios "externos" podiam ser entendidos sob a forma de força, que é responsável pela mudança de estado de um corpo. Na ausência de força, um corpo permanecerá em seu estado, a menos que seja modificado por forças externas. Do mesmo modo, um corpo não podia alterar seu próprio estado, porém era capaz de mudar o dos outros, esforçando-se para preservar o seu estado durante o impacto, sendo que essa perseverança é que cede a força necessária para promover a mudança de estado de outros corpos. Segundo Euler:

A razão pela qual dois corpos não podem perseverar em seus estados durante o impacto é porque são impenetráveis. Além disso, a impenetrabilidade deve envolver inércia. Uma vez que os corpos são as únicas coisas impenetráveis, e como todos os corpos necessariamente têm inércia, tudo o que é impenetrável deve ter inércia. Portanto, pode-se considerar a impenetrabilidade como sendo a origem de todas as forças. A própria impenetrabilidade baseia-se no princípio de que dois corpos não podem estar no mesmo lugar ao mesmo tempo. Uma vez que é uma propriedade necessária dos corpos, nenhuma força, por maior que seja, pode até mesmo tender a compactar dois corpos em um só lugar. Além disso, uma vez que a impenetrabilidade depende de um corpo que tenha um lugar, o lugar deve ser distinto do corpo [...]

(GAUKROGER, 1982, p. 136, tradução nossa).<sup>39</sup>

A impenetrabilidade era concebida como a essência dos corpos. Estes só são impenetráveis se, ao sofrerem um impacto, passem a agir uns sobre os outros, exercendo forças pelas quais era possível alterar o estado do outro e vice-versa, de modo a evitar a penetração, uma vez que, se houver alteração de estado, deviam existir forças atuando e isso somente podia ocorrer devido à impenetrabilidade. Em resumo, as forças pelas quais o estado de um corpo era modificado teria origem na impenetrabilidade e seu efeito era a prevenção da penetração. É válido ressaltar, contudo, que a impenetrabilidade não era quantificável, de modo que as magnitudes das forças não podiam depender da mesma, pois, ao invés disso, elas decorriam das alterações de estado necessárias para evitar a penetração. Essas forças eram exercidas somente na proporção em que a penetração era evitada, e a impenetrabilidade, por sua vez, sempre fornecia força suficiente para isso.

A compreensão do conceito de impenetrabilidade é fundamental para entender o pensamento de Euler, pois em sua concepção, somente as forças oriundas da impenetrabilidade eram capazes de alterar os estados dos corpos:

---

<sup>39</sup> “*The reason why two bodies cannot persevere in their states during impact is because they are impenetrable. Moreover, impenetrability must involve inertia. Since bodies are the only things that are impenetrable, and since all bodies necessarily have inertia, whatever is impenetrable must have inertia. (Note that the converse of this principle does not hold and is explicitly denied below.) We can therefore consider impenetrability as being the origin of all forces. Impenetrability itself rests upon the principle that two bodies cannot be in the same place at the same time. Since it is a necessary property of bodies no force, however great, can even tend to compact two bodies into one place. Moreover, since impenetrability depends on a body having a place, place must be distinct from body [...]*” (GAUKROGER, 1982, p. 136).

Qualquer força que atuasse de outra forma teria que agir a distância. Essa ação teria que ser completamente independente da impenetrabilidade: é, portanto, impossível dizer pelo mecanismo que poderia agir e como poderia afetar os estados dos corpos. Devemos concluir, portanto, que as únicas forças mecanicamente relevantes são aquelas forças de contato devido à impenetrabilidade. (GAUKROGER, 1982, p. 137, tradução nossa).<sup>40</sup>

Euler imaginava que a impenetrabilidade servia como base para a mecânica, na medida em que lhe permitia obter os resultados exigidos. A concepção de que a impenetrabilidade constituía a essência do corpo dependia de duas premissas; a primeira referia-se ao fato de a mesma ser exclusiva do corpo e a segunda dizia respeito à condição da impenetrabilidade ser irreduzível, no sentido de ser uma noção primitiva. Euler, possuía boas razões para ter concebido a impenetrabilidade como sendo primitiva, pois a relação de impenetrabilidade com a extensão e a inércia (também entendidas como primitivas) não eram aparentes, e ele não fez nenhuma tentativa de deduzir estes conceitos da impenetrabilidade, visto que não considerou que estes fossem essências derivadas. Sobre a *extensão*, Euler não teve uma pretensão explícita em derivar a extensão do movimento. Contudo, o problema consistia em demonstrar por que os corpos necessariamente devem ser extensos e inerciais.

Na carta LXX escrita por Euler para a princesa da Alemanha, há uma discussão com mais precisão sobre a impenetrabilidade dos corpos:

O exemplo de uma esponja talvez seja produzido como uma objeção à impenetrabilidade dos corpos, que mergulhados na água, parece completamente penetrado por ela. Mas, as partículas da esponja estão muito longe de estar assim [...]. Sabemos que a esponja é um corpo muito poroso; e que antes de ser colocado na água, os poros estão cheios de ar; quando a água entra nos poros da esponja, o ar é expelido e se desprende sob a forma de pequenas bolhas; de modo que, neste caso, nenhuma penetração ocorra, nem do ar [...] (CARTA LXX, 1802, p. 267, tradução nossa).<sup>41</sup>

Como já mencionado, a impenetrabilidade era entendida como uma propriedade geral e essencial de todo corpo, sendo este uma extensão impenetrável, uma vez que, não só os corpos são estendidos e impenetráveis, mas também, reciprocamente. O vácuo era, conseqüentemente, excluído da classe de corpos.

---

<sup>40</sup> “Any force which acted otherwise would have to act at a distance. Such action would have to be completely independent of impenetrability: it is therefore impossible to say by what mechanism it could act and how it could affect the states of bodies. We must conclude, therefore, that the only mechanically relevant forces are those contact forces due to impenetrability” (GAUKROGER, 1982, p. 137).

<sup>41</sup> “The instance of a sponge will, perhaps, be produced as an objection to the impenetrability of bodies. which, plunged into water, appears completely penetrated by it. But, the particles of the sponge are very far from being so [...]. We know that sponge is a very porous body; and that before it is put into the water, its pores are filled with air; as soon as the water enters into the pores of the sponge, the air is expelled, and disengages itself under the form of little bubbles; so that, in this case, no penetration takes place, neither of the air [...]” (LETTER LXX, 1802, p. 267).

Ainda na perspectiva de Euler era sugestivo que fossem removidas as dificuldades levantadas contra a impenetrabilidade dos corpos. Existiam objeções que admitiam a compressão de corpos em um espaço menor, como, por exemplo, a lã e o ar, sendo considerado possível a redução em um espaço mil vezes menor do que aquele que ocupa.

Parece, então, que as diferentes partículas de ar são reduzidas à um mesmo lugar, e que, conseqüentemente, elas se penetram mutuamente. Não há, no entanto, nada nisso; pois o ar também é corpo, ou uma substância cheia de poros vazios, ou cheia desse fluido, incomparavelmente mais sutil, a que chamamos éter. No primeiro caso, não haverá penetração, pois as partículas de ar só se aproximam umas das outras conforme o vácuo é diminuído; e, no outro caso, o éter encontra uma suficiência de pequenas passagens pelas quais escapam, à medida que as partículas do ar se aproximam, mas o tempo todo impedem qualquer penetração mútua. Por essa razão, é necessário empregar uma força maior quando queremos comprimir mais o ar: e se o ar fosse comprimido a tal ponto que suas minúsculas partículas se tocavam, não poderíamos levar a compressão mais longe, porque, se fosse possível, as minúsculas partículas do ar deveriam penetrar mutuamente (CARTA LXX, 1802, p. 268, tradução nossa).<sup>42</sup>

Havia uma lei fundamental na natureza que prezava pelo fato de que dois corpos não podem penetrar um no outro, isto é, ocupar o mesmo lugar. E, como dois corpos não podiam continuar seu movimento sem penetrar um no outro, é absolutamente necessário que um dê lugar ao outro. Para Euler, se dois corpos estavam se movendo na mesma linha, um para a esquerda, o outro para a direita, como frequentemente acontece no bilhar, e se cada um continuasse com o movimento, eles deveriam penetrar mutuamente, mas isso seria impossível: quando eles se tocam, ocorre um choque, pelo qual o movimento de cada corpo era quase instantaneamente alterado e esse choque era produzido, na natureza, apenas para impedir a penetração. O movimento de cada corpo é precisamente alterado, não mais do que o necessário para impedir toda penetração e nisso consistia a causa real de todas as mudanças que acontecem no mundo (CARTA LXX, 1802).

As mudanças nos corpos eram provocadas a fim de evitar alguma penetração. Nas palavras de Euler:

No momento em que escrevo, observo que, se o papel fosse penetrável, a caneta passaria livremente por ele, sem escrever: mas como o papel sustenta a pressão da minha caneta, umedecida com tinta, recebe dele algumas partículas que formam essas

---

<sup>42</sup> “It appears, then, that the different particles of air are reduced in the same place, and, that, consequently, they mutually penetrate. There is, however, nothing in this.; for the air, too, is body, or a substance full of empty pores, or skilled with that fluid, incomparably more subtle, which we call ether. In the first case, no penetration will ensue, as the particles of air only approach nearer to each other, according as the vacuum is diminished; and, in the other case, the ether finds a sufficiency of small passages by which to escape, as the particles of the air approach each other, but all the while without any mutual penetration. For this reason, it is necessary to employ a greater force when we want to compress the air more: and if the air were compressed to such a degree, that it's minute particles touched each other, we could not carry the compression farther, because, were it possible, the minute particles of the air must mutually penetrate” (Letter LXX, 1802, p. 268).

letras; o que não poderia acontecer se os corpos penetrassem um no outro .(CARTA LXX, 1802, p. 269, tradução nossa)<sup>43</sup>.

A impenetrabilidade exercia um papel essencial no desenvolvimento das concepções de Euler, uma vez que o mesmo acreditava que ela era capaz de fornecer explicações mais claras a respeito da natureza dos corpos e dos princípios de todas as espécies de movimento, comumente chamadas de leis do movimento.

### 1.3.3 O movimento dos corpos

Em relação aos movimentos dos corpos, Euler mostrava-se inquieto quanto ao diagnóstico de repouso ou movimento dos mesmos, pois:

por mais evidente que essa distinção possa ser, é quase impossível julgar se um corpo está em um estado ou no outro. O papel que vejo na minha mesa parece-me realmente em repouso; mas quando penso que toda a terra está se movendo com aquela velocidade espantosa [...], minha casa, minha mesa e o papel devem absolutamente ser carregados com a mesma rapidez. Assim, tudo o que parece estar em repouso tem, na realidade, o mesmo movimento que a Terra (CARTA LXXI, 1802, p. 270, tradução nossa).<sup>44</sup>

Tendo em vista a dificuldade de presumir o estado no qual o corpo se encontra, diz-se que um corpo está em um estado de aparente descanso, quando preserva a mesma situação na Terra, já que existe uma incapacidade de julgar o repouso absoluto. Sendo assim, era natural considerar que os corpos estavam em repouso quando preservam a mesma situação relativamente à Terra. Igualmente, era muito provável que os habitantes de outros planetas formem também seu julgamento de descanso relativamente a seu respectivo planeta.

Com o propósito de compreender as leis do movimento, Euler passou a considerar um corpo individual, pois assim seria possível distinguir o que é operado pela natureza do próprio corpo daquilo que outros corpos são capazes de operar sobre ele.

Deixe um corpo, então, ficar sozinho e em repouso; pode ser perguntado, continuará em repouso ou começará a se mover? Como não há razão para que se incline para um lado e não para outro, conclui-se que permanecerá sempre em repouso. O mesmo deve acontecer, na suposição da existência de outros corpos, desde que não atuem no corpo em questão; daí resulta essa lei fundamental: quando um corpo está em um estado de

<sup>43</sup> “*At the moment i am writing, i observe, that if the paper were penetrable, the pen would pass freely into it, without writing; but as the paper sustains the pressure of my pen, moistened with ink, it receives from it some particles which form these letters; which could not happen if bodies penetrated each other*” (LETTER LXX, 1802, p.269).

<sup>44</sup> “*However evident this distinction may be, it is almost impossible to judge whether a body is in one state, or in the other. The paper which i see on my table seems to me really at rest; but when i resect that the whole earth is moving with that astonishing velocity [...], my house, my table, and the paper, must absolutely be carried along with the same rapidity. Thus, everything that seems to be at rest, has, in reality, the same motion as the Earth*” (LETTER LXXI, 1802, p. 270).



repouso, e nada externo age sobre ele, ele permanecerá sempre nesse estado: e se ele começar a se mover, a causa do movimento estará fora dele, então que não há nada no corpo em si que o coloca em movimento. Quando nós sentimos que um corpo que estava em repouso começa a se mover, podemos ter certeza de que esse movimento foi ocasionado por um poder exterior, já que não há nada no próprio corpo capaz de colocá-lo em movimento; e se estivesse sozinho e isolado de toda comunicação com outros corpos, permaneceria sempre em repouso (CARTA LXXI, 1802, p. 272, tradução nossa).<sup>45</sup>

Na perspectiva euleriana os pressupostos teóricos eram bem fundamentados, contudo, Euler afirmava que havia pessoas pouco acostumadas a investigações profundas que, com efeito, fingem ser contraditas pela experiência. Tais pessoas:

[...] alegam o exemplo de um fio, ao qual uma pedra é anexada; a pedra está em repouso, mas cai no momento em que o fio é cortado. É certo, digamos, que a ação pela qual o fio é cortado não é capaz de fazer a pedra se mover; a pedra, portanto, deve cair por um poder que é próprio de si mesmo e interno (CARTA LXXI, 1802, p. 273, tradução nossa).<sup>46</sup>

A gravidade era, portanto, um poder intrínseco, ligado à natureza da pedra, em que se devia observar que a gravidade era produzida por uma matéria sutil ou pela atração da Terra. No caso supracitado, certamente era aquela matéria sutil que causaria a descida da pedra.

Euler defendia que a gravidade era a causa da descida, e não uma força interna à pedra, visto que:

É certo, portanto, que a causa da descida não reside na própria pedra: a causa, então; é sempre extrínseco, seja na matéria sutil ou na Terra, supondo que seja dotado de um poder atrativo, como fingem os partidários da atração. Essa dificuldade sendo removida, a lei que estabeleci substitui com força total; a saber, que um corpo, uma vez em repouso, sempre permanecerá assim, a menos que seja colocado em movimento por alguma causa externa. Esta lei deve ocorrer, desde que o corpo esteja em repouso, mas em um único instante [...] e, quando reduzido a um estado de repouso, sempre preservará esse estado, a menos que alguma causa externa intervenha para colocá-lo novamente em movimento. Sendo este princípio o fundamento de toda a mecânica, foi necessário que eu o estabelecesse com toda a precisão possível (CARTA LXXI, 1802, p. 274, tradução nossa).<sup>47</sup>

---

<sup>45</sup> *“Let a body, then, be alone, and at rest; it may be asked, will it continue at rest, or will it begin to move? As there is no reason which should incline it to move to one side rather than to another, it is concluded that it would remain always at rest. The same thing must happens, on the supposition of the existence of other bodies, provided they do not action the body in question; hence results this fundamental law: When a body is once in a state of rest, and nothing external acts upon it, it will remain always in that state: and if it begin to move, the cause of motion would be out of it, so that there is nothing in the body itself which is caplet of putting it in motion. When, therefore, we see a body which has been at rest begin to move, we may rest assured that this motion has been occasioned by an exterior power, as there is nothing in the body itself capable of putting it in motion; and if it were alone, and cut off from all communication with other bodies, it would remain always at rest”* (LETTER LXXI, 1802, p. 272).

<sup>46</sup> *“They allege the example of a thread, to which a stone is appended; the stone is at rest, but falls the moment that the thread is cut. It is certain, say they, that the action by which the thread is cut is not capable of making the stone move; the stone, therefore, must fall by a power which is proper to itself, and internal”* (LETTER LXXI, 1802, p.273).

<sup>47</sup> *“It is certain, therefore, that the cause of the descent does not reside in the stone itself: the cause, then; is always extrinsic, whether it be in the subtitle matter or in the earth, supposing it to be endowed with an attractive power,*

Na carta LXXII, cujo propósito consistiu em discutir o movimento uniforme, acelerado e retardado, Euler voltou-se à análise de um corpo isolado posto em movimento por causas externas. Os questionamentos diziam respeito ao que aconteceria na sequência. O corpo continuaria se movendo? Ou voltaria repentinamente a um estado de repouso; ou depois de algum tempo?

Para tanto, havia duas questões a serem consideradas: *direção* e *velocidade*. A direção dizia respeito ao lugar para onde o corpo era carregado, e a velocidade correspondia ao espaço, maior ou menor, através do qual o corpo se movia em um certo período de tempo. A direção de um corpo era preservada se ele mantivesse o movimento em linha reta. Porém, se o corpo estivesse se movendo em curvas, a posição estaria sofrendo mudanças continuamente.

A partir do estudo dos movimentos, Euler buscou caracterizar o movimento uniforme:

Um corpo preserva a mesma velocidade, enquanto o movimento se dá através de espaços iguais em tempos iguais. Esse movimento é chamado de uniforme. Assim, por exemplo, se um corpo se move de maneira a sempre avançar dez pés durante cada segundo, chamamos esse movimento de uniforme. Se outro corpo prossegue vinte pés por segundo, o movimento também seria uniforme, mas a velocidade seria duas vezes maior que a do precedente (CARTA LXXII, 1802, p. 276, tradução nossa).<sup>48</sup>

Assim, o movimento uniforme ocorria quando a velocidade de um corpo se mantinha constante. O movimento era caracterizado como movimento acelerado quando o corpo sofria um aumento contínuo de velocidade e, ao contrário, retardado quando a velocidade do corpo estava continuamente diminuindo. Neste último caso, a velocidade podia vir a ser retardada a tal ponto que o corpo pudesse finalmente chegar a um estado de repouso.

Após algumas observações sobre a velocidade e a direção dos corpos em movimento, volta-se novamente ao caso de um corpo solitário, posto em movimento devido a causas externas. Euler, perguntava se, após dado início ao movimento, o corpo teria adquirido certa direção e velocidade ou sofreria alguma alteração. Segundo ele, não se devia afirmar que o movimento do corpo seria reduzido a um estado de repouso em um instante, pois, neste caso,

---

as the partisans of attraction pretend. This difficulty being removed, the law, which i have laid down, subsists in full force; namely, that a body, once at rest, will always remain so, unless it be put in motion by some foreign cause. This law must take place, provided the body has been at rest but a single instant [...] and, when once reduced to a state of rest, it will always preserve that state, unless some foreign cause intervenes to put it again in motion. This principle being the foundation of all mechanics, it was necessary for me to establish it with all possible precision” (LETTER LXXI, 1802, p. 274).

<sup>48</sup> “A body preserves the same velocity in it is motion as long at it moves through equal spaces in equal times. This motion is called uniform. Thus, for example, if a body moves in such a manner as always to proceed ten feet during every second, we call this motion uniform. If another body proceeds twenty feet in a second, it is motion too would be uniform, but it is velocity would be twice as great as that of the preceding” (LETTER LXXII, 1802, p. 276).

não poderia haver movimento algum. Assim, enquanto o movimento perdurasse, seria certo que a direção permaneceria a mesma. Da mesma forma, a velocidade do corpo também não mudaria.

Podia-se inferir, portanto, que se fosse observado um corpo em repouso ou em movimento, ou um corpo se movendo numa linha curva, ou a velocidade sofrendo alterações, era certo que havia uma causa externa atuando sobre este corpo, pois nenhuma mudança ocorreria, tanto na direção, quanto na velocidade, a não ser em decorrência de uma causa externa.

O exemplo do corpo solitário podia ser estendido à Terra, uma vez que, se nenhum outro corpo tivesse qualquer influência sobre ela, seria como se eles não existissem. A partir de seus estudos, Euler concluiu seus pensamentos e os expressou por meio de duas proposições:

Primeiro; um corpo, uma vez em repouso, permanecerá eternamente em repouso, a menos que seja posto em movimento por alguma causa externa ou estrangeira: Em segundo lugar; um corpo, uma vez em movimento irá preservá-lo eternamente, na mesma direção e com a mesma velocidade; ou prosseguirá com um movimento uniforme, em linha reta, a menos que seja perturbado por alguma causa externa ou estrangeira (CARTA LXXIII, 1802, p. 283, tradução nossa).<sup>49</sup>

A partir destas postulações Euler fundamentou a ciência do movimento, denominada mecânica.

Do mesmo modo que Euler concebeu que um corpo, enquanto está em repouso, permanece no mesmo estado, ele também postulou que um corpo em movimento, movendo-se com a mesma velocidade e direção, tende a permanecer no mesmo estado. Ou seja, continuar no mesmo estado significa permanecer em repouso ou preservar o mesmo movimento. Nas palavras de Euler:

Todos os corpos, na medida em que são compostos de matéria, têm a propriedade de permanecer no mesmo estado, se não forem retirados por alguma causa externa. Esta, então, é uma propriedade fundada na natureza dos corpos, pela qual eles se esforçam para se preservar no mesmo estado, seja de repouso ou movimento. Essa qualidade com que todos os corpos são dotados, e que é essencial para eles, é chamada de inércia, e entra necessariamente em sua constituição como extensão e impenetrabilidade; a tal ponto, que seria impossível que um corpo existisse, sem a inércia (CARTA LXXIV, 1802, p. 284-285, tradução nossa).<sup>50</sup>

---

<sup>49</sup> “*First; a body once at rest will remain eternally at rest, unless it be put in motion by some external or foreign cause: Secondly; a body once in motion will preserve it eternally, in the same direction, and with the same velocity; or will proceed with an uniform motion, in a straight line, unless it is disturbed by some external, or foreign cause*” (LETTER LXXIII, 1802, p. 283).

<sup>50</sup> “*All bodies, in as far as they are composed of matter, have the property of remaining in the same state, if they are not drawn out of it by some external cause. This, then, is a property founded on the nature of bodies, by which they endeavor to preserve themselves in the same state, whether of rest or motion. This quality with which all bodies are endowed, and which is essential to them, is called inertia, and it enters as necessarily into their*

O conceito de inércia refere-se a uma repugnância para tudo que tem a tendência de mudar o estado dos corpos. A causa externa que propicia a alteração no estado de repouso e movimento recebeu o nome de *poder* ou *força*, ou seja, o termo *força* significando tudo o que é capaz de mudar o estado dos corpos.

Assim, quando um corpo que está em repouso é colocado em movimento, é uma força que produz esse efeito; e quando um corpo em movimento muda a direção, ou velocidade, é como uma força que produz essa mudança. Toda mudança de direção, ou de velocidade, no movimento de um corpo, requer um aumento ou uma diminuição da força. Tal força, portanto, está sempre fora do corpo. Todo o estado é alterado; pois [...] um corpo deixado para si preserva sempre o mesmo estado, a menos que uma força de fora atue sobre ele (CARTA LXXIV, 1802, p. 286, tradução nossa).<sup>51</sup>

A inércia existia no próprio corpo e na sua propriedade essencial. Desse modo, quando uma força externa modifica o estado de repouso ou movimento, a inércia opõe-se à ação dessa força e, portanto, trata-se de uma qualidade suscetível de medição. A inércia de um corpo podia ser maior ou menor que a de outro corpo. Contudo, os corpos eram dotados dessa inércia na medida em que continham matéria, isto é, a inércia de um corpo era maior em proporção à quantidade de matéria que ele continha. Por conseguinte, era necessária uma força maior para mudar o estado de um corpo grande do que de um pequeno, tendo em vista que o corpo maior contém mais matéria (CARTA LXXIV, 1802).

Para Euler, a inércia era suscetível de medição, sendo igual à quantidade de matéria que um corpo continha. A quantidade de matéria de um corpo podia ser considerada como sendo a sua massa. Em decorrência, a medida da inércia era a mesma que a da massa. A partir destas inferências, Euler teceu importantes considerações a respeito do conhecimento dos corpos em geral:

Primeiro, [...] todos os corpos têm uma extensão de três dimensões; em segundo lugar, eles são impenetráveis; e daí resulta sua propriedade geral, conhecida pelo nome de inércia, pela qual eles se preservam em seu estado [...] até que alguma causa externa se interponha para produzir uma mudança nela. Sempre que o estado de um corpo muda, nunca devemos procurar a causa de tal mudança no próprio corpo; existe

---

constitution as extension and impenetrability; to such a degree, that it would be impossible for a body to exist, divested of this inertia" (LETTER LXXIV, 1802, p. 284-285).

<sup>51</sup> "Thus, when a body which has been at rest is put in motion, it is a force which produces this effect; and when a body in motion changes it is direction, or velocity, it is like wife a force which produces this change. Every change of direction, or of velocity, in the motion of a body, requires either an increase or diminution of force. Such force, therefore, is always out of the body whole state is changed; for [...] that a body left to itself, preserves always the same state, unless a force from without acts upon it" (LETTER LXXIV, 1802, p. 286).

sempre fora do corpo, e esta é a ideia que devemos formar de um poder ou força (CARTA LXXIV, 1802, p. 287, tradução nossa).<sup>52</sup>

Nesta perspectiva, ao tomar como exemplo uma pedra caindo, a causa externa que propicia a sua queda recebe o nome de gravidade. Conforme Euler destaca, “a gravidade, então, não é uma propriedade intrínseca do corpo; é antes o efeito de uma força externa, cuja fonte deve ser procurada fora do corpo. Isto é geometricamente verdadeiro, embora não saibamos as forças estrangeiras que ocasionam a gravidade” (CARTA LXXV, 1802, p. 289 -290, tradução nossa).<sup>53</sup>

Quando uma pedra é lançada para cima, o sentido e a velocidade nem sempre continuam as mesmas. Era a gravidade a responsável pela mudança de sentido ou de velocidade do corpo, mas para isso, a pedra descreveria uma linha reta no ar e avançaria com a mesma velocidade e, se a gravidade fosse subitamente aniquilada, durante o movimento da pedra, ela continuaria a se mover em linha reta, e preservaria o mesmo sentido e a mesma velocidade que tinha no momento em que a gravidade deixou de agir sobre ela. Entretanto, como a gravidade atua continuamente sobre todos os corpos, dificilmente seria possível encontrar algum movimento em que o sentido e a velocidade continuassem as mesmas. No caso do repouso, contudo, pode acontecer, pois este se dá quando algo invencivelmente se opõe à queda de um corpo (CARTA LXXV, 1802).

Para Euler, as forças possivelmente eram causadas pela matéria sutil que envolvia todos os corpos celestes e preenchia todo o espaço dos céus. Mas:

de acordo com a opinião daqueles que consideram a atração como um poder inerente à matéria, essa força é sempre estranha ao corpo em que atua. Assim, quando dizemos que a Terra é atraída para o Sol, reconhece-se que a força que atua na Terra não reside na própria Terra, mas no Sol; como de fato, se o Sol não existisse, não haveria tal força. (CARTA LXXV, 1802, p. 291, tradução nossa).<sup>54</sup>

Tal proposição, no entanto, de que a atração era essencial para toda matéria, possuía muitos inconvenientes, sendo desejável para Euler prosseguir com a ideia de que o que era

---

<sup>52</sup> “First [...] that all bodies have an extension of three dimensions; secondly, that they are impenetrable; and hence results their general property, known by the name of inertia, by which they preserve themselves in their state [...] lasts till some external cause interpose to produce a change in it. As often as the state of a body changes, we must never look for the cause of such change in the body itself; it exists always out the body, and this is the just idea which we must form of a power or force” (LETTER LXXIV, 1802, p. 287).

<sup>53</sup> “Gravity, then, is not an intrinsic property of body; it is rather the effect of a foreign force, the force of which must be sought for out of the body. This is geometrically true, though we know not the foreign forces which occasion gravity” (LETTER LXXV, 1802, p. 289-290).

<sup>54</sup> “According to the opinion of those who consider attraction as a power inherent in matter, this force is always foreign to the body on which it acts. Thus, when we say the earth is attracted toward the sun, it is acknowledged, that the force which act upon the earth is not resident in the earth itself, but in the sun; as in fact, if the sun did not exist, there would be no such force” (LETTER LXXV, 1802, p. 290).

concebido como atração, nada mais era que um poder contido na matéria sutil que preenche todo o espaço dos céus.

Embora Euler mantivesse o mesmo status primitivo da extensão e da impenetrabilidade, a inércia era considerada um problema e a única justificativa fornecida por ele se deu em termos do princípio da razão suficiente, ou seja, um corpo não sofrerá alteração de estado se não houver razão suficiente e este era especificado em função de forças externas. Contudo, havia uma dependência de como e em que condições se daria a caracterização particular das mesmas, fazendo assim com que a inércia não fosse e nem sustentasse o mesmo status alcançado pela impenetrabilidade.

A inércia desempenhava um importante papel, uma vez que os conceitos de impenetrabilidade não forneciam bases suficientes (para propiciar uma caracterização das noções de força e mudança de movimento), sendo necessário, dessa forma, empregá-la como um elo entre a cinemática e a dinâmica, ou seja, buscando unir as ideias de movimento e força.

### 1.3.4 A impenetrabilidade da matéria

Ao retomar a noção de impenetrabilidade, é importante pontuar os exemplos utilizados por Euler para tentar demonstrar de que forma a mesma é invocada para explicar as forças. A situação é a seguinte:

Suponha dois corpos muito pequenos, perfeitamente sólidos (e presumivelmente esféricos), ambos inicialmente em estados inerciais, colidindo a uma distância suficientemente grande de qualquer outro corpo, de modo que esses outros corpos não tenham qualquer efeito sobre eles. Sabe-se que os corpos mudam o estado em termos de impacto, e Euler assume a visão geralmente aceita de que tais mudanças de estado devem ser instantâneas e, portanto, descontínuas. Finalmente, pode-se imaginar a situação como sendo uma na qual não há forças que atuem nos corpos antes ou depois do impacto, de modo que o movimento dos corpos seja inercial imediatamente antes e imediatamente após o impacto. Agora, como também se conhece, da lei da inércia, que qualquer mudança de estado deve ser devido às forças que atuam nos corpos, então, uma vez que há uma mudança de estado, deve haver tais forças atuando. A questão surge, portanto, sobre a origem dessas forças. Euler aborda essa questão considerando o que aconteceria se não houvesse forças atuando. Em tal situação, os corpos continuariam em seu movimento inercial, mas, para fazê-lo, teriam que penetrar um ao outro. A penetração mútua sendo, no entanto, impossível, e é esta impossibilidade que resulta em forças exercidas (GAUKROGER, 1982, p. 144, tradução nossa),<sup>55</sup>

<sup>55</sup> “Imagine two very small, perfectly solid (and presumably spherical) bodies, both of which are initially in inertial states, colliding at a sufficiently large distance from any other bodies for these other bodies not to have any effect upon them. We know that bodies change state in impact and Euler takes the generally accepted view that such changes of state must be instantaneous and hence discontinuous. Finally, we can imagine the situation as being one in which there are no forces acting on the bodies before or after impact, so that the motion of the bodies is inertial both immediately before and immediately after impact. Now since we also know, from the law of inertia, that any change of state must be due to forces acting on the bodies then, since there is a change of state, there must be such forces acting. The question therefore arises as to the source of these forces. Euler approaches this question by considering what would happen if there were no forces acting. In such a situation, the bodies would

Ao investigar como os corpos resistem à penetração, é importante considerar uma formulação de *impacto* que Euler rejeitaria

Digamos que A, para evitar sua própria penetração, age para mudar seu próprio estado; da mesma forma, B age para evitar sua própria penetração ao mudar seu próprio estado [...]. Considere A. A obedece à lei da inércia e é impenetrável. Em termos de impacto, ambos não podem permanecer impenetráveis e permanecem em seu estado inercial. Portanto, ele muda seu próprio estado de inércia e, para isso, é necessária uma força. Mas de onde essa força provém? Os corpos certamente resistem às mudanças em seus estados, eles não as produzem. A caracterização seria, portanto, completamente incompatível com a dinâmica newtoniana: e os fundamentos de Euler são, afinal, bases para a mecânica newtoniana. (GAUKROGER, 1982, p. 144-145, tradução nossa).<sup>56</sup>

A caracterização de Euler acerca do que acontece pode ser formulada do seguinte modo:

Para evitar sua própria penetração, A atua para mudar o estado de B; da mesma forma, B age para evitar sua própria penetração ao mudar o estado de A. Aqui, A muda o estado do corpo que o penetraria. Consequentemente, a mudança de estado que B sofre não se deve a alguma força que ele produz, mas a uma força que atua de fora, de A. Essa força é "externa", mas não no sentido em que a gravidade, concebida como agindo a distância, é externa. Euler não aceita forças do último tipo: ele aceita o fenômeno da gravitação universal e, de fato, tem um recurso constante, mas considera que, em última instância, deve ser explicado em termos de algum mecanismo de força de contato. As forças "externas" de Euler não são externas no sentido de que podem agir fora dos limites dos corpos, apenas no sentido de que sua fonte é externa ao corpo em que agem. Euler considera que estas são as únicas forças com as quais a mecânica tem que lidar. Não há forças internas [...], e as forças espirituais, se existirem, não são do tratamento da mecânica e não podem afetar as conclusões encontradas na mecânica. No que diz respeito à mecânica, então, todas as forças são forças de contato decorrentes da impenetrabilidade e da inércia (GAUKROGER, 1982, p. 145, tradução nossa).<sup>57</sup>

---

continue in their inertial motion, but to do so they would have to penetrate one another. Mutual penetration is impossible, however, and it is this very impossibility that results in forces being exercised" (GAUKROGER, 1982, p. 144).

<sup>56</sup> "Let us say that A, in order to avoid its own penetration, acts to change its own state; similarly, B acts to avoid its own penetration by changing its own state [...]. Consider A. A obeys the law of inertia and it is impenetrable. In impact, it cannot both remain impenetrable and remain in its inertial state. Therefore, it changes its own inertial state and for this a force is required. But where does this force derive from? Bodies surely resist changes in their states, they do not produce them. The characterization would therefore be completely at odds with newtoniana dynamics: and Euler's foundations are, after all, foundations for Newtonian mechanics." (GAUKROGER, 1982, p. 144-145).

<sup>57</sup> "In order to avoid its own penetration, A acts to change B's state; similarly, B acts to avoid its own penetration by changing A's state. Here, A changes the state of the body that would penetrate it. Consequently, the change of state that B undergoes is not due to some force which it produces itself, but to a force which acts from outside, from A. This force is 'external', but not in the sense in which gravity, conceived as acting at a distance, is external. Euler accepts no forces of the latter kind: he accepts the phenomenon of universal gravitation and indeed has constant recourse to it, but he considers that it must ultimately be accounted for in terms of some contact force mechanism Euler's 'external' forces are not external in the sense that they can act outside the boundaries of bodies, only in the sense that their source is external to the body on which they act. Now as makes clear, Euler considers that these are the only forces that mechanics has to deal with. There are no internal forces [...], and spiritual forces, if there be such, are not the business of mechanics and cannot affect conclusions arrived at in mechanics. As far as mechanics is concerned, then, all forces are contact forces deriving from impenetrability and inertia" (GAUKROGER, 1982, p. 145).

É relevante sinalizar novamente que Euler se mostrou cético à ideia de existirem forças agindo a distância pois, de acordo com seu entendimento, todos os tipos de forças eram oriundas da impenetrabilidade e da inércia.

Nos pressupostos de Euler existem dois aspectos que requerem uma atenção especial. O primeiro deles refere-se à afirmação de que as forças que atuam no impacto são externas, e a segunda diz respeito à legitimidade do uso da concepção da força derivada da análise do impacto como modelo para a ação de todas as forças.

A primeira questão centra-se em entender se Euler realmente poderia dispensar o recurso às forças internas em sua concepção sobre o impacto. Ele estabeleceu que o estado de B é alterado em impacto porque A exerce uma força externa em B que atua para mudar o estado de B e vice-versa. As forças foram, assim, demonstradas como externas no sentido exigido, e ele, claramente considerou que isso era necessário para seus propósitos. Mas pode-se ter dúvidas quanto à completude desta explicação. Em particular, a força que muda o estado de B pode ser externa à B, mas pode-se argumentar que é interno de A com base em que, se fosse externo à A e B, teria que agir a distância; Além disso, se a fonte da força é A, então certamente deve haver algum sentido em que a força seja interna para A. Para que a conta de Euler fosse completa e coerente, então esse tipo de objeção deveria ser demonstrado que repousava sobre um mal-entendido, e o esclarecimento do mesmo teve que mostrar que a dicotomia entre as forças internas e as forças que agiam a distância era falsa. Se isso pudesse ser mostrado, a concepção de força de Euler poderia ser esclarecida consideravelmente. E, na verdade, precisava de esclarecimentos sobre mais do que a questão das forças internas, uma vez que Euler forneceu relatos aparentemente conflitantes sobre a natureza da fonte das forças envolvidas no impacto. (GAUKROGER, 1982, p. 145-146, tradução nossa).<sup>58</sup>

A decisão de inferir com precisão se as forças eram efetivamente internas ou não requeria ainda muito estudo, uma vez que é uma indagação bastante complexa e indissociável da compreensão de inércia e de impenetrabilidade.

Embora, como já mencionado, se os corpos resistem às mudanças em seus estados, e como seus estados são devidos a seus princípios internos, estes devem resistir às mudanças e essa resistência deve tomar a forma de uma força. A partir desse pressuposto e desconsiderando as massas dos corpos, pois são iguais, podia-se interpretar o impacto da seguinte forma:

---

<sup>58</sup> “The first issue centers around the question of whether Euler had really been able to dispense with recourse to internal forces in his account of impact. He established that B's state is changed in impact because A exerts a force external to B which acts to change B's state, and vice-versa. The forces were thereby shown to be external in the required sense and this, he clearly considered, was all that was needed for his purposes. But one might entertain doubts about the completeness of this explanation. In particular, the force that changes B's state may be external to B, but it might be argued that it is internal to A on the grounds that if it were external to both A and B it would have to act at a distance; moreover, if the source of the force is A then surely there must be some sense in which the force is internal to A. For Euler's account to have been complete and coherent then this type of objection had to be shown to rest upon a misunderstanding, and the clarification of the misunderstanding had to show that the dichotomy between internal forces and forces acting at a distance was a false one. If this could be shown, then Euler's conception of force could be clarified considerably. And in fact it stood in need of clarification on more than the question of internal forces, since Euler provided apparently conflicting accounts of the nature of the source of the forces involved in impact.” (GAUKROGER, 1982, p. 145-146).



Quando B entra em contato com A no impacto, podemos dizer que ela experimenta os princípios internos de A como uma força, uma força que normalmente denominamos força de resistência de A à mudança de estado. Note que a força não é em nenhum sentido em A: o que está em A é o seu princípio interno, que não é uma força porque apenas mantém o estado de A. Mas, este princípio interno é experimentado por B como uma força. Há, portanto, uma força externa agindo em B e esta força não é interna à A. Nem age a distância porque é uma condição prévia de haver realmente uma força tal que A e B sejam impenetráveis e que estejam em contato. A impenetrabilidade e o contato são, portanto, condições necessárias para essa força, mas não podem ser condições suficientes, uma vez que não haveria força, por exemplo, atuando sobre dois corpos estacionários impenetráveis em contato (GAUKROGER, 1982, p. 147, tradução nossa).<sup>59</sup>

Para tanto, com o objetivo de atender as condições suficientes, era necessário que se tivesse "medo de penetração", e isso só ocorreria quando os corpos não continuassem em seus estados presentes. Ou seja, tal fato se daria quando um dos corpos estivesse se movendo em relação ao outro de tal forma que os dois corpos entrassem em contato. A impenetrabilidade e o contato não eram capazes de dar origem a quaisquer forças, tampouco a inércia. Era imprescindível, portanto, a presença dos três para que houvesse uma força. Ademais, essa interpretação do impacto eliminava a necessidade de quaisquer forças internas e mostrava como a impenetrabilidade sustentava as mudanças de estado que resultavam do impacto (GAUKROGER, 1982, p. 147).

Ao findar uma de suas obras, *Theoria*, Euler debruçou-se na elaboração, em termos quantitativos, das noções de força e inércia e foi somente nesse período que foram estabelecidos os fundamentos quantitativos da dinâmica e a transição das concepções qualitativas para as quantitativas. A dinâmica newtoniana foi apresentada de forma algébrica básica. Conforme Gaukroger destaca:

[...] a massa, que até este ponto tinha sido formulada de forma bastante vaga e intuitiva em termos de quantidade de matéria, densidade, volume e de muitas outras maneiras, passou a ser definida operacionalmente como um coeficiente numérico dependente da razão entre a força necessária para mudar o estado de um corpo de uma maneira particular e a aceleração do corpo produzida por essa força. (GAUKROGER, 1982, p. 150, tradução nossa).<sup>60</sup>

---

<sup>59</sup> “When B comes into contact with A in impact, we can say that it experiences A's internal principles as a force, a force which we would normally term A's force of resistance to change of state. Note that the force is not in any sense in A: what is in A is its internal principle, which is not a force because it only maintains A's state. But this internal principle is experienced by B as a force. There is, therefore, an external force acting on B and this force is not internal to A. Nor does it act at a distance because it is a prior condition of there actually being a force that A and B be impenetrable and that they be in contact. Impenetrability and contact are therefore necessary conditions for this force, but they cannot be sufficient conditions since there would be no force, for example, acting on two stationary impenetrable bodies in contact” (GAUKROGER, 1982, p. 147).

<sup>60</sup> “[...] mass, which up to this point had been formulated rather vaguely and intuitively in terms of quantity of matter, density, volume, and in a host of other ways, came to be defined operationally as a numerical coefficient dependent upon the ratio between the force required to change a body's state in a particular way and the acceleration of the body produced by that force.” (GAUKROGER, 1982, p. 150).

Nesse momento, Euler já media movimentos por meio de cálculos infinitesimais e a representação das acelerações se dava em termos de equações diferenciais de segunda ordem. A medida das forças era feita por intermédio das derivações da estática. No contexto atual, pode-se dizer que Euler confiou no princípio estático do equilíbrio, do mesmo modo que Jean le Rond d'Alembert (1717-1783), em seu escrito *Traité de Dynamique* (1743). Porém, d'Alembert tentou encontrar as leis do movimento a partir desse princípio e assim reduzir a força à aceleração. Já para Euler, o emprego desse princípio era bastante diferente:

Uma vez que ele aceitou plenamente a realidade das forças, ele usou isso simplesmente como uma fonte de procedimentos para a medição das forças. O princípio declarou, em essência, que força  $f_1$  corresponde à força  $f_2$  como os números  $m$  a  $n$ , se  $f_1$ , aplicado  $n$  vezes em uma determinada direção em um ponto e  $f_2$ , aplicado  $m$  vezes no mesmo ponto na direção oposta, deixe o ponto em equilíbrio. Euler transferiu essa equivalência para um contexto dinâmico, argumentando que a distância que uma força  $F$  moveria dois corpos em  $dt$  acima da distância que teria movido inercialmente em  $dt$  é diretamente proporcional à força e inversamente proporcional à quantidade de inércia, ou massas, dos corpos. Em consequência, a aceleração seria diretamente como força e inversamente como a massa, proporcionando assim uma definição operacional que relaciona massa, força e aceleração: a massa foi medida pela força necessária para transmitir a um corpo uma aceleração dada (GAUKROGER, 1982, p. 151, tradução nossa).<sup>61</sup>

A partir dessa fundamental contribuição foi possível determinar com precisão as medidas de aceleração e força. Ambas as grandezas estavam agora relacionadas à massa, conforme a expressão  $f \propto ma$  demonstra. A definição de massa fornecida por Euler encontrava-se livre de qualquer deficiência operacional. Vale ressaltar, contudo, que:

Euler tinha à sua disposição técnicas analíticas muito superiores à geometria dos *Principia* de Newton, o que permitiu o tratamento de uma ampla gama de problemas mecânicos a dinâmica de pontos, corpos rígidos finitos, corpos flexíveis, corpos elásticos, vários corpos com interações mútuas e, finalmente, fluidos - de forma segura e frutífera. De fato, o tratamento de Euler sobre a dinâmica dos pontos, corpos rígidos e fluidos foi um grande caminho para fornecer a base para a nossa compreensão moderna desses fenômenos. (GAUKROGER, 1982, p. 151, tradução nossa).<sup>62 63</sup>

---

<sup>61</sup>“Since he fully accepted the reality of forces, he used it simply as a source of procedures for the measurement of forces. The principle stated, in essence, that force  $f_1$ , corresponds to force  $f_2$  as the numbers  $m$  to  $n$ , if  $f_1$ , applied  $n$  times in a certain direction on a point, and  $f_2$ , applied  $m$  times on the same point in the opposite direction, leave the point in equilibrium. Euler transferred this equivalence into a dynamical context, arguing that the distance that a force  $F$  will move two bodies in  $dt$  over and above the distance that they would have moved inertially in  $dt$  is directly proportional to the force and inversely proportional to the quantities of inertia, or masses, of the bodies. In consequence, the acceleration would be directly as the force and inversely as the mass, thus providing an operational definition relating mass, force, and acceleration: mass was measured by the force necessary to impart to a body a given acceleration” (GAUKROGER, 1982, p. 151).

<sup>62</sup>“Euler had at his disposal analytic techniques far superior to the geometry of Newton's *Principia*, and this allowed the treatment of an extended range of mechanical problems the dynamics of points, finite rigid bodies, flexible bodies, elastic bodies, several bodies with mutual interactions, and finally fluids-on a secure and fruitful basis. Indeed, Euler's treatment of the dynamics of points, rigid bodies, and fluids went a large way towards providing the basis for our modern understanding of these phenomena.” (GAUKROGER, 1982, p. 151).

<sup>63</sup> Para maiores informações consultar SITKO (2019).

O contexto histórico e científico no qual Euler estava inserido contribuiu significativamente para a realização de seus importantes feitos na cinemática e dinâmica, entre outras áreas.

Os trabalhos de Euler foram relevantes para o desenvolvimento da Física, em especial no que se refere à mecânica e à dinâmica. Em uma de suas principais obras, *Mechanica sive motus scientia analytice exposita (1736)*, ele buscou sistematizar, revisar e unificar uma série de estudos envolvendo essas temáticas que, com efeito, marcaram a primeira metade do século XVIII.

#### 1.4 O DINAMISMO DE ROGER BOSCOVICH<sup>64</sup>

O físico, matemático, astrônomo, padre e filósofo Roger Joseph Boscovich (1711-1787) desenvolveu trabalhos em diferentes áreas de atuação. Em particular, na Física, buscou compreender o caráter geral da força e entender com precisão a lei que a regia, fazendo uso de representações gráficas, com o propósito de melhor explicar sua teoria dinâmica das forças. Seus estudos foram relevantes para a compreensão do conceito de força no século XVIII.

Os estudos de Boscovich situam-se entre a filosofia natural de Newton e de Leibniz em um extremo e a filosofia natural de Michael Faraday (1791-1867) em outro. Contudo, manteve-se simultaneamente distante de ambas as filosofias. Em outras palavras, pode-se dizer que, diferentemente de outros filósofos naturais, Boscovich empreendeu esforços para descrever a natureza, de modo que as unidades de matéria se constituíam como centro de forças e não como átomos sólidos. A matéria era concebida como pontos em torno dos quais se verificava um determinado padrão de forças. De acordo com tais pressupostos, os pontos eram entendidos como imateriais e, portanto, somente era possível atribuir a condição de real à força que emana deles.

##### 1.4.1 O contexto histórico de Boscovich

Boscovich nasceu na República de Ragusa, na Croácia, no dia 18 de setembro de 1711 e era um dos membros mais jovens de uma grande família. Sua educação primária e secundária se deu em um colégio jesuíta e, em 1725, tornou-se membro da ordem dos jesuítas e foi enviado a Roma, onde de 1728 a 1733 estudou filosofia, física e matemática no Colégio Romano

---

<sup>64</sup> Parte dessa seção encontra-se publicada na Revista Ensino & Pesquisa (v. 17, n.2, 2019).

(BOSCOVICH, 1922, p. VII).<sup>65</sup> Sua educação seguiu padrões altos, equivalentes aos de outras escolas jesuítas na Europa. De acordo com Markovic (1981, 326, tradução nossa):

[ele] era extraordinariamente perspicaz, inteligência vasta [...], um estudante notável. Aprendeu ciência de uma maneira característica perceptível em sua carreira posterior, através de estudos independentes de matemática, física, astronomia e geodesia. [...] Ele começou a estudar as obras *Óptica* e os *Principia* de Newton no Colégio Romano, onde se tornou um entusiástico propagador da nova filosofia.<sup>66</sup>

No período de 1733 a 1738, Boscovich ensinou retórica e gramática em muitas instituições jesuítas e também passou a lecionar matemática no Colégio Romano. Continuou seus estudos em teologia até que em 1744 tornou-se padre e membro de sua ordem. Boscovich iniciou sua atividade literária ainda em 1736, porém sua principal obra, *Theoria Philosophiae Naturalis* (*Teoria da Filosofia Natural*), foi publicada apenas em 1758, tendo sua 2ª edição no ano seguinte e a terceira em 1763 (BOSCOVICH, 1922, p. VII). Neste trabalho, foi proposto um sistema de filosofia natural, em que se buscou reduzir a uma única lei todas as forças da natureza.

Boscovich se destacou nos círculos literários, científicos e diplomáticos de toda a Europa e devido à sua consolidada reputação em Roma, passou a integrar academias e sociedades científicas. Em 1760 mudou-se para Londres, onde foi bem recebido e tornou-se membro da *Royal Society*. Em 1762, Boscovich retornou para Roma e assumiu uma cadeira na Universidade de Pavia e, posteriormente, em 1770, assumiu o cargo de diretor de um respeitável observatório na cidade de Milão. Em decorrência de doenças, Boscovich veio a falecer na França, deixando um importante legado para a comunidade científica.

#### 1.4.2 A lei das forças de Boscovich

A partir das leituras de Newton, em que o mesmo procurou saber se podia ou não existir força atrativa e repulsiva operando entre as partículas de matéria, Boscovich procedeu por meio de uma análise de colisão de corpos e chegou a uma "lei universal de força" entre elementos da matéria, tendo a força como algo alternadamente atrativo ou repulsivo, dependendo da distância a que se encontram separados (MARKOVIC, 1981). Nesse sentido, como já sinalizado, ao

<sup>65</sup> A edição em inglês (1922) foi traduzida a partir da 3ª edição veneziana de 1763, publicada em Latim, sob superintendência pessoal de Boscovich.

<sup>66</sup> "He was extraordinarily sharp of mind, comprehensive in intelligence [...], an outstanding student. He learned science in a way characteristic of his later career, through independent study of mathematics, physics, astronomy, and geodesy. [...] he began studying Newton's *Opticks* and the *Principia* at the Collegium Romanum, where he made himself an enthusiastic propagator of the new philosophy" (MARKOVIC, 1981, p. 326).

basear-se na obra *Óptica* de Newton e na Lei de Continuidade<sup>67</sup> de Leibniz, o conceito de força para Boscovich se caracterizava numa relação entre partículas, em que se especulava a existência de forças atrativas e repulsivas, agindo de modo alternado nas partículas.

Essa dinâmica de forças foi sugestão do padre Karl Scherffer (JAMMER, 2011, p.212). O mesmo sugeriu que Boscovich estudasse o centro de oscilação (ou centro de percussão) dos corpos sólidos, o que, com efeito, desencadeou a investigação dos fenômenos de impacto ou colisão entre dois corpos. Com o intuito de descobrir se a mudança de velocidade no impacto de dois corpos ocorria de maneira contínua ou descontínua:

Boscovich considerou dois corpos iguais, um com velocidade de seis graus e outro com velocidade de doze graus, movendo-se na mesma direção em linha reta, o mais lento na frente do mais rápido. De acordo com a conservação do momento, ambos os corpos se moveriam à velocidade comum de nove graus depois do impacto. “Examinemos, então,” disse Boscovich, “como a velocidade do corpo que se move mais depressa muda de doze para nove graus. Suponhamos por um momento que o corpo mais veloz, que vem atrás, aproxima-se do outro sem diminuir a velocidade e entra em contato absoluto com este, que segue à frente. Nesse caso, é claro que sua velocidade deve ter-se modificado de forma bastante abrupta de doze para nove graus, sem nenhum grau intermediário”. (JAMMER, 2011, p. 213).

Para Boscovich, era impossível que esse tipo de mudança seja fruto de etapas intermediárias, enquanto os corpos permanecem em contato:

Pois se num dado momento um dos corpos tivesse sete graus de velocidade, o outro continuaria a manter onze graus; assim, durante todo o período percorrido desde o início do contato, quando as velocidades são doze e seis, respectivamente, até o momento em que elas são onze e sete, o segundo corpo deve ser movido com uma velocidade maior que a do primeiro; logo, deve percorrer uma distância maior no espaço do que o outro. Decorre daí que a superfície anterior do segundo corpo deve ultrapassar a superfície posterior do primeiro; portanto, uma parte do corpo que segue atrás deve ser penetrada por uma parte do corpo que vai à frente. Ora, em virtude da impenetrabilidade da matéria, que todos os físicos de todos os círculos reconhecem, e que se pode facilmente comprovar que lhe é atribuída com acerto, isso não pode acontecer. (BOSCOVICH, 1922, p. 45 apud JAMMER, 2011, p. 213-214).

Na concepção de Boscovich, supor que a velocidade não era reduzida até o momento do impacto implicaria dizer que a mesma se modificava abruptamente. Porém, tal fato violava a lei da continuidade que rejeitava transições súbitas e, na perspectiva boscovichiana, isso equivaleria a considerar que um corpo deveria, necessariamente, ter, simultaneamente, doze graus e nove graus ao mesmo tempo. Estes apontamentos evidenciaram que a velocidade do corpo em movimento acelerado devia mudar continuamente. Desse modo:

---

<sup>67</sup> De acordo com Leibniz, toda mudança deveria ocorrer gradativamente, sendo necessário a existência de graus intermediários dois estados quaisquer.

Boscovich demonstrou então que essa mudança contínua de velocidade não podia ocorrer depois do impacto, usando um argumento semelhante, baseado no princípio da impenetrabilidade. Assim, chegou ao seu resultado fundamental: em todo impacto de corpos sólidos, ocorre uma mudança contínua de velocidades antes do contato efetivo. (JAMMER, 2011, p. 214).

A força era reconhecida como sendo a responsável pela modificação no estado de movimento dos corpos, ou seja, era preciso que fosse exercida uma força antes do contato real. Contudo, esta força deveria ser mútua e atuar em sentidos contrários, como por exemplo, o ferro e o ímã, que se atraíam com a mesma intensidade, porém em sentidos opostos.

O entendimento que Boscovich tinha sobre o conceito de força foi fundamental para que ele postulasse a inexistência de um contato real entre os corpos, porque, para ele, a força de repulsão aumentava indefinidamente à medida que a distância diminuía.

Uma vez que esta distância diminui para zero, a repulsão predomina e cresce indefinidamente, de modo a tornar o contato direto entre as partículas impossível. Um papel fundamental é desempenhado pelos pontos de equilíbrio entre as forças atrativas e repulsivas. Boscovich chamou tais pontos "limites". Alguns deles são pontos de equilíbrio estáveis para as partículas em si e outros são pontos de equilíbrio instáveis. O comportamento dessas fronteiras e as áreas permitiu a Boscovich interpretar a coesão, a impenetrabilidade, a extensão, e muitas propriedades físicas e químicas da matéria, incluindo a sua emissão de luz (MARKOVIC, 1981, p. 330, tradução nossa).<sup>68</sup>

Quando os corpos estavam situados a distâncias maiores, pode-se dizer que a força de interação invertia o sentido a ponto de ser transformada em uma força atrativa, explicando assim os fenômenos comuns da gravitação. Com base na teoria boscovichiana das forças:

[...] tanto faz dizer que o contato nunca ocorre ou dizer que ele sempre ocorre, pois, dois corpos sempre têm uma ligação dinâmica que só depende de sua distância relativa. Qualquer partícula do Universo relaciona-se dinamicamente com todas as demais; a magnitude, a direção e o sentido da força envolvida dependem da distância. Desse modo, a teoria de Boscovich reduziu os fenômenos de contato a ações a distância e, por conseguinte, eliminou o impacto como conceito fundamental da mecânica. Com isso, sua teoria colocou-se em contradição com os que ainda aderiam ao ideal cartesiano da explicação física ou, como eles costumavam chamá-la, da mecânica. (JAMMER, 2011, p. 215).

A teoria de Boscovich também atribuía importância à impenetrabilidade dos corpos, pois a concebia como uma expressão espacial da ação de uma força repulsiva. Dito de outra forma, a impenetrabilidade dos corpos é decorrente de uma força repulsiva entre os centros de

---

<sup>68</sup> "As that distance diminishes toward zero, repulsion predominates and grows infinite so as render direct contact between particles impossible. A fundamental role is played by the points of equilibrium between the attractive and repulsive forces. Boscovich called such points "boundaries". Some of them are points of stable equilibrium for the particles in them and others are points of unstable equilibrium. The behavior of these boundaries and the areas between them enabled Boscovich to interpret cohesion, impenetrability, extension, and many physical and chemical properties of matter, including its emission of light" (MARKOVIC, 1981, p. 330).

força. Para ele, as forças de repulsão agiam em distâncias muito pequenas, e sua magnitude crescia indefinidamente na medida em que as distâncias decresciam. Assim, as forças de repulsão podiam desacelerar e deter o movimento de qualquer corpo, independente da velocidade que este se movesse (JAMMER, 2011, p. 216). Nas palavras de Boscovich:

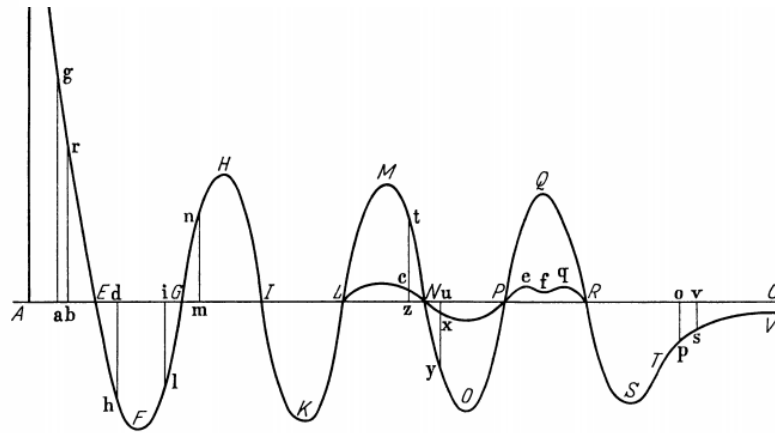
[...] nunca pode existir uma força finita, ou velocidade, capaz de fazer desaparecer a distância entre dois pontos, como seria exigido pela penetração recíproca. Para isso, somente uma virtude divina infinita, exercendo uma força infinita ou criando uma velocidade infinita, seria suficientemente efetivo (BOSCOVICH, 1922, p. 267 apud JAMMER, 2011, p. 216).

A partir de compreensões acerca do caráter geral da força, Boscovich buscou estudar com mais precisão a lei que a regia. Até aquele momento, sabia-se que a intensidade da força repulsiva aumentava assintoticamente na medida em que as distâncias entre os corpos reduziam. Já para distâncias maiores, em que ocorria a transformação de força de repulsão em força de atração, a força diminuía assintoticamente em conformidade com a lei do inverso do quadrado da distância, proveniente da mecânica newtoniana. Com o propósito de representar graficamente a relação de dependência entre a intensidade da força e a distância dentre os centros de força, Boscovich considerou que a repulsão correspondia a uma ordenada positiva e a atração a uma ordenada negativa. Como resultado, ele obteve uma curva contínua em que o eixo das abscissas era cortado em pelo menos um ponto. Contudo, essas interseções nas abscissas deveriam ocorrer em vários pontos, denominados por Boscovich de pontos-limites, a fim de que os fenômenos de coesão, fermentação, impenetrabilidade e gravitação fossem compreendidos e reduzidos a um único princípio.

Nesse sentido, Boscovich pôde concluir por completo a lei que determinava a intensidade, a direção e o sentido da força fundamental:

A lei das forças é deste tipo: as forças são repulsivas a distâncias muito pequenas e se tornam cada vez maiores, indefinidamente, à medida que as distâncias se reduzem indefinidamente, de tal modo que são capazes de destruir qualquer velocidade, por maior que seja, com a qual um ponto possa aproximar-se de outro. A distância entre eles jamais desaparece. Quando aumenta a distância entre eles, as forças diminuem tanto que, em certa distância, é extremamente pequena, a força se transforma em nada. Depois, à medida que a distância aumenta mais e mais, as forças transformam-se em forças de atração; estas aumentam no princípio, desaparecem e se tornam forças repulsivas, as quais, do mesmo modo, primeiro aumentam, depois diminuem, desaparecem e voltam a se tornar forças de atração; e assim sucessivamente, alternando-se por um enorme número de distâncias, que ainda são muito diminutas. Até que, por fim, ao chegarmos a distâncias relativamente grandes, elas começam a ser continuamente de atração e mais ou menos inversamente proporcionais aos quadrados das distâncias. Isso se mantém à medida que as distâncias aumentam indefinidamente em qualquer medida ou, pelo menos, até obtermos distâncias muito maiores que todas as distâncias dos planetas e cometas (BOSCOVICH, 1922, p. 39-43 apud JAMMER, 2011, p. 217-218).

Figura 7 - A lei da força entre partículas, de Boscovich



Fonte: Spencer (1967, p. 188).

Como é possível perceber, Boscovich apresentou a lei fundamental na forma de uma curva contínua, em que a força entre dois elementos primários de matéria é representada graficamente. Um dos elementos de matéria foi fixado na posição *A* da Figura 7 enquanto que o outro foi considerado em qualquer outra posição sobre o eixo *AC*. A magnitude da força mútua experimentada pelos dois elementos foi dada pela ordenada da curva na posição determinada. O sentido da força foi definido pelo sinal, de modo que as porções situadas na curva acima do eixo representam as forças de repulsão, enquanto que as que estão abaixo do eixo denotam a atração entre os dois elementos de matéria. Assim, se o segundo elemento de matéria fosse localizado em "*d*", haveria uma força atrativa entre ele e o primeiro elemento em "*A*", que será dado pelo comprimento "*d-h*". Da mesma forma o segundo elemento no ponto "*m*" iria sofrer uma força de repulsão de "*m-n*" (SPENCER, 1967, p. 187).

Boscovich considerou que apenas os segmentos extremos da curva, ou seja, "*DgrE*" e "*TpsV*", eram conhecidos com alguma certeza. O último arco correspondia à lei do inverso do quadrado e, portanto, a região coberta por este segmento se estendia por todas as distâncias sensíveis. Assim, "*TpsV*" era uma hipérbole que se aproxima do eixo *AC* assintoticamente, a forma exata do segmento mais à esquerda "*DgrE*" era parcialmente desconhecida por Boscovich, pois ele considerou absolutamente certo que este arco se aproximava do eixo ordenado *AB*, assintoticamente. Desse modo, se um elemento de matéria fosse movido de "*E*" para outro fixo em "*A*", atravessando as posições "*b*" e "*a*", a força repulsiva entre os dois subiria de zero em "*E*" para "*b-r*" em "*b*", "*a-g*" em "*a*" e, mais importante, se aproximaria de uma



magnitude infinita à medida que os dois elementos continuassem a se aproximar (SPENCER, 1967, p. 187).

Em relação à forma da porção intermediária da curva, Boscovich admitiu completa ignorância. Ele entendia que a curva devia atravessar o eixo  $AC$  pelo menos uma vez, mas considerava necessária ter muitas dessas interseções no eixo. Os interceptos que Boscovich denominou de pontos-limite<sup>69</sup> eram de dois tipos. Aqueles em  $E$ ,  $I$ ,  $N$  e  $R$  representavam equilíbrio estável em que a força experimentada por um segundo elemento da matéria em qualquer uma dessas posições era zero e qualquer deslocamento leve do elemento resultava em uma força tendendo a restaurá-lo à posição de equilíbrio. O segundo tipo de intercepção, aqueles em “ $G$ ”, “ $L$ ” e “ $P$ ”, correspondia ao equilíbrio instável, já que um leve deslocamento de qualquer um deles era acompanhado por uma força dirigida longe da posição de equilíbrio (SPENCER, 1967, p. 187-188).

Ao que tudo indica, Boscovich desenvolveu a base para uma certa característica do segmento mais à esquerda  $DgrE$  de sua curva de lei de força (isto é, que se aproxima do eixo ordenado  $AB$  como uma assíntota) de sua investigação anterior de forças impulsivas. A partir desse estudo, Boscovich sentiu-se compelido a rejeitar a ideia de ação impulsiva, segundo a qual toda a velocidade é produzida em um instante de tempo. Devido à incompatibilidade com uma lei mais fundamental da natureza, a ação impulsiva deveria ser retirada da natureza, pois, de acordo com Boscovich, a ação impulsiva imediata de um corpo sobre o outro e a percussão imediata não poderiam ser obtidas sem a violação da Lei da Continuidade do movimento existente na natureza. Como resultado da aplicação da referida lei, Boscovich aceitou a ideia de que qualquer mudança de velocidade finita exigiria um intervalo de tempo finito (SPENCER, 1967, p. 188-189).

Com a aceitação da mencionada ideia, somada à sua concepção de impenetrabilidade da matéria, Boscovich desenvolveu o conceito de ascensão assintótica do arco  $DgrE$ , sendo que o mesmo foi proposto por intermédio de um exemplo mecânico envolvendo um objeto com uma velocidade de 6 unidades que sofre uma colisão traseira com outro objeto que apresenta uma velocidade inicial de 12 unidades.<sup>70</sup> Para evitar a penetração da matéria, concebendo que ambos os corpos estejam mudando a velocidade continuamente até que cada um tenha uma velocidade de 9 unidades, Boscovich sentiu-se obrigado a postular uma interação física de repulsão entre os dois corpos antes de seu contato real com a superfície. Ademais, este mecanismo teve que

<sup>69</sup> Os pontos-limite são pontos de estabilidade, pois neles a repulsão impede a diminuição da distância e a atração impede seu aumento (JAMMER, 2011, p. 218).

<sup>70</sup> Exemplo apresentado no início da sessão.

ser suficiente para todas as instâncias envolvendo velocidades finitas e, portanto, como o contato superficial real foi abolido, a força repulsiva teve que se aproximar do infinito. Assim, para dois elementos primários da matéria, o caráter qualitativo do segmento da curva mais à esquerda deve ser aquele dado por *DgrE*. Seguindo uma perspectiva mais quantitativa, Boscovich desenvolveu o conceito de que a extensão desse segmento mais interno em direção a AB devia colocar, no caso limite, uma área infinita delimitada pelas linhas “AB e AE”. Portanto, para Boscovich, a área (sob a curva *DgrE* estendida) era capaz de destruir qualquer velocidade, independente de qual fosse. Diante do exposto, percebe-se que a lei de força da Figura 7 foi completamente desenvolvida para os segmentos mais extremos da curva à esquerda e à direita. Já a região intermediária foi descrita apenas em termos gerais, pois, a forma desta parte da curva continuou sendo indeterminada (SPENCER, 1967, p. 189).

Em relação aos elementos primários da matéria, Boscovich esclareceu que os mesmos estavam intrinsicamente associados à lei de força da Figura 7. Eles eram considerados pontos indivisíveis e não-estendidos, dispersos em um vácuo imenso, onde eram separados um do outro por um intervalo de tempo definido, sendo que este podia ser aumentado ou reduzido, porém nunca desaparecer. Cada elemento primário de matéria possuía “[...] um atributo... uma propensão inerente a permanecer no mesmo estado de repouso, ou de movimento uniforme em uma linha reta... Essa propensão é a origem do que chamamos de “força de inércia...” (BOSCOVICH, 1922, p. 39, tradução nossa).<sup>71</sup> Da mesma forma, Boscovich ocasionalmente falou dos pontos como sendo “... dotados de uma força de inércia ...” (BOSCOVICH, 1922, p. 365, tradução nossa).<sup>72</sup>

Nesse sentido, a inércia e a lei de força da Figura 7 eram fundamentos essenciais pois, como Boscovich colocou:

[...] se esta [inércia] é dependente de uma lei arbitrária do Arquitecto Supremo, ou da natureza dos próprios pontos, ou de algum atributo deles, qualquer que seja, ... Não vejo nenhuma esperança de descobrir [...] e realmente acho que isso também se aplica à lei das forças...” (BOSCOVICH, 1922, p. 39, tradução nossa).<sup>73</sup>

Não obstante, Boscovich insistia que, embora sua lei de forças não tivesse sido completamente especificada, foi demonstrado pelo raciocínio direto o trato com forças reais,

71 “[...] an attribute ... an inherent propensity to remain in the same state of rest, or of uniform motion in a straight line .... This propensity is the origin of what we call the ‘force of inertia’ ...” (BOSCOVICH, 1922, p. 39).

72 “... endowed with a force of inertia...” (BOSCOVICH, 1922, p. 36).

73 “[...] whether this [inertia] is dependent upon an arbitrary law of the Supreme Architect, or on the nature of points itself, or on some attribute of them, whatever it may be, ... I see no hope of finding [out] . . . and I truly think that this also applies to the law of forces [...]” (BOSCOVICH, 1922, p. 39).

não ocultas e, portanto, poderia ser aceita (SPENCER, 1967, p. 190). Pode ter sido parcialmente para obter essa aceitação que Boscovich especificamente rejeitou a ação à distância. Assim:

[...] no que diz respeito à ação a distância, nós amplamente nos protegemos contra isto ... pois, se isto for admitido, então seria possível para qualquer ponto agir sobre si mesmo, e ser determinado quanto à sua direção de ação e energia independentemente de outro ponto [...] (BOSCOVICH, 1763, p. 95, tradução nossa).<sup>74</sup>

Na abordagem da teoria de Boscovich o termo força é constantemente empregado, porém difere da definição newtoniana, pois os pontos materiais boscovichianos, embora dotados de inércia, ainda não são dotados do atributo de massa, no sentido newtoniano da expressão. Assim, a interpretação de Boscovich sobre o conceito de força é o seguinte:

Considero que dois pontos quaisquer de matéria estão sujeitos a determinação de se aproximarem um do outro a certa distância, e de se afastarem um do outro em igual medida a outras distâncias. A essa determinação chamo “força”, que é “atrativa” no primeiro caso e “repulsiva” no segundo; esse termo não denota o modo de ação, mas a propensão em si, seja qual for sua origem, cuja magnitude se altera de acordo com a variação das distâncias (BOSCOVICH, 1763, p. 38 apud JAMMER, 2011, p. 219).

Nessa perspectiva, a força referia-se a uma propensão à aproximação ou ao afastamento, sendo medida pela aceleração decorrente. Em seus escritos, Boscovich restringiu-se apenas a postular a existência dessas determinações/propensões, sem atentar-se à elucidação das causas.

Ademais, além de massa, Boscovich também não atribuiu volume aos pontos materiais, o que corrobora para que sua mecânica se restrinja à cinemática, embasadas em ideias primitivas de pontos materiais e de forças, isto é, acelerações de aproximação ou de afastamento. Seu conceito de força era entendido como meramente relacional ou funcional e do ponto de vista filosófico, sua teoria era concebida como um idealismo matemático (JAMMER, 2011, p. 219).

Conforme Jammer (2011, p. 220) destaca:

Embora podemos afirmar que uma teoria física baseada na ideia de força como concepção mais fundamental pode ser chamada de “dinâmica” mesmo que não interprete seu conceito fundamental como uma entidade metafísica. Tal critério de classificação e tal terminologia estariam em perfeito acordo com nossa concepção geral da natureza da ciência [...]. Uma vez que a impenetrabilidade e a extensão, na visão de Boscovich, eram meras expressões espaciais de força, a “força” era mais fundamental que a “matéria”, a qual, aliás, pelo menos no sentido cartesiano tradicional, não tinha lugar em sua teoria. Por isso, a teoria boscovichiana pode ser corretamente chamada de “dinâmica”.

---

<sup>74</sup> " [...] as regards action at a distance, we amply guard against this ... for, if this is admitted, then it would be possible for any point to act upon itself, & to be determined as to its direction of action & energy apart from another point [...]" (BOSCOVICH, 1922, p. 95).

Apesar de o conceito de força de Boscovich apresentar um caráter relacional, a sua teoria da dinâmica proporcionou significativas contribuições para o campo da ciência, bem como para os cientistas contemporâneos a ele e também sucessores, como é o caso de Michael Faraday (1791-1867), que aparentemente inspirou-se na sua teoria para compreender o conceito de campo criado a partir das linhas de força.

Sua teoria dinâmica apresentava características conceituais primitivas em relação ao seu entendimento sobre a ideia de força, porém é inegável que Boscovich era um homem polímata da ciência europeia do século XVIII, que em muitos aspectos estava relativamente à frente de outros estudiosos contemporâneos a ele.

### 1.5 TEORIA MECANICISTA DA FORÇA (GRAVITAÇÃO)<sup>75</sup>

Isaac Newton (1643-1727), no decorrer de sua carreira científica, chegou a conjecturar a existência de um éter mecânico, sutil, um meio imperceptível aos sentidos permeando o universo e postulou diferentes modelos de éter, como por exemplo, aquele presente no caderno de apontamentos *Quaestiones quaedam philosophicae (Algumas questões filosóficas)*, no qual registrou suas primeiras especulações sobre a gravidade. Nessas considerações, Newton supôs que a gravidade “[...] poderia ser produzida por um tipo de corrente de éter que viria do espaço em direção à Terra, com grande velocidade, impulsionando os corpos para baixo” (MARTINS, 1998, p. 80). Porém, na tentativa de eliminar o crescente armazenamento de éter no interior da Terra, era preciso conceber a saída deste de alguma forma:

Ele deve subir sob uma forma diferente daquela em que desceu, ou então teria uma força para transportar os corpos para cima, semelhante à que tem que pressioná-los para baixo, e assim não haveria gravidade. Deve subir sob uma consistência mais grosseira do que desce [...] (McGUIRE; TAMNY, 1983, p. 362-363, tradução nossa).<sup>76</sup>

O efeito dessa corrente que estaria subindo seria menor, acarretando no impulso dos corpos para baixo.<sup>77</sup> Nessa perspectiva, seguindo a tradição newtoniana, o físico, matemático,

<sup>75</sup> Parte desta seção encontra-se publicada na Revista Valore (v. 3, 2018).

<sup>76</sup> “For it must descend very fast and swift as appears by the falling of bodies and by the great pressure toward the Earth. It must ascend in another form than it descends, or else it would have a like force to bear bodies up as it has to press them down, and so there would be no gravity. It must ascend in a grosser consistency than it descends [...]” (NEWTON, apud McGUIRE & TAMNY, 1983, p. 362-363).

<sup>77</sup> “Newton imaginava que o éter poderia subir mais lentamente do que em sua descida, mas nesse caso ele deveria estar mais denso, e mesmo com uma velocidade menor poderia produzir um empurrão para cima igual ao empurrão para baixo. Na época em que escreveu essas especulações, no entanto, Newton não procurou fazer nenhuma análise quantitativa do modelo”. (MARTINS, 1998, p. 120).

filósofo e teólogo George-Louis Lesage (1724-1803) propôs uma teoria gravitacional com características essencialmente mecanicistas, porém essa concepção ainda é pouco mencionada em obras de divulgação científica e no cenário científico em geral.

As teorias da gravitação passaram por períodos caóticos com os modelos de vórtices de éter e similares, até ser posta sobre uma base científica supostamente segura por Newton.

Contudo:

Muitos achavam inconcebível [...] que pedaços de matéria inanimada pudessem de alguma forma adivinhar a presença de seus vizinhos, medir as distâncias e massas adequadas, e atrair uns aos outros através do espaço intermediário. O absurdo de tal noção era manifesto, especialmente para os cientistas continentais imbuídos dos preceitos da filosofia mecânica cartesiana. [...] Nas mentes da maioria dos cientistas do século XVIII, a validade da lei newtoniana era inquestionável; mas, por causa de seu compromisso com a filosofia mecânica, eles geralmente - embora muitas vezes tacitamente - assumiram que algum mecanismo impulsivo subjacente era responsável pela chamada atração newtoniana. O próprio Newton tentou fornecer explicações mecânicas de sua lei, mas sem muito sucesso. (GOUGH, 1981, p. 259, tradução nossa).<sup>78</sup>

Apesar dessa contradição, nos séculos seguintes, a teoria de Newton foi conquistando prestígio no cenário científico até surgirem algumas anomalias inexplicáveis, como o avanço do periélio de Mercúrio. A partir de então, o caminho para a relatividade geral de Einstein foi delineado e constituiu-se como um paradigma para os dias atuais. No decorrer do desenvolvimento das teorias, merece destaque uma teoria mecânica simples da gravitação, que desde o tempo de Newton permaneceu praticamente inalterada. Sua principal expressão inicial foi dada por Georges-Louis Lesage em Genebra, no século XVIII.

### 1.5.1 Georges-Louis Lesage

Lesage, nasceu em Conches, na Normandia. Oriundo de uma família de protestante francesa, foi exilado na Inglaterra por oito anos a fim de escapar das perseguições religiosas na França. Sua educação se deu em uma escola primária privada e, posteriormente, no Colégio de Genebra, contudo seus estudos foram complementados com a ajuda de seu pai, também chamado Georges-Louis Lesage, que era professor de filosofia e escritor. Pode-se dizer que a

---

<sup>78</sup> “*Many found it inconceivable [...] that lumps of inanimate matter could somehow divine the presence of their neighbors, measure the appropriate distances and masses, and attract each other across the the intervening space. The absurdity of such a notion was manifest, especially to Continental scientists imbued with the precepts of the Cartesian mechanical philosophy. [...] In the minds of most eighteenth-century scientists, the validity of the Newtonian Law was unquestionable; but because of their commitment to the mechanical philosophy, they generally - albeit often tacitly- assumed that some underling impulsive mechanism was responsible for the so-called Newtonian attraction. Newton himself had attempts to provide mechanical explanations of his law but without much success*”. (GOUGH, 1981, p. 259).

influência desempenhada por seu pai foi, ao mesmo tempo, benéfica e maléfica, porque, por um lado ele orientou a leitura de obras em latim e inglês e incentivou consideravelmente os estudos de Lesage, por outro, sua postura obstinada e arrogante fez com que Lesage permanecesse sob o domínio de seu pai, até mesmo após a sua morte.

O pai de Lesage foi autor de um livro de Física, o primeiro a ser publicado em Genebra, cujo conteúdo consistia em uma série de seções curtas que abordavam temas de seu interesse ou, em outras palavras, tratava-se de coleção de fatos e pronunciamentos. Apesar de a obra não apresentar uma Física atualizada, tampouco métodos matemáticos empregados à Física, ela apresentava uma postura cartesiana, que trazia explicações sobre o peso em termos de vórtices.

Lesage se interessou por filosofia natural, devido aos constantes incentivos de seu pai. Aos treze anos começou a ler Lucrécio, em latim, e foi profundamente afetado pelo antigo atomista. O racionalismo de Lucrécio e a sua doutrina atômica ressoou fortemente em muitas mentes no século XVIII. Em princípio, o próprio René Descartes (1596-1650) não era um atomista, porque não acreditava nem em espaços vazios e nem na existência de constituintes fundamentais irredutivelmente pequenos da matéria. Contudo, em muitas de suas explicações dos fenômenos, recorreu a mecanismos envolvendo partículas invisíveis (EVANS, 2002, p. 17).

Ainda com 13 anos de idade, Lesage começou a indagar-se sobre a gravidade. Em sua adolescência, se matriculou na Academia de Genebra, onde estudou Física com Jean-Louis Calandrani e Matemática com Gabriel Cramer. Após deixar a Academia, Lesage foi pressionado pelo seu pai a escolher uma carreira real, sendo medicina o curso eleito. Já ingresso na Universidade, Lesage teve a oportunidade de ouvir uma palestra ministrada por Daniel Bernoulli (1700-1782), responsável por lhe despertar o interesse no estudo da teoria corpuscular dos gases.

Depois um ano na Universidade em Basileia, Lesage mudou-se para Paris para continuar seus estudos. Nesse período suas deficiências de aprendizagem em Física e Matemática se acentuaram, contudo, conseguiu conquistar amigos e respeito ao demonstrar a falsidade de uma suposta máquina de movimento perpétuo. Acidentalmente, Lesage teve acesso a uma cópia das *Lições elementares em astronomia* de La Caille e, após sua leitura, passou a empreender esforços para compreender a astronomia em termos da mecânica. Em 15 de janeiro de 1747, Lesage escreveu uma carta para seu pai em que demonstrava entusiasmo: “Heureka! Nunca me senti tão satisfeito quanto neste momento, quando consegui explicar o princípio da gravitação universal pelas leis simples do movimento retilíneo” (JAMMER, 2011, p. 241).

Na tentativa de ser agraciado com um prêmio, em 1748, oferecido pela Academia de Ciências de Paris, que tinha como tema o tratamento da teoria das irregularidades no movimento

de Júpiter e Saturno, Lesage ignorou o tópico do prêmio e enviou um trabalho sobre *Essai sur l'origine des forces mortes (Ensaio sobre a origem da força morta)*, que tratava do delineamento de sua teoria da gravidade. Contudo, sua investida foi em vão, visto que sua contribuição chegou tarde demais e foi recusada pela secretária da Academia e um livro de memórias de Euler foi coroado – obra que realmente versou a respeito do tema do prêmio. Quatro anos depois, a Academia de Ciências parisiense anunciou uma segunda competição de prêmios sobre o mesmo assunto e Lesage, ainda esperançoso, reformulou seu trabalho e reenviou, todavia, Euler novamente venceu a disputa. Posteriormente, Lesage passou a ministrar aulas particulares de matemática e chegou a se tornar membro estrangeiro da Sociedade Real e aos 70 anos de idade faleceu em Genebra.

Em 1758, a primeira exposição completa de sua teoria completa da gravidade se deu no *Essay on Mechanical Chemistry (Ensaio sobre Química Mecânica)* e foi coroada pela Academia de Rouen, devido a uma competição promovida por ela, a qual objetivava explicar a afinidade química. O trabalho submetido por Lesage consistia em explicar o fenômeno da atração, já que esta pode ser chamada de gravitação, desde que os corpos estivessem separados um do outro. E chamada de coesão, caso se encontrassem unidos. Assim, a gravidade, coesão e afinidade química eram todos os aspectos de um único fenômeno mais geral (EVANS, 2002, p. 24).

Em 1761 Lesage possuía cópias deste trabalho, porém nunca foi formalmente publicado. Nesses escritos Lesage estabeleceu que:

A verdadeira causa de alguma mudança de estado de um corpo é a impulsão. Axiomatiza que efeitos similares originam-se de causas similares; a matéria invisível deve ser fluida; esse fluido deve viajar mais rápido que os corpos. Estima que a velocidade do fluido devia ser muitíssimo maior que a velocidade da luz; esse fluido deve ser constituído de corpúsculos discretos; o caminho percorrido pelo fluido deve ser retilíneo; os corpos materiais são muito porosos [ao fluido]. (NEVES, 2003, p. 404).

Nesse período, Lesage correspondeu-se com Euler, que acreditava que a atração/coesão se constituía nas velhas qualidades ocultas e defendia que as ondas de um fluido etéreo eram a causa da gravidade (NEVES, 2003, p. 404).

As principais influências de Lesage, além de seu pai, foram Lucrecio, Bernoulli, La Caille e Newton. Ele apresentava uma postura de isolamento e de desorganização mental - aspecto fundamental da sua personalidade- Lesage escreveu muito, porém publicava pouco e demonstrava dificuldades em concluir um tratado.

Lesage foi bem-sucedido ao desenvolver uma teoria mecânica da gravidade, em 1747. Enquanto atomista, ele buscava explicar todas as propriedades da matéria em termos de colisões

e conglomerados de átomos e acredita que a gravidade poderia ser entendida por esses mecanismos e, com efeito, procurava elucidar dinamicamente a formulação da gravitação que Newton havia postulado. A teoria de Lesage é especialmente interessante por muitas razões, dentre elas:

Primeiro, serve como o protótipo de uma explicação dinâmica da gravidade newtoniana. Em segundo lugar, a teoria chegou bem perto de atingir seu objetivo. Terceiro, a teoria teve uma vida longa e atraiu o interesse dos principais pensadores físicos de várias gerações sucessivas. A teoria de Lesage, portanto, oferece uma excelente oportunidade para o estudo da evolução das atitudes em relação à explicação física (EVANS, 2002, p. 9, tradução nossa).<sup>79</sup>

Lesage imaginava que o universo observável era banhado por um mar de corpúsculos chamados de “ultramundanos” (“*ultramondain*”, no original), que invadem a Terra vindos de fora do Universo conhecido. Esses corpúsculos têm as seguintes propriedades: massa mínima, velocidade enorme e sem elasticidade (EVANS, 2002, p. 10).

Para Lesage, se um corpo se encontrasse isolado, distante de quaisquer formas de matéria, ele permaneceria em repouso, tendo em vista que seria igualmente atingido pelas partículas ultramundanas, oriundas de todas as direções. Contudo, se um outro corpo fosse posto próximo, ele bloquearia as partículas e produziria uma sombra mecânica sobre o primeiro corpo. Desse modo, este corpo “[...] só seria impulsionado pelas partículas que o atingissem pelo o outro lado, e com isso se aproximaria do corpo que lhe servisse de anteparo com uma força inversamente proporcional ao quadrado da distância” (JAMMER, 2011, p. 240). O efeito seria recíproco, já que os dois corpos, devido à ação de bloqueio mútuo estariam “gravitando” um para o outro. Essa foi a explicação da gravitação universal dada por Lesage.

Nas palavras de Neves (2003, p. 403):

Grandes objetos, como estrelas, planetas e satélites, absorveriam uma minúscula fração de corpúsculos ultramundanos incidente sobre eles. Assim, a queda da maçã de uma árvore não seria explicada acausalisticamente segundo a ação instantânea de uma força que varia com o inverso do quadrado da distância. A maçã cairia porque ela está sujeita a mais corpúsculos vindos de cima que de baixo (uma vez que a Terra absorveria boa parte deles). Assim, dois corpos no espaço fariam uma espécie de sombra de corpúsculos ultramundanos entre si, explicando aquilo que hoje chamamos atração, mas que, na versão de Lesage, seria a impulsão dada pelos corpúsculos na parte não sombreada.

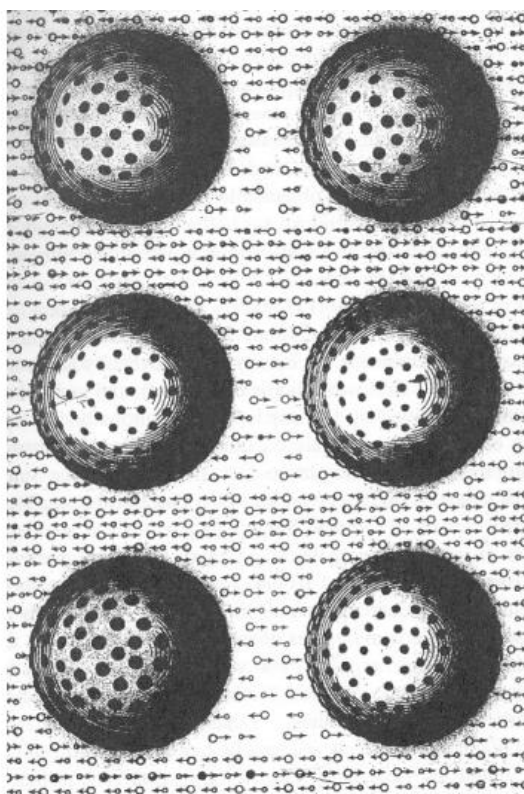
A Figura 8 representa tais exemplos.

---

<sup>79</sup> “First, it serves as the prototype of a dynamical explanation of Newtonian gravity. Second, the theory came quite close to accomplishing its aim. Third, the theory had a long life and attracted comment by the leading physical thinkers of several successive generations. Le Sage’s theory therefore provides an excellent opportunity for the study of the evolution of attitudes toward physical explanation” (EVANS, 2002, p. 9).



Figura 8 - O "efeito" Lesage



Fonte: Neves (2003, p. 402).

A teoria de Lesage pode, portanto, ser entendida como quantitativa, uma vez que, a atração entre dois corpos é diretamente proporcional ao produto de suas massas e em proporção inversa ao quadrado da distância entre eles.

Ela apresentava como características essenciais a simplicidade e a profundidade, desejáveis em qualquer conjectura física. Contudo, mais tarde, suas ideias relevaram insuficiências, pois:

Para começar, efeitos simples de bloqueio não poderiam explicar os fenômenos gravitacionais observados quando se colocam três corpos em linha reta, como ocorre, por exemplo, nos eclipses da Lua. Segundo a doutrina do que ele chamava de “fluido gravífico” não podia explicar a dependência da força gravitacional em relação à massa (JAMMER, 2011, p. 241).

Na tentativa de resolver o problema dos três corpos, foi proposto que a matéria sólida era porosa e que os efeitos de absorção eram incorporados a fim de explicar a dependência da massa (JAMMER, 2011, p. 241).

Em relação às objeções metafísicas à teoria de Lesage, pode-se considerar como fontes ricas de informações as cartas de Boscovich a Lesage. Boscovich admitiu que Lesage havia obtido êxito em sua Química Mecânica, onde estudiosos, como Descartes, haviam falhado.

Lesage conseguiu explicar como a gravidade poderia ser produzida pela impulsão de uma substância material que ainda não produzia nenhuma resistência sensível ao movimento. No entanto, Boscovich restringiu a aprovação, uma vez que considerou o sistema de Lesage como “não natural” e o rotulou de uma hipótese arbitrária. Ademais, Boscovich objetou que cada corpúsculo ultramundano desempenhava uma função durante apenas um curto espaço de tempo em que estava colidindo com um objeto pesado, e que essa era uma fração minúscula da duração do corpúsculo. Porém, a aversão mais forte de Boscovich referiu-se ao extraordinário número de corpúsculos ultramundanos necessários, visto que, como corpos pesados paravam somente uma pequena fração dos corpúsculos incidentes sobre eles, a grande maioria dos corpúsculos era supérflua, pois nunca colidiam com nenhum objeto pesado. Para Boscovich, isso implicava um desperdício extravagante por parte do Criador (EVANS, 2002, p. 29).

Além de Boscovich, a teoria da gravitação de Lesage repercutiu na mente de outros importantes cientistas, porque ela:

[...] tem um lugar único na ciência. Por mais de três séculos, atraiu periodicamente alguns dos maiores físicos da época, incluindo Newton [...] e, mais tarde, [lorde] Kelvin, que tentou modernizar a teoria no final do século XIX. Ao mesmo tempo, a teoria tem atraído tantos críticos notáveis, incluindo [Leonhard] Euler, [James C.] Maxwell e [Henri] Poincaré. Apesar dos frequentes e espirituosos obituários, a teoria de Lesage, sob vários aspectos, sempre sobreviveu para desafiar a sabedoria predominante novamente (EVANS, 2002, p. i, tradução nossa).<sup>80</sup>

De forma indireta, a teoria de Lesage também serviu de suporte teórico para o desenvolvimento de outras teorias, como é o caso do astrônomo Halton Arp (1923-2013), que por alguns anos confiou no pressuposto de que as massas se atraíam inversamente ao quadrado das distâncias que as separavam. Contudo, a partir do estudo, observação de catalogação de galáxias e quasares, ele foi induzido a aceitar o fato que os desvios para o vermelho extragalácticos (*redshifts*) eram principalmente intrínsecos e não o resultado da velocidade de resseção de um universo em expansão. Em decorrência disso, Arp passou a tentar entender a causa da gravidade sob outra perspectiva.

Nesse sentido, a teoria da gravitação proposta por Lesage contribuiu com a busca de mecanismos que dessem respaldo as novas evidencias empíricas e observacionais que emergiram no cenário científico.

---

<sup>80</sup> “[...] has a unique place in science. For over three centuries it has periodically attracted some of the greatest physicists of the day, including Newton [...], and later Kelvin, who attempted to modernize the theory in the late 1800’s. At the same time, the theory has drawn just as many notable critics, including Euler, Maxwell and Poincaré. Despite frequent and spirited obituaries, Le Sage’s theory in various guises has always survived to challenge the prevailing wisdom of the day. Now, at the start of this new century, it appears that the theory may be on the rise again” (EVANS, 2002, p. i).

A tradição newtoniana influenciou o pensamento de muitos pesquisadores, dentre eles, Lesage. A teoria mecânica da gravidade proposta por esse pesquisador, apresentava características esperadas, como a simplicidade. Configurou-se, então, como uma interessante e promissora explicação alternativa para a gravidade e a profundidade teórica, apesar de ter sido considerada inviável pela maioria dos estudiosos.

## 1.6 FLUIDOS IMPONDERÁVEIS

A teoria dos fluidos imponderáveis não versava sobre os conceitos de força, mas revelava como alguns filósofos naturais do século XVIII concebiam as interações físicas dos fenômenos elétricos, magnéticos, térmicos etc. Essa teoria difere radicalmente da concepção que se tem hoje a respeito da constituição da matéria, pois ela admitia a existência de fluidos imponderáveis como constituintes da matéria, os quais seriam invisíveis e poderiam transitar de um corpo para outro. A causa dessa transferência de fluidos entre os corpos era interpretada de acordo com o fenômeno que estava sendo investigado.

### 1.6.1 Stephen Gray

O físico e astrônomo amador Stephen Gray (1666-1736) desenvolveu importantes pesquisas na área da astronomia e da eletricidade, porém seus trabalhos ainda são pouco reconhecidos e pouco mencionados no cenário acadêmico. No entanto, Gray foi eleito membro da Royal Society em 1733 e foi agraciado em 1731 e 1732 com um prestigiado prêmio oferecido pela mesma para os pesquisadores de destaque, a Medalha Copley (CHIPMAN, 1958, p. 422).

A partir de um estudo minucioso a respeito das publicações de Stephen Gray, Boss e Caluzi (2010) identificaram que os trabalhos de Gray podem ser divididos em três períodos: de 1696 a 1706; de 1706 a 1731, e de 1731 até sua morte em 1736, sendo que:

As publicações do primeiro período abordam temas relacionados à astronomia, instrumentação científica e óptica, num total de dez trabalhos. No segundo período, encontram-se apenas quatro trabalhos, sendo três sobre astronomia e um sobre eletricidade. No último período foram publicados oito trabalhos sobre eletricidade e um sobre astronomia, totalizando 9 trabalhos. Portanto, foram encontrados 23 artigos de Stephen Gray publicados no periódico *Philosophical Transactions of the Royal Society* (BOSS; CALUZZI, 2010, p. 2).

As publicações dos trabalhos de Gray concentram-se no primeiro e no último período, isto é, de 1696 a 1706 e de, 1731 a 1736.

O primeiro tema de interesse de Gray foi a astronomia, área em que realizou observações de eclipses solares e lunares, eclipses dos satélites de Júpiter, e de manchas solares. Ele também obteve êxito em identificar na natureza dois tipos de substâncias, dotadas de particularidades elétricas distintas, denominadas atualmente de condutores e isolantes. Ademais:

Ele descobriu ainda algumas das principais propriedades dessas substâncias. Conseguiu atribuir aos metais e a outros condutores, pela primeira vez na história, a propriedade de atrair corpos leves colocados em suas proximidades – esse fenômeno é chamado atualmente de *indução* ou *polarização elétrica*. Também conseguiu eletrizar condutores isolados por meio de faíscas ou descargas elétricas entre esses condutores e um tubo de vidro eletrizado colocado em suas proximidades. Criou ainda os primeiros eletretos da história, ou seja, substâncias que apresentam uma eletrização de longa duração, mostrando ainda como preservar temporariamente a eletrização dos corpos. (BOSS; ASSIS; CALUZZI, 2012, p. 11).

Também é atribuído à Gray a constatação de que os efeitos elétricos podem ser transmitidos a longas distâncias por meio de fios adequados. Contudo, a extensão, a qualidade e a versatilidade de seu trabalho científico são quase que inteiramente desconhecidas (CHIPMAN, 1958, p. 414).

Nos períodos que antecederam Gray, eram conhecidos alguns fenômenos elétricos, tais como a capacidade de alguns corpos atraírem objetos leves depois de serem atritados, como por exemplo, o âmbar (resina fóssil). No decorrer dos séculos, os conhecimentos acerca dos fenômenos elétricos caminharam a passos lentos. Os trabalhos do físico e médico inglês William Gilbert (1544-1603) proporcionaram algumas contribuições ao realizar experimentos, em que passou a denominar “elétricos” os corpos que se comportavam como o âmbar e de “não elétricos” os que não apresentavam tal comportamento de atrair os objetos leves. É geralmente conferido a Gilbert a primeira observação de que o âmbar ao ser atritado era capaz de atrair uma gota d’água. Posteriormente, em 1660 e 1675, Honoré Fabri (1607-1688) e Robert Boyle (1627-1691) “descobriram, respectivamente, que as ações elétricas são mútuas, isto é, que um pequeno pedaço atritado de âmbar é atraído por um corpo grande colocado em suas proximidades” (BOSS; ASSIS; CALUZZI, 2012, p. 50).

No período do século XVIII, o físico alemão Otto Von Guericke (1602-1686) fez uso de experimentos para aprofundar os conhecimentos sobre eletricidade. “Ele prendeu um globo de enxofre do tamanho da cabeça de uma criança a uma haste de madeira. Atritou o globo de enxofre contra a mão e segurou-o pela haste. Após soltar uma penugem sobre o globo, percebeu que ela o tocava e passava a ser repelida por ele” (BOSS; ASSIS; CALUZZI, 2012, p. 50).

Nessa perspectiva, o contexto científico do século XVIII, no qual Stephen Gray (1666-1736) estava imerso, era ainda bastante limitado. Contudo, aparentemente o seu

interesse pela eletricidade emergiu a partir de experimentos realizados por seus contemporâneos. Seu primeiro artigo foi escrito entre 1707 e 1708, nele foi proposto um experimento com penas flutuantes semelhante ao feito por Guericke, mas ao invés de usar o globo de enxofre, optou por utilizar um vidro eletrizado. Assim, ao colocar a penugem próxima de um objeto concreto, foi possível verificar um movimento oscilatório da penugem entre o objeto e o vidro eletrizado. Já em 1720, Gray publicou o seu segundo artigo sobre eletricidade, em que, a partir do pressuposto de que um corpo eletrizado é atraído por um pedaço de madeira ou até mesmo por um dedo, conseguiu encontrar novos materiais elétricos (BOSS; ASSIS; CALUZI, 2012, p. 50).

Onze anos mais tarde, em 1731, Gray publicou o artigo mais importante a respeito da eletricidade. Neste trabalho ele descobriu feitos notáveis como, por exemplo, a transmissão da eletricidade, a eletrização dos metais e a descoberta dos materiais condutores e isolantes (termos empregados nos dias atuais), sendo que até àquele momento os mesmos eram desconhecidos.

O procedimento adotado por Gray consistia em atritar um tubo de vidro com uma das mãos e com a outra o segurava para atrair corpos leves. No trabalho de Gray constava a observação de que a rolha que se encontrava na extremidade do tubo de vidro atraía uma penugem posta em suas proximidades somente quando o tubo era atritado. A rolha apresentava um comportamento de um condutor e não atraía corpos leves quando atritada no momento em que era segurada pela outra mão, configurando-se como uma das substâncias não-elétricas. Gray foi além:

[...] ampliou essa descoberta da comunicação ou transmissão da eletricidade para a rolha, prendendo a ela, ou no vidro, varetas de madeira, barbantes, arames metálicos etc. As extremidades livres de todos esses corpos (ou alguns condutores presos a essas extremidades livres) atraíam corpos leves quando Gray atritava seu tubo de vidro. Com isso, ele conseguiu, pela primeira vez na história, fazer com que os metais, particularmente, atraíssem corpos leves. (BOSS; ASSIS; CALUZI, 2012, p. 52).

Esta foi uma grande contribuição de Gray, pois, em dois mil anos, a contar da descoberta do âmbar e seus efeitos, ninguém havia feito tal observação, apesar de várias alterações de variáveis.

Ainda nesse mesmo artigo, Gray descreveu como obteve resultados satisfatórios ao aumentar consideravelmente o comprimento dos condutores presos ao tubo de vidro. No entanto, ao apoiar os longos condutores, que estavam presos ao tubo de vidro, foi perceptível que estes não atraíram mais os corpos leves quando os apoios presos ao solo eram constituídos de corda, barbante ou metal. Em contrapartida, quando os apoios presos ao solo eram feitos de seda, as extremidades livres dos longos condutores presos ao tubo de vidro

atritado continuavam a atrair os corpos leves postos em suas proximidades (BOSS; ASSIS; CALUZI, 2012, p. 52).<sup>81</sup>

Gray também foi pioneiro na observação do atualmente conhecido aterramento elétrico, em que o condutor eletrizado, ao ser posto em contato com o solo, é neutralizado pela Terra. Além disso, como já mencionado, Gray verificou que a eletricidade podia ser comunicada a distância:

Para isso, deixava um longo condutor isolado do solo, ou seja, apoiado ou suspenso por materiais isolantes. Ao aproximar o tubo de vidro atritado de uma das extremidades do longo condutor, sem tocá-lo, percebeu que a outra extremidade do condutor atraía corpos leves que estivessem em suas proximidades. Conseguiu também fazer com que bolhas de sabão atraíssem corpos leves. Para isso, suspendeu por meio de fios isolantes um cachimbo com a boca do forninho para baixo, produziu uma bolha na boca do forninho e aproximou seu tubo de vidro atritado da extremidade livre da piteira do cachimbo. Da mesma forma, conseguiu fazer que um garoto suspenso por linhas isolantes, sem contato com o solo, atraísse corpos leves colocados próximos de seu rosto ou de suas mãos. Para conseguir essa atração, aproximou seu tubo de vidro eletrizado dos pés do garoto suspenso no ar. (BOSS; ASSIS; CALUZI, 2012, p. 53-54).

Já no quarto artigo, publicado em 1731, Gray procurou demonstrar os experimentos realizados para eletrizar um prato contendo água assentado sob um material isolante. No ano seguinte, em 1732, no seu quinto artigo, Gray encontrou um novo jeito de fazer com que a eletrização fosse permanente. Para tanto, ele fundiu distintas resinas em uma concha metálica e observou que elas adquiriram a propriedade de atrair corpos leves ao serem retiradas das conchas, independente de terem sido atritadas. Quando as resinas eram cobertas por outros condutores e protegidas do ar, era possível preservar a eletrização por um longo período de tempo. O que Gray identificou foi o que atualmente se conhece como eletreto, substância que apresenta eletrização permanente. Essa eletrização pode ser um dipolo elétrico ou pode possuir uma carga elétrica diferente de zero, positiva ou negativa (BOSS; ASSIS; CALUZI, 2012, p. 55).

No mesmo ano de 1732, Gray publicou seu sexto artigo, em que conseguiu comunicar a atração de corpos leves através de corpos opacos e transparentes, bem como obteve sucesso em comunicar a atração por meio de condutores que se encontrassem próximos. Em 1735, no sétimo artigo publicado, Gray procurou demonstrar os experimentos realizados vinculados às descargas elétricas e à luz produzida pelos condutores eletrizados quando estes ficavam próximos de outros condutores. No seu oitavo artigo, Gray ampliou as observações

---

<sup>81</sup> Essa descoberta permitiu que Gray inferisse sobre o fato de que um corpo pode se comportar como um condutor ou isolante.

demonstradas no trabalho anterior e também iniciou a comparação da condutividade de distintos materiais. Por fim, no seu nono e décimo artigos, publicados após a sua morte, Gray escreveu novamente acerca dos assuntos já abordados (BOSS; ASSIS; CALUZI, 2012, p. 55-56).

Os trabalhos de Gray apresentavam como características principais a engenhosidade e a inteligência. Ele empreendia esforços para realizar uma gama de experimentos e observar o comportamento elétrico dos corpos, porém manteve-se distante da elaboração de explicações para os fenômenos verificados. Em seus textos, apenas buscou elucidar o fenômeno da atração e repulsão dos corpos leves. Segundo Boss (2011, p. 81) “uma possível explicação para esse comportamento de Gray é que ele estava imerso em alguma tradição ou corrente filosófica que estivesse mais ligada à mera descrição dos fenômenos”.

Apesar desse aparente costume de fornecer somente descrições dos fenômenos, é evidente que o legado de Gray serviu de alicerce para os pesquisadores sucessores a ele que também tinham interesse no estudo da eletricidade.

## 1.6.2 Charles François de Cisternay Du Fay

Contemporâneo a Gray, o químico e filósofo natural francês do início do século XVIII, Charles François de Cisternay Du Fay (1698-1739) empenhou-se na busca de constructos teóricos que pudessem fornecer explicações aos fenômenos elétricos até então não compreendidos.

Possivelmente inspirado em estudos de pesquisadores que investigavam os fenômenos da eletricidade, como Otto von Guericke (1602-1686), Francis Hauksbee (1660-1713) e Stephen Gray (1666-1736), o interesse de Du Fay por esse assunto resultou em fundamentais contribuições para esta temática. Em especial, ele distinguiu dois tipos de eletricidade – a vítrea e a resinosa - e compreendeu como se dava o mecanismo de atração-contato-repulsão, bem como percebeu que a repulsão se referia a um fenômeno elétrico.

Já em 1735, a revista *Philosophical Transactions of the Royal Society* publicou no volume 38 uma carta escrita por Du Fay, em que sintetizou seus estudos sobre eletricidade. Os temas discutidos na carta foram minuciosamente descritos em suas Memórias e publicados no periódico *Histoire de L'Académie Royale des Sciences*. No ano de 1733, quatro das mesmas foram divulgadas, sendo que a primeira apresentava uma síntese histórica dos trabalhos referentes à eletricidade, a segunda versava sobre os corpos susceptíveis à eletrização, a terceira

discutia acerca dos corpos que eram atraídos por materiais eletrizados e os que eram mais propícios para a transmissão da eletricidade, e na quarta memória Du Fay discorreu sobre a atração e repulsão dos corpos elétricos (BOSS; CALUZI, 2007, p. 636).

Um ano depois, em 1734, Du Fay publicou mais duas memórias, a quinta e a sexta. Na quinta, ele discutiu como a eletricidade era afetada por diferentes variáveis e na sexta, investigou a relação entre a eletricidade e a produção de luz em corpos eletrificados e quais fatores podem influir nesta produção (BOSS; CALUZI, 2007, p. 636). Por fim em 1737, Du Fay publicou mais duas memórias, na sétima, deu continuidade à abordagem, na oitava discutiu o trabalho de Gray, promovendo uma avaliação de seus estudos.

Como já mencionado, na quarta memória Du Fay descreveu dois princípios. O primeiro deles reporta à atração e à repulsão entre os corpos. No seu contexto histórico, a virtude elétrica era concebida como uma virtude geral, os corpos se atraíam ou repeliam devido a uma virtude considerada genérica e causa de ambos os fenômenos, a atração, portanto, “tornava-se, assim, a característica definidora da virtude elétrica” (RAICIK; PEDUZI, 2015, p. 111). Em outras palavras, só havia se observado “a atração ou a falta de atração entre um corpo atritado e várias substâncias leves” (ASSIS, 2010, p. 73). Havia uma resistência de reconhecer o fenômeno da repulsão como sendo um efeito contrário ao da atração. Assim, “muitos estudiosos imaginavam que o eflúvio elétrico, responsável pela atração entre os corpos, ocasionava também, por algum mecanismo impreciso, mas prevalentemente mecânico (colisões, rebotes), o seu afastamento” (RAICIK; PEDUZI, 2015, p. 111). Ou então, como sinaliza Assis (2010, p. 73) “às vezes o fenômeno observado era interpretado apenas como uma repulsão aparente”.

No início de seus estudos, Du Fay defendia a concepção de que o afastamento entre os corpos (depois da atração elétrica entre os mesmos) era consequência de uma atração desses corpos por outros próximos a eles. Por intermédio de um experimento sinalizado pelo cientista, físico e biólogo René Antoine Ferchaul Reaumur (1683-1757), Du Fay refutou essa conjectura por meio de testes de hipóteses e experimentos propostos por outros estudiosos como Reaumur e Hauksbee, concluindo a ideia da repulsão elétrica (RAICIK; PEDUZI, 2003, p. 7). Assim, no sentido oposto à corrente teórica da sua época, Du Fay admitiu a natureza do fenômeno da repulsão, ou seja, atribuiu ao mesmo um caráter elétrico. Desse modo, ele conjecturou que o afastamento entre os corpos é oriundo de um evento elétrico. Além de compreender a repulsão elétrica, Du Fay “esperava encontrar uma resposta ao afastamento de dois ou mais corpos depois de os mesmos terem se atraído, ao mesmo tempo em que precisava entender o que e por que esse afastamento ocorria” (RAICIK; PEDUZI, 2015, p. 113), visto que outros



pesquisadores já haviam feito as mesmas observações, porém fornecendo explicações não vinculadas com as características elétricas das interações entre os corpos.

Du Fay, ao observar sistematicamente o comportamento dos objetos em suas experiências, supôs a existência de uma possível relação entre os corpos que são ou não elétricos com os fenômenos de repulsão e elaborou seu primeiro princípio:

Enfim, tendo refletido sobre o fato de que os corpos menos elétricos seriam mais vivamente atraídos que os outros, eu imaginei que o corpo elétrico atrairia talvez aqueles que não são nem um pouco [elétricos] e afastaria todos aqueles que se tornaram elétrico pela aproximação e pela comunicação da virtude [elétrica]. (DU FAY, 1733b, p. 458 apud BOSS; CALUZI, 2007, p. 114).

Du Fay prosseguiu nas suas investigações, e após fazer por duas vezes a experiência desenvolvida inicialmente por Guericke, que consistia em atritar um tubo de vidro para torná-lo elétrico e ao segurá-lo na horizontal, era deixado cair sobre ele um pedaço de folha de ouro. Deste modo, ele pode presumir que assim que a mesma tocava o tubo, ela era repelida perpendicularmente a uma distância que variava de acordo com o seu turbilhão elétrico (equivalente à virtude elétrica). Após propor algumas considerações acerca dessa experiência, Du Fay aprimorou seu primeiro princípio e explicitou que:

Descobri um princípio muito simples, que explica grande parte das irregularidades e dos caprichos, se é que posso usar este termo, que parecem acompanhar a maioria dos experimentos em eletricidade. Este princípio é: corpos elétricos atraem todos aqueles que não estão desta forma, e os repelem assim que eles tornam-se elétricos, pela proximidade ou pelo contato com o corpo elétrico [...]. Ao aplicar este princípio em diversos experimentos sobre eletricidade, fiquei surpreso com o número de fatos obscuros e intrigantes que clareou. (DU FAY, 1733-4a, p. 262-263 apud RAICIK; PEDUZI, 2015, p. 115).

Tal princípio – comportamento regular de atração-contato-repulsão – permitiu a elucidação de muitos fenômenos elétricos, bem como oportunizou uma compreensão plena da repulsão elétrica. Além disso, possibilitou que Du Fay constatasse a restrição de que o princípio somente era válido para dois corpos quando um deles havia sido eletrizado por comunicação a partir do outro (RAICIK; PEDUZI, 2015, p.115).

Posteriormente, Du Fay enunciou o seu segundo princípio, em que propôs a existências de duas eletricidades:

Eu comecei por sustentar no ar, com o mesmo tubo, duas folhas de ouro e elas sempre se distanciavam uma da outra, seja qual for o esforço que eu tenha feito para aproximá-las. Isto deve advir da força, uma vez que ambas estavam eletrizadas. Assim que uma das duas tocou a mão ou qualquer outro corpo, elas se uniam sobre o campo uma a outra, uma vez que uma delas foi tocada e perdeu sua eletricidade, então, a outra a atrai e tende ir a sua direção. Tudo isto está perfeitamente de acordo com

minha hipótese [inicial], mas o que me desconcertou prodigiosamente foi a experiência a seguir.

Tendo elevado ao ar uma folha de ouro por meio do tubo, eu aproximei dela um pedaço de goma copal atritado e eletrizado. A folha interagiu com o campo, [foi atraída] e ali permaneceu. Confesso que esperava um efeito completamente contrário, porque segundo meu raciocínio [inicial], a copal, que estava eletrizada, deveria repelir a folha que também estava eletrizada. Repeti a experiência um grande número de vezes acreditando que eu não apresentava à folha o lugar que havia sido atritado [na copal]. Desta forma, ela não se comportava como ela o faria em relação ao meu dedo ou a qualquer outro corpo, mas tendo feito sobre ela todas as minhas medidas, de maneira a não restar qualquer dúvida, eu me dei por convencido que a copal atraía a folha de ouro, ainda que ela tenha sido repelida pelo tubo. A mesma coisa acontecia ao aproximar a folha de ouro de um pedaço de âmbar ou de cera d’Espanha atritada.

[...]

Aqui estão, portanto, duas eletricidades de naturezas completamente diferentes: aquela dos corpos transparentes e sólidos, como o vidro, o cristal, e aquela dos corpos betuminosos e resinosos como o âmbar, a goma copal e a cera d’Espanha. Ambos os grupos repelem os corpos que contraíram uma eletricidade de mesma natureza que as suas. Eles atraem, ao contrário, aqueles cuja eletricidade é de uma natureza diferente das suas. Nós acabamos de ver, até mesmo, que os corpos que não são eletrizados, podem adquirir cada uma dessas eletricidades e que, então, seus efeitos são parecidos àqueles efeitos dos corpos que os comunicaram a eles.

[...]

Aqui estão, portanto, duas eletricidades demonstradas, e eu não posso abster-me de dar-lhes nomes diferentes para evitar a confusão dos termos e/ou o incômodo de definir, a cada instante, aquela da qual eu quero falar. Eu chamarei, pois, uma de eletricidade vítrea e outra de eletricidade resinosa. Eu não imagino que haja algum corpo da natureza do vidro que seja dotado de uma e os materiais resinosos da outra, uma vez que eu possuo fortes provas do contrário, mas é porque o vidro e a copal são os dois materiais que me permitiram descobrir as duas diferentes eletricidades. (DU FAY, 1733 apud BOSS et al, 2009, p. 6-7).

Devido a algumas contradições no primeiro princípio, Du Fay abriu caminho para a enunciação do segundo princípio referente à existência de dois tipos de eletricidade, a vítrea e a resinosa, em que, corpos com a mesma eletricidade se afastam e com eletricidades distintas se atraem. De modo mais detalhado, Du Fay verificou que os vidros e as resinas apresentavam características elétricas diferentes. A eletricidade vítrea, por exemplo, encontrava-se em vidros, determinadas pedras, pêlos de animais, lã etc. A resinosa, por sua vez, estava presente no âmbar, linha, papel etc. Contudo, vale ressaltar que a classificação dos materiais em cada uma das eletricidades já não é mais confiável atualmente, pois um determinado material pode adquirir um ou outro tipo de eletricidade, dependendo do material que o atrita, portanto, a classificação de Du Fay apenas é coerente se o material utilizado para atritar seja sempre o mesmo (BOSS; CALUZI, 2007, p. 639).

Além de contribuir para o desenvolvimento da eletricidade por meio da postulação dos dois princípios, Du Fay também colaborou com outros estudos elétricos e estabeleceu importantes cooperações por intermédio de correspondências e do diálogo direto com renomados estudiosos de sua época.

No decorrer de grande parte do século XVIII, a maioria dos filósofos naturais – pessoas que desempenhavam atividades relacionadas à medicina, à religião, à química, à física etc – adotavam empiricamente a teoria dos fluidos imponderáveis a fim de tentar elaborar explicações consistentes para os fenômenos observados. Em outras palavras, tais estudiosos, procuravam utilizar forças intermoleculares, que atuavam a pequenas distâncias, da matéria ordinária e as moléculas dos fluidos imponderáveis para explicar a constituição do calor, da luz, da eletricidade e do eletromagnetismo. Essas forças:

[...] foram concebidas como sendo exercidas por e sobre matéria ponderável e imponderável e ordinária [...] De acordo com crenças que tinham chegado a ser amplamente aceitas no final do século XVIII, cada fluido era constituído por partículas que eram mutuamente repulsivas, mas que em todos os casos eram atraídas por matéria ponderável (FOX, 1974, p. 92, tradução nossa).<sup>82</sup>

Para aperfeiçoar a explicação dos fenômenos elétricos e magnéticos, os filósofos naturais propuseram a existência de uma força de atração entre as moléculas do fluido elétrico vítreo e as moléculas do fluido elétrico resinoso, bem como uma força de atração entre as moléculas do fluido magnético austral e as moléculas do fluido magnético boreal, sem, entretanto, haver interações entre dois fluidos imponderáveis de naturezas distintas (FOX, 1974, p. 92).

Os fluidos imponderáveis têm suas raízes nas especulações de Newton sobre a possível existência do éter, que se encontram publicados na segunda e subsequentes edições do livro *Óptica*, e ainda mais reconhecido na visão newtoniana da estrutura do gás. Contudo,

[...] esse modelo newtoniano foi aplicado com crescente frequência nas discussões sobre as propriedades dos fluidos ponderáveis desde a década de 1740, quando [Benjamin] Franklin o usou em suas especulações amplamente lidas sobre a natureza do fluido elétrico. De fato, por volta de 1780, Franklin acreditava que os fenômenos eletrostáticos podiam ser explicados em termos da suposta repulsão entre as partículas do fluido elétrico e a suposta atração entre o fluido e as partículas de matéria ponderável comum haviam se tornado uma doutrina padrão (FOX, 1954, p. 93, tradução nossa).<sup>83</sup>

A partir dos trabalhos de importantes pesquisadores, como Franz Aepinus (1724-1802), Joseph Priestley (1733-1804) e Antoine Lavoisier (1743-1794), outros fluidos imponderáveis,

<sup>82</sup> “[...] were conceived as being exerted by and upon imponderable as well as ordinary ponderable matter [...]. In accordance with beliefs that had come to be widely accepted by the end of the eighteenth century, each fluid was thought to consist of particles which were mutually repulsive but which in all cases were attracted by ponderable matter” (FOX, 1974, p. 92).

<sup>83</sup> “This Newtonian model had been applied with increasing frequency in discussions of the properties of imponderable fluids since the 1740's, when Franklin used it in his widely read speculations on the nature of the electric fluid. In fact, by about 1780 Franklin's belief that electrostatic phenomena could be explained in terms of the supposed repulsion between the particles of the electric fluid and the supposed attraction between the fluid and the particles of ordinary ponderable matter had become standard doctrine” (FOX, 1954, p. 93).

como os fluidos do magnetismo, calor (ou fogo) e luz foram propostos. No entanto, havia divergências conceituais entre os adeptos das teorias de "um fluido" de eletricidade e magnetismo, associados principalmente aos nomes de Franklin e Aepinus, e aqueles como [Charles Augustin Coulomb] que advogavam em favor de teorias de "dois fluidos", em que um fluido elétrico vítreo e resinoso e um fluido magnético austral e boreal foram postulados (FOX, 1954, p. 93).

Independentemente de tais diferenças, a teoria dos fluidos imponderáveis pode ser considerada uma importante contribuição para a compreensão da eletricidade e outros fenômenos no final do século XVIII, visto que era coerente e simples, além de possuir um certo *status* newtoniano, tão reconhecido na época. Contudo, devido à sua interpretação puramente qualitativa e vaga, a teoria dos fluidos imponderáveis caiu em desuso, tendo em vista a sua carência de embasamento matemático.

### 1.7 A ESCOLA FILOSÓFICA ALEMÃ DA *NATURPHILOSOPHIE*

Nas últimas décadas do século XVIII a Alemanha foi um dos focos de irradiação da arte e do pensamento romântico. O pensamento romântico pode ser definido como “doentio, desordenado, desencantado, introspectivo, imaginoso, sonhador, sentimental, saudosista, liberal, revoltado, heroico, expressionista” (TORRES-FILHO, 1984, p. VII).

Essas características psicológicas eram pertinentes a escritores e artistas do Romantismo, mas também a filósofos como Friedrich Wilhelm Joseph Schelling (1775-1854), apontado como a principal expressão da *Naturphilosophie* – movimento filosófico fundado na Alemanha no referido momento histórico.

A *Naturphilosophie* (filosofia da natureza) era caracterizada por uma preocupação com questões metafísicas de natureza muito ampla e abstrata (GOWER, 1973, p. 301). Os simpatizantes dessa filosofia – os *Naturphilosophen* – “[...] colocam o organismo como metáfora fundamental de sua ciência universal. Desse modo, buscavam um princípio unificador para todos os fenômenos naturais, por meio dos processos de transformação e conversão” (SILVA; SILVA, 2017, p. 688).

De acordo com essa corrente filosófica, os fenômenos químicos, elétricos, magnéticos, bem como os orgânicos deveriam tecer relações e dar origem a uma importante associação capaz de se estender por toda a natureza, e a partir dessa premissa, buscar-se-ia nas ciências naturais processos de conversão e transformação.

A *Naturphilosophie* exerceu grande influência em todas as ciências, na literatura e também no desenvolvimento dos estudos de muitos filósofos naturais durante o final do século XVIII e no decorrer do século XIX. Contudo:

Em vez de uma única abordagem sistemática da natureza, parece mais adequado considerar a ciência da época como tendo sido formada a partir de um fundo comum de conceitos e métodos científicos, predisposições metafísicas e preocupações epistemológicas [...] (LENOIR, 1981, p. 112, tradução nossa).<sup>84</sup>

Como principal expoente da *Naturphilosophie*, Schelling teve sua carreira marcada pelo desejo de construir um sistema que o permitisse compreender a natureza sob um aspecto organicista. Seus pensamentos dominaram as universidades alemãs e influenciaram os estudos de cientistas como Hans Christian Oersted (1777-1851), Johann Ritter (1776-1810) e Julius Robert von Mayer (1814-1878). Na Inglaterra e na França, renomados pesquisadores também adotaram os pressupostos schellinguianos, como: Michael Faraday (1791-1867); James Prescott Joule (1818-1889); William Thomson (1824-1907); James Clerk Maxwell (1831-1879) e Sadi Carnot (1796-1832).

### 1.7.1 Friedrich Wilhelm Joseph Schelling

Schelling nasceu no dia 27 de janeiro de 1775, na pequena cidade de Leonberg, na Alemanha. Seu pai, Joseph Friedrich, atuou como pastor protestante e o orientou a seguir os estudos no sentido da carreira sacerdotal. Schelling iniciou seus estudos na escola de um mosteiro e posteriormente deu sequência no seminário teológico, onde concluiu o curso em 1792. Os estudos vinculados à religião foram relevantes em sua formação, porém as discussões sobre filosofia de Baruch de Espinosa (1632-1677), Immanuel Kant (1724-1804) e Johann Gottlieb Fichte (1762-1814), que mantinha com dois colegas, Georg Wilhelm Friedrich Hegel (1770-1831) e Friedrich Holderlin (1770-1843), o conduziram à esfera das frutíferas abstrações filosóficas (TORRES-FILHO, 1984, p. VIII).

No ano de 1798 tornou-se professor da Universidade de Jena, onde conheceu pessoalmente o filósofo Fichte. De 1802 a 1803, dirigiu, juntamente com Hegel, o Jornal *Crítico*

---

<sup>84</sup> “Rather than a single systematic approach to nature, it seems more appropriate to regard the science of this era as having been formed from a common fund of scientific concepts and methods, metaphysical predispositions and epistemological [...]” (LENOIR, 1981, p.112).

da *Filosofia* e na mesma época a cidade de Jena, por ser considerada o principal centro da Escola Romântica alemã, propiciou a Schelling um pleno envolvimento com os demais membros desta instituição.

Ainda em 1803, Schelling se casou e transferiu-se para a Universidade de Wurzburg, em que permaneceu até 1806, quando foi chamado a Munique a fim de ocupar os cargos de secretário da Academia de Artes e de associado à Academia de Ciências. Em 1854, faleceu na cidade de Ragaz. Além dos trabalhos em que compactuava com as ideias de Fichte, ele deixou extenso conjunto de obras dentre as quais se destacam:

- *Idéias para a Filosofia da Natureza* (1797);
- *A Alma do Mundo* (1798);
- *Projeto de um Sistema, Exposição de Meu Sistema* (1801);
- *Bruno* (1803);
- *Filosofia e Religião* (1804);
- *Investigações Filosóficas Sobre a Essência da Liberdade Humana* (1809);
- *Filosofia da Arte* (1845);
- *As Idades do Mundo* (1811);
- *Filosofia da Mitologia* (1842);

O desenvolvimento histórico da filosofia da natureza de Schelling teve muitas influências que remontam à Grécia Antiga, nos filósofos jônicos e em Platão (427 a.C-347 a.C). Perpassa pela ideia medieval de alma do mundo, de Giordano Bruno (1548-1600), pela *natura naturans* de Baruch Spinoza (1632-1677), pela harmonia que rege o mundo, de Leibniz, e pela filosofia crítica, de Kant, mais especificamente pela constituição da matéria (GONÇALVES, 2010. p. 7).

A produção filosófica de Schelling foi inicialmente norteadada pela filosofia transcendental de Kant e Fichte. Ele empenhou-se em elucidar o problema proposto pelo idealismo transcendental que se referia à possibilidade de conhecer um mundo efetivamente real. Este impasse, poderia ser resolvido, segundo Schelling, por meio da afirmação da unidade entre a atividade mental do universo humano – também chamado de mundo ideal – e a atividade real de um mundo objetivo, conhecido como Natureza (GONÇALVES, 2014, p. 318).

O movimento filosófico de Kant encontrado no livro *Crítica da Razão Pura* (1781) procurou sobreviver dentro do contexto intelectual do Romantismo. Sua filosofia era concebida pelos idealistas como sendo uma espécie de substituto da religião tradicional, ou pelo menos

como garantia racional de uma nova e mais alta fase de consciência religiosa e moral. A compreensão da natureza proposta por Kant foi considerada aquém da concepção romântica da mesma, entendida como um todo ativo, dinâmico e orgânico (GOWER, 1973, p. 310). Em contrapartida, Schelling admitiu que tanto o mundo físico quanto o “Eu” são realidades básicas e, portanto, o “dualismo” deveria ser tomado como ilusório. Desse modo, ele acusa Kant de, indiretamente, apoiar o dualismo da mente e da matéria, do Eu e da Natureza.

De acordo com a perspectiva Kantiana, o objetivo da filosofia transcendental não consistia em explicar o método apropriado para abstrair as generalizações legais da natureza como dadas na experiência, mas sim visava determinar previamente as condições para a possibilidade da experiência, que é fornecer a fonte a partir da qual as leis gerais da natureza devem ser deduzidas (LENOIR, 1981, p. 113). Como característica deste programa, pode-se citar o conceito de matéria proposto por Kant. Para ele, a definição de matéria precisa fundamentar a mecânica, não a partir do emprego de átomos irreduzíveis, mas sim por meio da ponderação de uma interação dinâmica de forças atrativas e repulsivas que emanam de pontos não materiais.

Kant fez objeções em relação aos princípios da mecânica newtoniana, em particular em relação à ideia de espaço absoluto, bem como contestou a razão pela qual os corpos interagem entre si mesmos apesar de estarem separados fisicamente. Sua preocupação teve como foco a tentativa de demonstrar a impossibilidade de se ter acesso à natureza das coisas como elas realmente são, ou às “coisas-em-si” (GARDELLI, 2014, p. 21). Com este propósito, Kant concentrou-se em entender o conceito de força e sua função na natureza, e a partir da publicação do livro *Metaphysische Anfangsgründe der Naturwissenschaft* (*Primeiros Princípios Metafísicos da Ciência da Natureza*) publicado em 1796, defendeu a existência de somente duas forças fundamentais na natureza e renunciou que outros tipos de “forças” deveriam se manifestar simplesmente como modificações destas últimas:

Apenas se podem pensar estas duas forças motrizes [de atração e de repulsão] da matéria. Com efeito, todo o movimento que uma matéria pode imprimir à outra, já que a este respeito cada uma delas se considera apenas como um ponto, deve sempre olhar-se como comunicada na linha reta entre dois pontos. Mas nesta reta são possíveis apenas duas espécies de movimentos: um é aquele pelo qual esses pontos se *afastam* um do outro; o segundo é aquele pelo qual eles se *aproximam* entre si. Mas a força que constitui a causa do primeiro movimento chama-se *força de repulsão*, e a força que é a causa do segundo denomina-se *força de atração*. Por conseguinte, apenas se podem conceber estas duas espécies de forças, às quais se devem reduzir todas as forças motrizes da natureza material. (KANT, [1796], 1990, p. 45-46).

Sob a ótica de Kant, “a matéria enche o seu espaço graças às forças repulsivas de todas as suas partes, isto é, graças a uma força de expansão que lhe é peculiar” (KANT, [1796], 1990,

p. 46). Em decorrência disso, “a matéria é impenetrável e, claro está, graças à sua força expansiva originária” (KANT, [1796], 1990, p. 51). Desse modo, a força fundamental de repulsão dota a matéria da qualidade da impenetrabilidade que, em outras palavras, referia-se à extensão da matéria. Contudo:

[...] a matéria, graças apenas à sua força repulsiva, não se conteria em fronteira alguma da sua expansão, isto é, dispersar-se-ia até ao infinito, e em nenhum espaço determinável se encontraria uma quantidade determinável de matéria. Portanto, se existissem simplesmente forças repulsivas na matéria, todos os espaços estariam vazios e assim, em rigor, não haveria matéria alguma. Toda a matéria exige, pois, para a sua existência, forças opostas às forças de expansão, isto é, forças compressivas. (KANT, [1796], 1990, p. 56-57).

No sentido oposto, se apenas tivessem forças atrativas atuando, então:

[...] as partes [da matéria] mover-se-iam umas para as outras até que entre elas nenhuma distância houvesse, isto é, confundir-se-iam num ponto matemático, e o espaço estaria vazio, por conseguinte, sem matéria alguma. Pelo que a matéria dotada apenas de forças de atração, sem forças repulsivas, é impossível. [Assim] [...] a força repulsiva pertence igualmente à essência da matéria, tal como a força atrativa, e uma não se pode separar da outra no conceito da matéria. (KANT, [1796], 1990, p. 59).

A respeito desses estudos, Kant admitiu que:

Exigir que se torne compreensível a possibilidade das forças fundamentais é algo de totalmente impossível; com efeito, elas chamam-se fundamentais justamente porque não se podem derivar de nenhuma outra, isto é, não se podem compreender. Mas a força atrativa originária não é menos *incompreensível* do que a repulsão primordial. Apenas não se apresenta aos sentidos de modo tão imediato como a impenetrabilidade, para nos proporcionar conceitos de objetos determinados no espaço. (KANT, [1796], 1990, p. 61).

Diante do exposto, percebe-se que Schelling tinha algumas restrições em relação à determinadas concepções de Kant, porém em outros aspectos era perceptível uma aproximação entre ambos, principalmente no que se refere às ideias de Kant sobre as condições para a existência da matéria, uma vez que:

[...] Schelling procurava compreender a natureza em sua totalidade e estabelecer os fundamentos para as ciências físicas a partir das polaridades encontradas na natureza. Uma de suas ideias principais era a de que todas as polaridades seriam decorrentes das forças fundamentais kantianas e que o conflito e a ação recíproca dessas forças em oposição deveriam gerar todos os outros fenômenos naturais. A polaridade elétrica, a polaridade magnética, o contraste entre substâncias ácidas e básicas e várias outras dualidades eram consideradas pelos filósofos da *Naturphilosophie* como efeitos provenientes da polaridade fundamental da natureza dada pelas forças de atração e repulsão. (GARDELLI, 2004, p. 22).

Schelling, ao se posicionar favorável à construção dinâmica da matéria, propôs três momentos fundamentais para a estruturação de sua tese. O primeiro referia-se à teoria acerca



da dualidade de forças constitutiva da matéria, tendo como embasamento a perspectiva kantiana da constituição da matéria. Segundo a sua concepção:

[...] a matéria constitui-se a partir da relação das forças de coesão e expansão, tomadas não mais apenas como habitando em corpos exteriores entre si, mas, sim, como princípios imanentes à própria natureza. São exatamente esses princípios que possibilitam que a matéria se eleve a novas potências e se desdobre em outras dimensões (GONÇALVES, 2015, p. 16).

O segundo momento da tese de Schelling a respeito da formação da matéria dividia-se em duas teorias que se relacionam entre si. Eram elas: as diferentes dimensões da matéria e as distintas potências da natureza. Ambas eram desenvolvidas por Schelling por meio de um método geométrico. Contudo:

[...] só podem ser fundamentadas a partir da compreensão de alguns fenômenos fundamentais da natureza, como os processos químicos que envolvem o desenvolvimento da matéria; o magnetismo como princípio que rege a dinâmica da relação de polos opostos; a eletricidade, que, em oposição ao princípio do magnetismo, é capaz de revelar a capacidade da matéria de transcender os limites de sua própria gravidade; e os fenômenos da gravidade e da luz, que aparecerão aos olhos especulativos de Schelling como interagindo em uma dinâmica toda própria, que irá revelar a essência do processo descrito no terceiro e último momento de sua teoria sobre o desenvolvimento da matéria. (GONÇALVES, 2015, p.16).

O último momento foi considerado o mais relevante, tendo em vista que conceitua a ideia de organismo como consequência do próprio desenvolvimento da matéria, não como um fim em si, mas como um sistema imaginativo do percurso completo de autoformação da natureza, na medida em que “[...] o orgânico reflete e revela a ordem imanente e infinita da natureza como um todo” (GONÇALVES, 2015, p. 15).

Como já sinalizado anteriormente, além das obras de Kant, Schelling também teve contato com os constructos teóricos de Fichte. Pode-se dizer que seu itinerário filosófico partiu de uma adesão ao sistema fichtiano, como pode ser percebido em seus escritos *Do Eu como Princípio da Filosofia* (1795) e as *Cartas Filosóficas Sobre Dogmatismo e o Criticismo* (1796). Contudo:

[Relativamente cedo] libertou-se ao mestre [Fichte] por achar insuficiente a tese fichtiana de que a natureza é apenas uma resistência oposta à atividade infinita do eu e produzida por essa atividade. Schelling, ao contrário, passou a insistir na ideia de que a natureza é tão real e tão importante quanto o eu. E afastou-se ainda mais de Fichte, quando afirmou ser a natureza e a objetividade aquilo que fornece à consciência o material que esta, por sua vez, reproduz. Originalmente, a consciência limitar-se-ia a si mesma e apresentar-se-ia a si mesma como finita e diferente da natureza. A essência do eu é espírito, a da natureza é matéria e a da matéria é força (TORRES-FILHO, 1984, p. VIX).

Nesse sentido, em sua origem a natureza e a consciência seriam uma só unidade incondicionada, e a natureza sendo objetiva e inconsciente se reproduziria, a ponto de se tornar subjetividade consciente, de modo que, se a essência do eu é o espírito, a essência da natureza é a matéria (BRITO, 2016, p. 5). Em especial, ao voltar-se para o conceito de força, Schelling reconhece um cenário comum entre a natureza e o eu, pois, enquanto atração, a força é entendida como objetiva, natural e material e quando assume o caráter de repulsão, é subjetiva e espiritual, ou seja, é o *eu*.

Ao enaltecer a natureza, Schelling fez oposição a Fichte e tornou-se um cientista especulativo e um filósofo da natureza, cujo objetivo residia na pretensão de interpretar a natureza sob o prisma de um todo orgânico unificado, em que a força desempenhava a função de buscar relações entre a natureza e o espírito. A partir de uma concepção de naturalismo organicista, ele se empenhou em demonstrar como as ciências físicas se ocupavam da compreensão de fenômenos que apresentavam em sua origem a mesma manifestação da força, que ele denominou de “atividade pura”. A natureza, portanto, poderia ser apreendida em sua autêntica atividade, possibilitando assim a sua reprodução e evolução. De acordo com Schelling, a natureza:

[...] seria, como o eu fichtiano, uma aspiração infinita, uma tendência à dispersão, à qual se contrapõe uma tendência oposta. Todo o processo da realidade se cumpriria segundo um sistema dialético de oposições que, depois de sintetizadas, engendrariam novas contradições, e assim sucessivamente. (TORRES-FILHO, 1984, p. VIX).

A filosofia da natureza de Schelling, ou a sua física especulativa, lançou luz sob a materialidade da natureza, ao passo que também criticou o pensamento que se volta ao individual sem correspondência com o mundo. Em outras palavras, ele procurou inserir o ser humano na complexa teia de desenvolvimento autônomo da natureza. Nas palavras de Lenoir (1981, p. 113, tradução nossa):

O objeto da filosofia da natureza [...] é construir todo o sistema material da natureza a partir de uma única unidade abrangente, para estabelecer o desdobramento do inorgânico, orgânico e, finalmente, o social e moral [...]. Característica do pensamento especulativo é sua afirmação de que a dicotomia entre conhecimento empírico e mundo das coisas em si crucial para a Naturphilosophie kantiana ou transcendental pode ser superada no ato da "intuição intelectual", uma intuição empírica na qual a estrutura lógica das aparências também é manifesta. Também é característica desta abordagem sua dependência da polaridade como agente motriz no processo de diferenciação e objetivação da unidade primitiva na base da natureza. Igualmente característica é a noção de que os reinos vegetal e animal são cada um constituído pela metamorfose do tipo unitário fundamental [...] e, conseqüentemente, que a natureza orgânica pode ser percebida como uma cadeia de seres. Talvez o traço mais

característico da Naturphilosophie especulativa seja a visão de que, uma vez que a natureza é a manifestação do espírito, o homem deve estar no topo da cadeia do ser.<sup>85</sup>

O programa schellinguiano de uma física especulativa, dotada de uma concepção dinâmica da natureza, fez oposição à física mecanicista, que julgava a natureza como uma máquina suscetível à obediência de determinadas ordens. Com a *Naturphilosophie* e as ideias de Schelling, a natureza passou a se expressar em termos de produto e produtividade, causa e fim dos fenômenos. A observação e o experimento já não eram mais suficientes para clarificar os novos fenômenos que estavam a emergir, tendo em vista que o emprego dos fluidos imponderáveis, como o éter e o flogístico, não agradava a todos (SILVA; SILVA, 2017, p. 695).

A *Naturphilosophie*, portanto, preencheu as lacunas que permaneciam em aberto, propondo novos princípios que, com efeito, permitiram a compreensão do funcionamento de princípios internos da natureza. Ademais, ela viabilizou o acesso à intuição sensível, a fim de promover conjecturas que até então não estavam sujeitas a reprodução experimental. Dentre estas proposições destacam-se as seguintes inferências:

- (1) matéria preenche o espaço por meio de potências primitivas ou forças de atração e repulsão;
- (2) matéria é impenetrável somente relativamente;
- (3) matéria é divisível à infinidade (é infinitamente divisível);
- (4) matéria preenche o espaço continuamente;
- (5) não há fluidos discretos;
- (6) densidade e outras qualidades dos corpos dependem da intensidade de forças primitivas de atração e repulsão, e conseqüentemente o espaço vazio, ou espaço de densidade zero, é, como impenetrabilidade, um conceito-limite que não tem aplicação empírica (GOWER, 1973, p. 320-321, tradução nossa).<sup>86</sup>

---

<sup>85</sup> “The object of the philosophy of nature [...] is to construct the entire material system of nature from a single all-embracing unity, to establish the unfolding of the inorganic, organic, and finally the social and moral [...]. Characteristic of speculative thought is its claim that the dichotomy between empirical knowledge and claims world of things in themselves crucial to Kantian or transcendental Naturphilosophie can be overcome in the act of “intellectual intuition,” an empirical intuition in which the logical structure of appearances is also manifest. Also characteristic of this approach is its reliance upon polarity as the motive agent in the process of differentiating and objectifying the primitive unity at the basis of nature. Equally characteristic is the notion that the plant and animal kingdoms are each constituted from the metamorphosis of the fundamental unitary type [...], and accordingly that organic nature can be perceived as a chain of beings. Perhaps most characteristic of speculative Naturphilosophie is the view that since nature is the manifestation of spirit, man must stand at the top of the chain of being.” (LENOIR, 1981, p. 113).

<sup>86</sup> “1. Matter fills space by means of its primitive powers or forces of attraction and repulsion.

2. Matter is only relatively impenetrable.

3. Matter is divisible to infinity.

4. Matter fills space continuously.

5. There are no discrete fluids.

6. Density and other qualities of bodies depend upon the intensity of the primitive attractive and repelling forces, and consequently empty space, or space of zero density is, like impenetrability, a limit concept having no empirical application” (GOWER, 1973, p. 320-321).

Tais inferências, empregadas especialmente à química, concederam a ela o caráter de ciência, pois a experimentação passou a ser admitida como princípio válido a priori.

### 1.7.2 Schelling e o conceito de força

De modo mais preciso no que se refere à física, em especial ao conceito de força, Schelling propôs um diálogo com três argumentos distintos acerca da relação de forças opostas (e a correspondência dessa relação com a matéria) oriundos de influências newtonianas e kantianas. Nos escritos *Sistema da filosofia em geral e da filosofia da natureza em particular*, publicado em 1804, Schelling enalteceu a proposição kantiana, em que a matéria era descrita a partir do conflito de duas forças, uma de origem atrativa e outra de origem repulsiva e também teceu críticas ao reducionismo aritmético entre polos negativos e positivos. No sentido oposto a essa redução, Schelling procurou fornecer uma explicação geométrica para esse jogo de forças, motivado pela crença de que a constituição da matéria era decorrente de diferentes potências e dimensões. Nessa perspectiva “a teoria newtoniana sobre o movimento orbital dos planetas em relação a um centro, a partir do qual se relacionariam as chamadas forças de atração e de fuga, teria um sentido dialeticamente mais elevado [...]” (GONÇALVES, 2015, p. 17). Para tanto, tal argumento carecia de um complemento oriundo das inferências de Kepler sobre as forças centrífuga e centrípeta.

Schelling considerou que matéria e força se referiam à mesma ideia, com a particularidade de que a primeira era válida para o entendimento e a segunda para os sentidos ou para a experiência. Portanto, para ele:

O corpo e a matéria são frutos de forças opostas, eles são eles mesmos essas forças. Ele recusa [...] a ideia mecanicista de causas exteriores para o movimento das coisas [...] capaz de unificar o todo, não como algo que domina e oprime todas as coisas do universo, mas como um pensamento que as apresenta como absolutas em si mesmas e como sendo, ao mesmo tempo, no absoluto, ou seja, no todo que é a natureza (GONÇALVES, 2015, p. 17).

Schelling buscou reduzir os fenômenos dinâmicos da natureza a uma relação mecânica. Como exemplo dessa síntese, ele considerou a teoria da gravitação universal de Newton e a interpretou reconhecendo que aparentemente a Terra gravita em virtude de sua atração ante o Sol ou de outros objetos celestes. Contudo, para ele a autêntica gravitação seria decorrente da “substância”, sendo esta a própria matéria em sua essência. Vale ressaltar que esse movimento dinâmico embasado na dialética entre gravidade e luz não é percebido por intermédio das

relações causais exteriores, mas sim através do entendimento racional do que é reconhecido como identidade universal.

A essência dos corpos ou o princípio imanente são decorrentes da união de duas vertentes contrárias denominadas centrífuga e centrípeta. Ambas as forças dizem respeito a duas unidades da mesma ideia. Contudo, essa conjectura é compreendida como algo sem vida, revelando-se apenas pela razão, pois:

Assim como não admite a existência de um puro finito e de um puro infinito, Schelling também não admite uma pura força de atração e uma pura força de expansão. Por isso, critica não apenas a teoria mecanicista sobre o movimento dos corpos celestes, mas também aquela que define o átomo de forma igualmente mecânica, partindo de pressupostos como o conceito de espaço vazio e a ideia de indivisibilidade de matéria. (GONÇALVES, 2015, p. 18).

A aceitação da existência de corpúsculos indivisíveis trazia consigo alguns problemas, um deles era referente ao fato de o átomo não possuir em si mesmo as forças fundamentais da matéria, incumbidas de zelar tanto pela sua integridade ou coesão quanto pela possibilidade de sua desintegração ou expansão. Outra dificuldade centrava-se na incapacidade aparente de a física mecanicista encontrar causas eloquentes para a impenetrabilidade da matéria, pressuposta no conceito abstrato de corpúsculo ou átomo como matéria indivisível. Contudo, Schelling considera a ideia da impenetrabilidade da matéria como “objeções metafísicas” em oposição a uma “física hiperfísica”, que correspondia àquela fundada apenas na imaginação espontânea. Ademais, ele também buscou demonstrar como a perspectiva de impenetrabilidade ou coesão absoluta dos primeiros corpos podem ser compreendidas como uma “invenção hiperfísica”, que apesar de não ser oriunda por qualquer experiência, era resultado da simples imaginação (GONÇALVES, 2015, p. 18).

De acordo com a postura schellinguiana, a matéria em si era formada a partir das relações de forças opostas, porém esta também era o fundamento de tudo, ou seja, “a base absoluta da natureza, que se manifesta imediatamente aos nossos sentidos como forças” (GONÇALVES, 2015, p. 18). Para Schelling, o conceito de matéria era percebido como um sistema dinâmico, que consistia em um jogo livre das forças fundamentais da natureza, atração e repulsão, expansão e coesão. Considerada superior à física mecanicista, a sua proposta se enquadrava na denominada “física dinâmica” que, com efeito, concentrava esforços para especificar as diferenças da matéria por meio das relações graduais das forças de atração e repulsão. A partir da adoção desses pressupostos, Schelling relatou com relativa segurança os fenômenos da eletricidade e do magnetismo, porém é na química em que ele conseguiu com

mais precisão compreender a dinâmica do universo, a partir das descobertas acerca da constituição de gases e líquidos.

No decorrer do desenvolvimento de sua teoria, o conceito de matéria desvinculou-se da dimensão linear, encontrada na concepção mecânica da relação de forças e então passou a edificar-se sobre uma concepção de seu próprio desdobramento em outras dimensões (GONÇALVES, 2015, p. 19).

No ano de 1797 Schelling apresentou a sua teoria sobre as diferentes potências da natureza, a partir da conjectura de que o universo era fruto de um processo de autoconstrução da própria matéria. Esse autodesenvolvimento teria início após a duplicação deste mundo em dois planos paralelos – o macrocosmo e o microcosmo –, um servindo de reflexo para o outro. O primeiro referia-se ao universo em sua completude, e o segundo dizia respeito à singularidade inicial, onde devia ocorrer a continuidade do processo de construção da matéria, através do que Schelling denominou de “série dos corpos”. Nesse segundo plano se daria a formação dos distintos corpos singulares da natureza, decorrentes de um processo dialético e circular, do infinito em direção ao finito, que retorna ao universal. Desse modo, a primeira potência se elevaria para a segunda potência, que se expressaria por meio do fenômeno da luz. Tais potências se integram em uma terceira, que se manifesta no organismo vivo (GONÇALVES, 2015, p. 20).

Nessa perspectiva, as interações das potências da matéria e da luz envolveram as relações de forças inerentes à própria matéria, descritas como uma dinâmica especial entre as forças de coesão e expansão, sendo a primeira responsável pela integridade da matéria e a segunda proeminente na constituição e no movimento da luz. Em decorrência dessa dinâmica proveniente da incisão do plano universal da luz sobre o plano singular dos corpos naturais é que surgiu a terceira potência da natureza, capaz de produzir as sínteses orgânicas (GONÇALVES, 2015, p. 20).

Em 1804 foi proposta uma maior integração entre os processos de formação da matéria com fenômenos físicos e químicos à teoria das diversas dimensões da matéria. Assim, Schelling demonstrou que cada uma das potências possuía ao menos três dimensões:

A gravidade (peso da matéria) era descrita não a partir de uma relação exterior das forças de atração e repulsão, mas a partir de sua relação com o fenômeno do magnetismo e ainda com os elementos químicos envolvidos na constituição do planeta. Essa relação entre gravidade e magnetismo se faria ainda no nível da primeira dimensão. As três dimensões, regidas por diferentes graus de coesão da matéria, correspondem, na primeira potência, à metalicidade (como princípio da terra), aos elementos constitutivos do ar (de ação relativa) e à fluidez da água (de coesão esférica). (GONÇALVES, 2015, p. 21).

O magnetismo, para Schelling, não é apenas uma causa da gravidade, mas sim uma manifestação sensível da gravidade que contemplou não somente a capacidade de dois elementos químicos atraírem-se como também a força que mantém os corpos celestes alinhados. O magnetismo regia a primeira dimensão e era concebido como o princípio mesmo da coesão da matéria, cuja lei não era mais a impenetrabilidade ou a indivisibilidade, mas sim o “[...] impulso primordial que um polo tem para tornar-se uno com seu polo contrário” (GONÇALVES, 2015, p. 21). Nessa perspectiva:

Na primeira dimensão atuam tanto o elemento carbono, descrito por Schelling como princípio próprio da Terra, quanto a metalicidade, também presente no interior do nosso planeta. Já a eletricidade, princípio oposto e dialeticamente complementar ao magnetismo, manifesta-se também como luz que, por sua vez, entra necessariamente em contato com a matéria em sua forma de massa submetida ao peso da gravidade. [...] Os processos químicos [dar-se-iam], a partir da combinação desses dois princípios, que estabelecem a força da coesão e a força da expansão ou dissolução da matéria. (GONÇALVES, 2015, p. 21-22).

O organismo era a natureza em si que passou a ser completamente autônomo e internos os processos de síntese química da matéria como fruto da interação das relações dinâmicas assimiladas por uma física especulativa.

A intenção de Schelling consistiu em mostrar a interação dos fenômenos relacionados direta ou indiretamente à física com outras dimensões da matéria. Em virtude disso, ele desenvolveu uma teoria capaz de estabelecer relações dialéticas entre magnetismo, gravidade, eletricidade, som, luz, calor e processos químicos.

Embora sua filosofia possa ser percebida em algumas fases com distintas tendências, é inegável que enquanto filósofo da natureza, ainda hoje ele é reconhecido como promotor de uma das mais intrigantes revoluções no pensamento filosófico do século XVIII e principalmente XIX.

## 1.8 O PROGRAMA DE PESQUISA LAPLACIANO

O programa de pesquisa laplaciano se desenvolveu no final do século XVIII e teve como principal expoente o matemático, astrônomo e físico francês Pierre Simon Laplace (1749-1827) e o químico, também francês, Claude Louis Berthollet (1748-1822). Este programa:

[...] foi visto, pelo menos por eles, como uma culminação natural do trabalho do século XVIII na tradição newtoniana, de modo que, embora seja descrito aqui como laplaciano, não foi na realidade inteiramente a criação do próprio Laplace, ou mesmo de Berthollet; foi laplaciano apenas na medida em que Laplace lhe deu uma série de

características, declarou-o explicitamente, e foi o seu mais brilhante expoente desde o tempo em que começou a formulá-lo, provavelmente em 1790, até sua morte em 1827. (FOX, 1974, p. 91, tradução nossa).<sup>87</sup>

Os adeptos a esse programa concebiam como impossível a interação eletromagnética, uma vez que, para eles, os fenômenos elétricos e magnéticos eram oriundos de naturezas díspares. Nos anos de maior sucesso, entre 1805 a 1815, o programa levantou questionamentos e estabeleceu princípios gerais, que, com efeito, propiciaram à ciência física francesa uma unidade de estilo e propósito muito incomum.

Os encaminhamentos dados por Newton nas obras *Princípios Matemáticos da Filosofia Natural* e *Óptica*, no que se refere ao estudo dos movimentos dos corpos terrestres e celestes, orientaram os caminhos trilhados por Laplace, pois ele buscou reformular matematicamente os problemas postos por Newton, bem como empenhou-se em solucionar os impasses deixados em aberto, principalmente no que diz respeito às forças que atuavam a distâncias muito pequenas, imperceptíveis à observação.

Na 1ª edição de sua obra intitulada *Exposition du Système du Monde (Exposição do Sistema do Mundo)*, publicada em 1796, Laplace considerou que os fenômenos da refração óptica, da ação capilar, da coesão dos corpos sólidos e suas propriedades cristalinas e as reações químicas eram resultados de uma força atrativa exercida pelas moléculas constituintes da matéria. Laplace também ponderou que:

alguns experimentos já feitos por esse meio dão razão para esperar que um dia essas leis sejam perfeitamente conhecidas; então, aplicando o cálculo, podemos elevar a física dos corpos terrestres, até o grau de perfeição, que a descoberta da gravidade universal deu à física celeste (LAPLACE, 1796, p. 198, tradução nossa).<sup>88</sup>

Na concepção de Laplace, havia justificativas plausíveis para acreditar que as forças moleculares pudessem ser gravitacionais por natureza, embora não obedecessem à lei simples do inverso do quadrado, uma complicação que, para ele, era resultado do efeito, na escala molecular, da forma das moléculas individuais. No decorrer do século XVIII, as forças moleculares, geralmente consideradas insignificantes, exceto em um intervalo muito curto, foram invocadas como um elemento padrão da física newtoniana em tratamentos de muitos fenômenos, como já mencionados anteriormente (FOX, 1974, p. 95).

<sup>87</sup> “The program was seen, at least by them, as a natural culmination of eighteenth-century work in the Newtonian tradition, so that although it is described here as Laplacian, it was in reality not entirely the creation of Laplace himself, or indeed of Berthollet; it was Laplacian only to the extent that Laplace gave it a number of its characteristic features, stated it explicitly, and was its most brilliant exponent from the time he began to formulate it, probably in the 1790s, until his death in 1827.” (FOX, 1974, p. 91).

<sup>88</sup> “Quelques expériences déjà faites par ce moyen, donnent lieu d’espérer qu’un jour, ces lois seront parfaitement connues; alors, en y appliquant le calcul, on pourra élever la physique des corps terrestres, au degré de perfection, que la découverte de la pesanteur universelle a donné à la physique céleste” (LAPLACE, 1796, p. 198).



Em 1805, Laplace publicou o quarto volume do *Traité de Mécanique Céleste* (*Tratado de Mecânica Celeste*). Nessa obra ele voltou-se à explanação das forças intermoleculares, partindo da premissa de que era possível reduzir todos os fenômenos físicos a um sistema de partículas exercendo forças atrativas e repulsivas de pequeno alcance umas sobre as outras. Contudo, foi somente em 1823 que Laplace apresentou por completo seus constructos teóricos, que apesar de terem sido construídos sob bases newtonianas, passaram a ter identidade própria. O objetivo do programa de pesquisa laplaciano pretendia representar em linguagem matemática os fenômenos físicos e químicos estudados pelos filósofos experimentais (GARDELLI, 2014, p. 16). Nas palavras de Laplace (1825, p. 98-99, tradução nossa):

Parece, portanto, natural admitir, segundo minha teoria, essa força repulsiva como a causa da radiação das moléculas dos corpos. Por meio dessas suposições, os fenômenos de expansão de gás, calor e vibração são reduzidos a forças atrativas e repulsivas que são sensíveis apenas a distâncias imperceptíveis. Na minha teoria da ação capilar, reduzi os efeitos de capilaridade à forças semelhantes. Todos os fenômenos terrestres dependem desse tipo de forças, assim como os fenômenos celestes dependem da gravitação universal. Sua consideração parece-me ser agora, o principal objetivo da Filosofia Matemática. Parece até útil introduzi-lo nas demonstrações da Mecânica, abandonando as considerações abstratas de linhas flexíveis ou inflexíveis sem massa e corpos perfeitamente duros. Alguns ensaios me mostraram que, ao se aproximar da natureza, essas demonstrações poderiam ser dadas com tanta simplicidade e clareza quanto pelos métodos usados até hoje.<sup>89</sup>

A física laplaciana procurou explicar todos os fenômenos na escala terrestre, em particular na escala molecular e também na escala celestial, em termos de forças centrais entre partículas que, embora tratadas por analogia com as forças newtonianas da gravitação, poderiam ser consideradas atrativas ou repulsivas. As forças desse caráter foram aceitas como mecânicas e, portanto, não se valeram de maiores explicações. Elas passaram a ser concebidas como sendo exercidas por e sobre matéria ponderável, imponderável e ordinária, visto que um elemento essencial e altamente característico da física laplaciana era o sistema de fluidos imponderáveis de calor, luz, eletricidade e magnetismo (FOX, 1974, p. 92).

No contexto histórico do final do século XVIII acreditava-se que cada fluido era constituído por partículas que se repeliam mutuamente, porém estas eram atraídas pela matéria

---

89 “*Il paraît donc naturel d'admettre, conformément à ma théorie, cette force répulsive, comme la cause du rayonnement des molécules des corps. Au moyen de ces suppositions, les phénomènes de l'expansion, de la chaleur, et des vibrations des gaz, sont ramenés à des forces attractives et répulsives qui ne sont sensibles qu'à des distances imperceptibles. Dans ma théorie de l'action capillaire, j'ai ramené à de semblables forces, les effets de la capillarité. Tous les phénomènes terrestres dépendent de ce genre de forces, comme les phénomènes célestes dépendent de la gravitation universelle. Leur considération me paraît devoir être maintenant, le principal objet de la Philosophie mathématique. Il me semble même utile de l'introduire dans les démonstrations de la Mécanique, en abandonnant les considérations abstraites de lignes sans masse flexibles ou inflexibles, et de corps parfaitement durs. Quelques essais m'ont fait voir qu'en se rapprochant ainsi de la nature, on pouvait donner à ces démonstrations, autant de simplicité et beaucoup pins de clarté que par les méthodes usitées jusqu'à ce jour*” (LAPLACE, 1825, p. 98-99).

ponderável. Na compreensão dos laplacianos, modelos de tais fluídos, embasados na premissa de que as forças entre a matéria imponderável e ponderável eram efetivas somente a distâncias muito pequenas, seriam capazes de se traduzir em sistemas de equações diferenciais, cujas soluções aproximadas acarretariam na “salvação” dos fenômenos já conhecidos e também poderiam prever novos. Foi, portanto, na tentativa de refinar e quantificar a teoria dos imponderáveis, até então vaga e qualitativa, que a física laplaciana encontrou seus principais obstáculos ao passo que também teve suas mais notáveis conquistas (FOX, 1974, p. 92).

Apesar de promissor, o programa de pesquisa laplaciano, em meados da década de 1820, entrou em colapso em decorrência de influências sociais e de problemas de natureza científica não solucionados. Como destaca Gardelli (2018, p. 124):

O tratamento matemático dado para a distribuição do calor em sólidos feito por Jean-Baptiste Joseph Fourier (1768-1830) em 1807 surgiu como um desafio para os defensores do modelo explicativo baseado em forças intermoleculares. De 1816 a 1823, Augustin-Jean Fresnel (1788-1827) e François Jean Dominique Arago (1786-1853) elaboraram a teoria ondulatória da luz e, com ela, conseguiram explicar todos os fenômenos ópticos conhecidos, especialmente o da dupla refração e o da polarização, de uma maneira mais simples e mais consistente do que a maneira de explicar baseada na teoria corpuscular da luz adotada pelo *Programa de Pesquisa Laplaciano*.

Ademais, vale acrescentar que “as maneiras diferentes pelas quais André-Marie Ampère (1775-1836) e Michael Faraday (1791-1867) interpretaram a interação eletromagnética anunciada por Ørsted em 1820 também ajudaram a enfraquecer o programa laplaciano” (GARDELLI, 2018, p. 124). Após a queda do mesmo, pode-se considerar que não emergiu nenhum novo estilo de ciência bem definido que contemplasse as lacunas deixadas em aberto, porém foi notório o prevailecimento de uma física com fortes tendências positivistas que se alastraram por todo o século XIX.

Até aqui foi exposto, ainda que de maneira sucinta, como se deu a construção de conceitos de interação física nos séculos XVII e XVIII. Na sequência, será discutido como se dá o processo de transposição didática, em que o saber produzido pelos cientistas é didatizado a fim de se tornar apto a ser ensinado na esfera escolar e acadêmica.

## 2. TRANSPOSIÇÃO DIDÁTICA: DO SABER SÁBIO AO SABER ENSINADO

O professor, no exercício de sua profissão, corriqueiramente planeja suas aulas embasando-se em livros-texto direcionados ao respectivo grau de ensino que leciona, bem como nas características de seus alunos e da instituição a qual está vinculado. Contudo, entre o planejamento feito pelo professor e o tratamento dado pelos livros-texto há uma diferença considerável no que se refere a abordagem e a profundidade dos conhecimentos científicos apresentados. Essa disparidade se amplia quando se compara ambas as abordagens com os apontamentos feitos pelos próprios cientistas, no processo de construção destes conhecimentos.

O inevitável distanciamento entre os conteúdos contidos nas obras primárias dos cientistas e os conteúdos ensinados no contexto escolar conduz à ponderação de que a ciência presente na sala de aula não é a mesma desenvolvida pelos especialistas. De acordo com Chevallard (1991, p. 16, tradução nossa):

Para que o ensino de um determinado elemento do saber seja meramente possível, esse elemento deverá ter sofrido certas modificações, que o farão apto a ser ensinado. O saber tal como é ensinado, o saber ensinado, é necessariamente diferente do saber inicialmente designado como o que deve ser ensinado, o saber a ensinar.<sup>90</sup>

Tais modificações apontadas sobre o saber referem-se ao conceito de transposição que foi proposto originalmente pelo sociólogo Michel Verret (1927-2017) em 1975, e posteriormente foi aprofundado pelo pensador e educador Yves Chevallard (1946-), em 1982, em colaboração com Marie Albert Joshua, no contexto do desenvolvimento da didática francesa, a partir de um trabalho que objetivava discutir e analisar as alterações sofridas da noção matemática de distância desde a sua origem até se tornar objeto de ensino. Nas palavras de Chevallard (1991, p. 45, tradução nossa):

Um conteúdo de saber que tenha sido designado como saber a ensinar, sofre um conjunto de transformações adaptativas que vão torná-lo apto a ocupar um lugar entre os objetos de ensino. O “trabalho” que transforma o objeto de saber em objeto de ensino é denominado de transposição didática.<sup>91</sup>

---

<sup>90</sup> “Para que la enseñanza de un determinado elemento de saber sea meramente posible, ese elemento deberá haber sufrido ciertas deformaciones, que lo harán apto para ser enseñado. El saber-tal-como-es-enseñado, el saber enseñado, es necesariamente distinto del saber-inicialmente-designado como-el-que-debe-ser-enseñado, el saber a enseñar.” (CHEVALLARD, 1991, p. 16).

<sup>91</sup> “Un contenido de saber que ha sido designado como saber a enseñar, sufre a partir de entonces un conjunto de transformaciones adaptativas que van a hacerlo apto para ocupar un lugar entre los objetos de enseñanza. El “trabajo” que transforma de un objeto de saber a enseñar en un objeto de enseñanza, es denominado la transposición didáctica.” (CHEVALLARD, 1991, p. 45).

De acordo com Almeida (2007):

Há, sim, diferenças entre aquilo que se elabora nos espaços puramente científicos e aquilo que é desenvolvido nos ambientes estritamente educativo. Não se trata de diferenças conceituais, mas de diferenças “textuais”, pois elas estão no campo semântico e léxico [...]. (ALMEIDA, 2007, p. 10).

Na obra intitulada *La transposición didáctica: del saber sabio al saber enseñado* (1991) (*A transposição didática: do saber sábio ao saber ensinado*), Chevallard identificou os saberes em três níveis: o Saber Sábido; o Saber a Ensinar e o Saber Ensinado. A teoria da transposição didática configura-se como uma ferramenta potencialmente capaz de analisar o processo por meio do qual o saber elaborado pelos cientistas (o Saber Sábido) se transforma nos conhecimentos que estão presentes nas estruturas curriculares e nos livros didáticos (o Saber a Ensinar) e, principalmente, naqueles que efetivamente são abordados no cotidiano escolar (o Saber Ensinado). Chevallard (1991) preocupa-se em analisar as transformações que o saber produzido pelo “sábido” (o cientista) sofre até este ser passível estar sendo ensinado e, conseqüentemente, compreendido.

Em cada um destes três níveis do saber há grupos sociais que os compõem e, apesar de distintos, estes grupos participam de um contexto mais amplo, a nooesfera, onde se relacionam, coexistem e se influenciam. Os grupos sociais de cada nível “estabelecem uma esfera de influência e interesses que, de acordo com regras próprias, decidem sobre o saber. Algumas das esferas tem maior poder de influência que as demais” (ALVES-FILHO; PINHEIRO; PIETROCOLA, 2001, p. 3).

O “Saber Sábido” corresponde ao conhecimento científico construído pelos intelectuais e cientistas relativo as suas compreensões sobre o mundo que os cerca. Este saber “enquanto processo é propriedade íntima do intelectual, pois é consigo mesmo que ele dialoga em busca das respostas desejadas, utilizando os meios que estão ao seu alcance” (ALVES-FILHO, 2000, p. 49). Posteriormente, este saber, fruto de uma esfera própria, se torna produto, ou seja, é nesse momento que ele se apresenta ao público por meio de publicações próprias (revistas e periódicos científicos) ou eventos especializados da área (congressos, simpósios, encontros, etc.). Os resultados das investigações realizadas pelos especialistas são redigidos de modo bastante formal e técnico, fazendo uso de uma linguagem e formatação muito característica da comunidade na qual o cientista está imerso.

O produto, entretanto, não reflete o processo, pois o meio científico que o cientista esteve inserido é ocultado, bem como é omitida a linha de raciocínio estabelecido pelo mesmo ou os possíveis erros cometidos no decorrer do desenvolvimento de estudos e teorias. O produto

– o Saber Sábio – apresenta-se desvinculado de qualquer contexto ou influência e em linguagem impessoal, corroborando para uma visão rígida, aproblemática e ahistórica da ciência (CACHAPUZ et al, 2011). Esta distinção entre o processo e produto sinaliza a descontextualização, a despersonalização e a reformulação que se dá com o saber já no âmbito do saber sábio.

No decorrer do processo de didatização, Chevallard (1991) ressalta a possibilidade de ocorrência de constrangimentos didáticos, que propiciam alterações no Saber Sábio quando transformado em objeto de ensino. Tais constrangimentos referem-se aos processos de descontextualização, dessincretização e despersonalização (CHEVALLARD, 1991). O processo de descontextualização do saber refere-se à segregação dos problemas que lhe atribuíram sentido. No referido caso o contexto histórico e social no qual o saber foi construído é desconsiderado, bem como a História da Ciência intrínseca a ele. A despersonalização do saber corresponde à separação do mesmo de qualquer circunstância pessoal e pressupõe que este saber se tornou público e universal, podendo ser comunicado numa linguagem própria, atendendo a padrões de legitimação. Embora a despersonalização afaste o saber de seu “produtor científico” ela não, necessariamente, exclui a História desse saber (NEVES, 2009, p. 47). Já a desincretização diz respeito a segmentação de uma dada teoria em diversas áreas e em especialidades delimitadas, ou seja, o saber é estruturado em partes.

O Saber Sábio busca ser amplamente aceito e reconhecido na comunidade científica e servir de referência para a posteridade. Contudo, o mesmo precisa desempenhar mais um papel social, ou seja, ele precisa ser transferido aos domínios de outros profissionais da área, por meio do processo de transposição didática. Esta incumbência é conferida a um novo grupo pertencente a outra esfera, mais abrangente, que contempla um número maior de pessoas e variáveis do que a dos intelectuais, e sob regras próprias, são responsáveis pela produção de um novo saber – o Saber a Ensinar.

Os integrantes que atuam na esfera do Saber a Ensinar não pertencem a um mesmo grupo, como na esfera do saber sábio, mas sim possuem um caráter mais eclético e diversificado. Os personagens dessa esfera são predominantemente:

(1) os autores (sejam dos livros-texto ou manuais didáticos) ou daqueles que emprestam o nome como responsáveis de uma publicação dirigida a estudantes; (2) os especialistas da disciplina ou matéria; (3) os professores (não cientistas) e (4) a opinião pública em geral, que influencia de algum modo o processo de transformação do saber. Os cientistas e intelectuais, mesmo não pertencendo a esta esfera de poder, também podem influenciar as decisões relativas ao “saber” que irá ser processado e transformado. Isto ocorre quando se tornam professores ou quando publicam manuais didáticos. Mais recentemente esta influência pode se dar por intermédio dos meios de comunicação (ALVES-FILHO; PINHEIRO; PIETROCOLA, 2001, p. 5).

Apesar dessa diversidade de componentes, o debate democrático perde espaço para a defesa dos interesses particulares de cada grupo.

A esfera do Saber a Ensinar não produz um saber científico, mas sim um novo saber, dotado de especificidades próprias, como regras e linguagem específica para atender o público a que se destina. Seu objetivo consiste em transformar o Saber Sábio em um saber “ensinável”, mais didático e palpável. É necessário, portanto, submeter o saber sábio a um processo de degradação, em que o contexto original é suprimido, a fim de possibilitar a reorganização e a reestruturação de um novo saber distinto do saber sábio, no qual foi embasado.

Essa reformulação do saber tem como consequência a deturpação da ciência, enquanto construção humana, pois o saber a ensinar se apresenta nos livros didáticos de modo dogmático, atemporal, acrítico, cumulativo e, muitas vezes, puramente linear e progressivo, o que, com efeito, corrobora para uma má compreensão da atividade científica. O saber a ensinar se expressa em termos de conteúdos que seguem uma sequência racional estabelecida pelos distintos grupos sociais que compõem essa esfera. Ademais, este saber “[...] toma as interpretações novas e modernas do *Saber Sábio* e as insere em situações antigas, dando a falsa impressão que, desde as primeiras observações, a explicação científica fazia uso dos modelos ou explicações atuais” (ALVES-FILHO; PINHEIRO; PIETROCOLA, 2001, p. 6).

Como já mencionado, o saber sábio (ou parte dele) sofre uma sucessão de modificações que o fazem despir de seu contexto epistemológico e histórico, de sua linguagem original e de sua autonomia confirmada pela comunidade científica específica e passa a assumir uma nova versão, que serve aos interesses dos integrantes de uma parcela da nooesfera. São os grupos da nooesfera que determinam quais os conteúdos que devem passar pela transposição didática e quais podem não merecem espaço no âmbito escolar, porém, essa decisão não é harmoniosa, mas sim repleta de conflitos, tensões internas e possui uma duração limitada, pois um objeto de saber a ensinar pode deixar de ocupar essa posição no decorrer do tempo. Ademais, vale ressaltar que o poder público, por meio de suas propostas, ementas, orientações curriculares e programas de ensino, tem autorização para interferir na adição, manutenção ou supressão de conteúdos a serem ensinados.

Em um primeiro momento, pode-se presumir que a esfera do Saber a Ensinar trata-se de uma simples banalização do saber sábio, no entanto, essa interpretação é equivocada, pois as transformações sofridas pelo mesmo são complexas, já que necessitam contemplar uma série de fatores que podem influenciar no objetivo primeiro que é contribuir para a melhoria do

ensino e aumento da aprendizagem. Ao evidenciar a necessidade de tornar o conteúdo mais palpável para os estudantes, Almeida (2007, p. 47) esclarece que:

A transposição do conhecimento científico para o conhecimento escolar se dá primeiro com a definição da parte que será prioridade absorver. Depois, faz-se um apanhado da totalidade do conteúdo científico a fim de mostrar a sua amplitude. Essa visão mais ampla precisa ser, no mínimo, projetada para que o aluno perceba que o horizonte é bem mais distante, mas que será, aos poucos, apropriado por ele.

Além disso, é importante salientar que os sistemas de ensino não dispõem de tempo disponível para ensinar o saber sábio, tal como ele foi originalmente formulado.

O Saber a Ensinar não é uma reprodução fiel do saber sábio, porém, ambos ainda mantêm características semelhantes, como ressalta Alves-Filho, Pinheiro e Pietrocola (2001, p. 8):

*Saber Sábido e Saber a Ensinar* buscam manter um diálogo com a realidade. Nesta busca, alguns conceitos, definições e experimentos mantêm as mesmas características e se preservam em ambos os saberes. Alguns dos problemas solucionados pelo *Saber Sábido* passam a ser apresentados como exercícios a serem resolvidos no *Saber a Ensinar*, geralmente aqueles nos quais as variáveis envolvidas podem ser mensuráveis e que permanecem com a mesma estrutura lógico-matemática.

No cotidiano escolar, através de uma nova transposição didática, o Saber a Ensinar transforma-se em saber ensinado por intermédio do professor que planeja as suas aulas embasando-se no livro didático. Entretanto, o material de apoio que este tem à disposição difere dos livros-texto que são destinados aos estudantes e docentes universitários, pois neste contexto a transposição didática ocorre, de fato, já no âmbito da Educação Básica, os livros didáticos configuram-se como um produto obtido a partir da simplificação do conteúdo pertencente ao Saber Ensinar. Essa simplificação se dá na linguagem empregada e se estende aos recursos matemáticos utilizados, tanto na conceituação como nas eventuais demonstrações matemáticas (ALVES-FILHO; PINHEIRO; PIETROCOLA, 2001, p. 9).

A transposição didática que transforma o Saber Sábido em Saber a Ensinar é determinada pelos agentes de sua esfera, cuja interação assume um caráter mais abrangente, de ordem política. Essa primeira etapa é denominada Transposição Didática Externa (TDE), e atende às exigências estabelecidas no decorrer do tempo. Já a segunda fase é intitulada Transposição Didática Interna (TDI), e corresponde à transformação do saber a ensinar em saber ensinado no próprio espaço escolar, onde as regras “[...] ficam atenuadas devido à proximidade das fontes de pressão, mas estas por sua vez, introduzem outros elementos que servirão de referências para esta transposição” (ALVES-FILHO, 2000, p. 44).

A esfera do Saber Ensinado é instável e passível a muitas influências. São muitos os personagens envolvidos, estudantes e seus respectivos familiares, diretores ou responsáveis pelas instituições de ensino, o contexto social em que a escola está inserida, etc., e em níveis diferentes de graus de interesse exercem imposições sobre a aula a ser planejada e ministrada pelo professor sobre um período de tempo também variável. É neste ambiente de interferências externas que o professor é conduzido a realizar uma nova transposição didática. O novo saber, o Saber Ensinado, oriundo desse processo, reflete as angústias, as aspirações e os interesses, tanto do professor quanto dos outros personagens, como por exemplo, a equipe administrativa da escola e os estudantes. Nesse sentido:

A interação entre os personagens desta esfera é extremamente intensa, pois ela propicia de maneira mais clara a repercussão das opiniões dos grupos nas definições e nas modificações ocorridas no *Saber Ensinado*. Em outras palavras, desenvolveu-se um terceiro nicho epistemológico cuja dinâmica de suas diretrizes, se comparadas com as epistemologias associadas ao *Saber Sábio* e ao *Saber a Ensinar*, é muito mais instável e mutável, isto é, ela é mais sensível às influências do meio e responde muito mais rapidamente às pressões exercidas (ALVES-FILHO; PINHEIRO; PIETROCOLA, 2001, p. 11).

A plena autonomia do professor em sala de aula é bastante prejudicada, porém é de responsabilidade do mesmo propiciar um ambiente crítico ao dogmatismo tão difundido nos livros didáticos, e que favoreça o rompimento de uma imagem de ciência pautada no empirismo e na neutralidade. Para que a transposição didática se concretize de modo eficaz, o professor necessita tornar-se um vigilante epistemológico questionando e refletindo constantemente sobre a natureza do objeto em estudo, bem como a maneira como ele se insere no ensino, pois como ressalta Chevallard (1991, p. 51, tradução nossa) “o exercício do princípio de monitoramento na transposição didática é uma das condições que determinam a possibilidade de uma análise científica do sistema didático”.<sup>92</sup>

Nesta perspectiva, o desafio do professor consiste em transformar o Saber Sábio em conteúdo didático e adaptá-lo sem desconsiderar o nível cognitivo que precisa ser alcançado pelos estudantes que, por sua vez, são favorecidos por essas ações que contribuem para a efetivação da aprendizagem. Ademais, é importante que o professor contemple, na medida do possível, a contextualização histórica e a interpretação que o Saber Sábio faz a respeito dos fenômenos físicos compreendidos no decorrer do tempo, pois:

A percepção da evolução das explicações teóricas, que pode ser conseguida pelo conhecimento das diferentes teorias ou modelos propostos, devem estar presentes no

---

<sup>92</sup> “*El ejercicio del principio de vigilancia en la transposición didáctica es una de las condiciones que determinan la posibilidad de un análisis científico del sistema didáctico.*” (CHEVALLARD, 1991, p. 51).



arsenal de recursos didáticos do Professor, para que ele tenha condições de diminuir a distância entre o dogmatismo esterilizado do *Saber a Ensinar* e as divergências, conceituais e/ou teóricas, que surgiram na solução dos problemas. Em outras palavras, não significa que ao lecionar um conteúdo devemos nos manter fiéis ao seu contexto original (ALVES-FILHO; PINHEIRO; PIETROCOLA, 2001, p. 23).

O papel do professor não se refere a simplesmente reproduzir saberes elaborados em outras esferas da sociedade, mas sim consiste em trabalhar no processo da transposição didática. E, consciente disso, é importante que ele busque alternativas eloquentes para desenvolver um ensino mais contextualizado e com conteúdos menos fragmentados, para que a distância entre os saberes não seja excessiva e prejudicial à aprendizagem dos estudantes.

Ao acentuar a existência da transposição didática e reconhecer seu papel estruturante na prática didática, Chevallard (1991) não propõe qualquer tipo de avaliação, seja positiva ou negativa, apenas a considera necessária e responsável por uma nova especificidade epistemológica.

Nesse sentido, diante do exposto, é possível entender o processo de didatização pelo qual os conceitos de força, desenvolvidos pelos cientistas dos séculos XVII e XVIII, passou até se tornar apto a ser ensinado nas instituições superiores de ensino. São muitos os agentes envolvidos neste processo e, portanto, são muitas as influências e os interesses que repercutem diretamente na qualidade do ensino dos conceitos de força.

## 2.1 CULTURA ESCOLAR

A escola, enquanto instituição de ensino, refere-se ao lócus onde as disciplinas escolares foram construídas historicamente. Ela está imersa em um movimento conhecido como cultura escolar. Segundo Pessanha, Daniel e Menegazzo (2004, p. 63):

O conceito de cultura escolar aparece sempre relacionado com um espaço destinado/privilegiado para transmissão de conhecimentos e, principalmente, valores em determinado tempo. Nesse espaço foi constituindo-se a cultura escolar, através das normas e práticas que definiam os valores e comportamentos que seriam impostos e os conhecimentos a serem ensinados.

Nesse sentido, ainda de acordo com os referidos autores:

[...] considera-se que na escola foram sendo historicamente construídas normas e práticas definidoras dos conhecimentos que seriam ensinados e dos valores e comportamentos que seriam inculcados, gerando o que se pode chamar de cultura escolar. Conhecimentos, valores e comportamentos que, embora tenham assumido uma expressão peculiar na escola, e, principalmente, em cada disciplina escolar, são produtos e processos relacionados com as lutas e os embates da sociedade que os

produziu e foi também produzida nessa e por essa escola. (PESSANHA; DANIEL; MENEGAZZO, 2004, p. 58).

Os conhecimentos, princípios e condutas admitidas no interior da escola não se encontram desvinculados dos problemas e impasses enfrentados pela sociedade que os origina. No decorrer do desenvolvimento de uma determinada disciplina, como a Física, por exemplo, pode-se supor que apenas os fatores internos ou aqueles inerentes a sua própria constituição enquanto ciência são responsáveis pelas mudanças percebidas historicamente. Entretanto, há de se considerar a existência de forças externas e de interesses sociais que estão intrinsecamente relacionados à história da disciplina, podendo vir a modificá-la, tanto em termos de conteúdo quanto em função das práticas adotadas, a fim de atender às novas demandas impostas por esse entorno social. A disciplina de Física é, portanto, produzida por uma cultura e também é produto dela.

Para entender a cultura escolar é importante “[...] estudar os processos e produtos das práticas escolares, isto é, práticas que permitem a transmissão de conhecimentos e a imposição de condutas circunscritas à escola” (PESSANHA; DANIEL; MENEGAZZO, 2004, p. 63). Já para analisar a cultura escolar “[...] é preciso analisar o conjunto das normas e práticas definidoras dos conhecimentos que aquela sociedade desejava que fossem ensinados, e os valores e comportamentos a serem impostos” (PESSANHA; DANIEL; MENEGAZZO, 2004, p. 63).

Como ferramenta de análise da cultura escolar pode-se utilizar registros oficiais, como relatórios, atas e boletins e não-oficiais, como livros didáticos, plano de ensino, caderno de anotações, avaliações, etc, sendo estes, muitas vezes, os mais indicativos e significativos.

A cultura escolar, entendida como sendo “[...] um conjunto de saberes que, uma vez organizado e didatizado, compõe a base de conhecimentos sobre o qual trabalham professores e alunos” (FORQUIN, 1993, p. 10) carece ser alvo de reflexões mais consistentes, uma vez que é ela que norteia as distintas escolhas educativas, bem como influencia no trabalho docente e conseqüentemente no aprendizado dos estudantes. Desse modo:

Elucidar esta questão dos fundamentos e das implicações culturais da educação é hoje, sem dúvida, uma tarefa que só pode ser perseguida de modo indireto e fragmentário, mas de qualquer modo vale a pena ser perseguida, pois que é a justificativa fundamental do empreendimento educativo, que através dela, está em jogo (FORQUIN, 1993, p. 10).

Educação e cultura são conceitos indissociáveis. A educação encontra-se fortemente arraigada a uma cultura e é justamente pela educação que a cultura é transmitida e perpetuada ao longo dos anos. Nas palavras de Forquin (1993, p. 14): “educação e cultura aparecem como

as duas faces, rigorosamente recíprocas e complementares, de uma mesma realidade: uma não pode ser pensada sem a outra e toda reflexão sobre uma desemboca imediatamente na consideração da outra”.

O termo cultura, quando se refere a função de transmissão cultural da educação diz respeito “essencialmente, um patrimônio de conhecimentos e de competências, de instituições, de valores e de símbolos, constituído ao longo de gerações e característico de uma economia humana particular, definida de modo mais ou menos amplo e mais ou menos exclusivo” (FORQUIN, 1993, p. 12).

A educação escolar requer uma seleção prévia no interior da cultura em que se encontra e reivindica a reelaboração de saberes culturais destinados a serem trabalhados à posteridade. Devido à pluralidade de aspirações e interesses, as escolas têm relativa autonomia para fazerem diferentes tipos de escolhas no âmago da cultura, bem como os professores têm permissão para expressar suas hierarquias de prioridades, mesmo que sejam divergentes, no interior da cultura.

Os conteúdos de ensino são produtos de uma escolha criteriosa no interior de uma cultura acumulada. Contudo, por mais que sejam considerados dignos de conservação, transmissão e perpetuação às novas gerações, é inegável que os mesmos apenas conseguem incorporar em seus programas curriculares uma pequena parcela de saberes, competências, símbolos, etc, socialmente mobilizadores pois, como sinaliza Forquin (1993, p. 15):

[...] a educação não transmite jamais a cultura, considerada como um patrimônio simbólico unitário imperiosamente incoerente. Nem sequer diremos que ela transmite fielmente uma cultura ou culturas: ela transmite, no máximo, algo da cultura, elementos de cultura, entre os quais não há forçosamente homogeneidade, que podem provir de fontes diversas, ser de épocas diferentes, obedecer a princípios de produção e lógicas de desenvolvimento heterogêneos e não recorrer aos mesmos procedimentos de legitimação.

Além de fazer seleções dos conteúdos de ensino e dos materiais culturais a disposição em um determinado contexto histórico, científico e social, a educação escolar também se preocupa em torná-los aptos a transmissão, ou seja, ela busca fazer com que esses saberes se tornem assimiláveis e compreensíveis a todos os descendentes. Esse processo de reorganização e reestruturação de um dado conceito da ciência para a relação didática recebe o nome de transposição didática, como já mencionado anteriormente.

Uma das finalidades essenciais da educação diz respeito a preservação e a transmissão da herança cultural de uma geração a outra, todavia “[...] é preciso prontamente admitir também que esta reprodução se efetua ao preço de uma enorme perda ao mesmo tempo que de uma reinterpretção e de uma reavaliação contínuas daquilo que é conservado” (FORQUIN, 1992, p. 29).

De acordo com Forquin (1992, p. 31):

Um outro aspecto da “seleção cultural escolar” merece ser igualmente sublinhado: é que ela não se exerce unicamente a uma herança do passado, mas incide também sobre o presente, sobre aquilo que constitui num momento dado a cultura de uma sociedade, isto é, o conjunto dos saberes, das representações, das maneiras de viver que têm curso no interior desta sociedade e são suscetíveis, por isso, de dar lugar a processos (intencionais ou não) de transmissão e de aprendizagem.

Nesse sentido, é percebido um grande descontentamento em relação aos programas escolares que permanecem imóveis ou movimentam-se a passos lentos em direção a uma atualização curricular. Contudo, é importante evidenciar que as escolas transmitem apenas uma pequena parcela da experiência humana acumulada no decorrer no tempo, ou seja, inevitavelmente, há inúmeras supressões de conhecimentos, experiências, contextos, etc. Ademais, devido ao processo de transposição didática em que o saber sábio é adaptado a fim de se tornar comunicável e inteligível aos estudantes (saber ensinado), os conhecimentos ensinados nos ambientes escolares já não os mesmos que foram produzidos originalmente pelos cientistas e estudiosos de uma dada área de conhecimento específica.

A seleção de conteúdos no interior de um repertório cultural é fundamental, pois nem tudo o que constitui uma cultura é considerado como tendo tal relevância. Este trabalho de escolha criteriosa se completa no momento em que o professor desempenha sua função em sala de aula, uma vez que existe uma diferença entre o que é pretendido e o que é de fato ensinado (FORQUIN, 1992, p. 31-32).

No contexto da escola discute-se sobre cultura escolar, já no ambiente acadêmico pode-se referir-se à existência de uma cultura acadêmica ou universitária que se trata de um “[...] conjunto de normas e práticas que professores e estudantes concretizam na universidade [...]” (DUARTE, 2008, p. 653). A distinção entre os tipos de cultura está se dando de forma incipiente, ressaltando apenas os locais onde as práticas ocorrem e os agentes envolvidos. Contudo, a universidade também consiste em um espaço de cultura, de formação e de reprodução de valores, símbolos e saberes da sociedade.

Para analisar a cultura universitária ou acadêmica é necessário voltar-se à história a fim de tentar compreender quais eram os conhecimentos e os procedimentos que eram desejados que se reproduzissem e se perpetuassem. O professor, entendido como um importante agente na promoção de um ensino de qualidade, precisa ser situado dentro de uma cultura que exerce muita influência na sua prática pedagógica e na sua escolha por materiais de apoio, como livros didáticos e outros recursos didáticos. Entretanto, mesmo imerso em uma cultura norteadora, o

professor ainda tem relativa autonomia para promover mudanças em sua prática e no seu entorno que possa vir a julgar necessário.

### 3. ENCAMINHAMENTOS METODOLÓGICOS

Os encaminhamentos metodológicos adotados neste trabalho estão de acordo com os pressupostos da pesquisa qualitativa, em que o caráter subjetivo e qualitativo dos objetos e dos sujeitos da investigação são valorizados, considerando suas particularidades e olhares individuais. Para tanto, com o propósito de atender os objetivos da pesquisa, adotar-se-á pela constituição e análise dos dados em dois momentos. No primeiro, os livros didáticos de Física voltados para o Ensino Superior serão analisados à luz da pesquisa qualitativa de Yin (2016) e, no segundo momento, serão realizadas e posteriormente analisadas entrevistas com professores de Física vinculados a uma universidade pública do estado do Paraná, de acordo com princípios da pesquisa fenomenológica husserliana.

#### 3.1 CAMINHOS PERCORRIDOS PARA A INTERPRETAÇÃO DOS LIVROS DIDÁTICOS

Para analisar a cultura acadêmica ou universitária, ou seja, para tentar compreender as ações e os produtos por meio dos quais os professores e estudantes conferem sentido e valor a suas práticas de ensino e aprendizagem, faz-se necessário consultar documentos oficiais ou registros de caráter menos formal. Nesse caso optou-se por pesquisar os livros didáticos que são amplamente utilizados no curso de Física (licenciatura e bacharelado) das universidades públicas do estado do Paraná.

A pesquisa nos livros didáticos terá por objetivo expor como o conceito de força é apresentado nos mesmos. Para tanto, a investigação desse material se dará de acordo com os pressupostos de Robert K. Yin (2016). O referido autor sugere a adoção de cinco fases para a análise dos dados qualitativos, são elas: compilação; decomposição; recomposição; interpretação e conclusão.

A análise se inicia pela compilação e classificação dos dados disponíveis, a fim de formar uma base de registros formal. Essa fase “[...] exige uma organização cuidadosa e metódica dos dados originais” (YIN, 2016, p. 157). É importante que a organização das informações obtidas seja feita antes de dar início à análise formal, tendo em vista que “dados mais organizados levarão à análises mais robustas, e fundamentalmente a uma pesquisa qualitativa mais rigorosa (YIN, 2016, p. 163). Yin (2016) explica que a base de dados se distingue das notas de campo elaboradas pelo pesquisador, pois refere-se a uma sistematização mais consistente, contudo, é preciso que o mesmo se atente para uniformidade das palavras e

expressões empregadas, assim como se preocupe em separar as informações em algum conjunto de registros.

A segunda etapa requer:

[...] decompor os dados compilados em fragmentos ou elementos menores, o que pode ser considerado um procedimento de decomposição. O procedimento pode (mas não precisa) ser acompanhado por uma atribuição de novos rótulos ou “códigos”, aos fragmentos ou elementos (YIN, 2016, p. 159).

O processo de decomposição pode ser repetido inúmeras vezes a fim de testar códigos e rotulações e também pode ser feito de diferentes maneiras, dependendo dos objetivos do pesquisador. O procedimento de decomposição poderá envolver a identificação de informações da base de dados original e a criação de um novo conjunto de notas substantivas. A elaboração destes apontamentos assume o papel de orientar/ reorientar o trabalho investigativo. Segundo o autor, “para superar as inevitáveis armadilhas da inconsistência e imprecisão que podem ocorrer, os pesquisadores retornam a seus dados originais muitas vezes e asseguram que seus temas decompostos sejam tão fiéis aos dados originais quanto possível” (YIN, 2016, p. 169).

No decorrer da etapa de decomposição ou quando o pesquisador estiver classificando suas notas substantivas, é possível que sejam identificados padrões potencialmente mais amplos e profícuos nos dados. Examinar com cuidado tais padrões diz respeito à terceira fase de análise, isto é, a recomposição dos dados. Para Yin (2016, p. 157) esta “[...] é menos mecânica e se beneficia da capacidade do pesquisador de identificar padrões emergentes”. Ainda de acordo com o autor “os rearranjos e recombinações podem ser facilitados pela representação gráfica dos dados ou por uma ordenação em listas e outras formas tabulares” (YIN, 2016, p. 159-160).

Durante o procedimento de recomposição, cabe ao pesquisador a função de interrogar a si mesmo e questionar seus dados buscando encontrar diferentes arranjos e combinações oriundas das informações obtidas, que lhe possam permitir uma maior visibilidade e compreensão analítica. Como sugestão, Yin (2016, p. 170) propõe algumas alternativas para recompor os dados de maneira organizada, são elas: criação de arranjos hierárquicos; delineamento de matrizes como arranjos e trabalhar com outros tipos de arranjos. Contudo, o autor ressalta ainda a possibilidade de o pesquisador conceituar os arranjos importantes criando mais um novo conjunto de notas substantivas ou expandindo as já existentes.

Esta etapa inevitavelmente abrange muitas escolhas arbitrárias, pois a recomposição dos dados e o modo como isso vai ser feito depende do julgamento do pesquisador. Entretanto, é recomendado que o mesmo adquira alguns procedimentos importantes:

O primeiro [...] é fazer *comparações constantes* – por exemplo, atentar para as semelhanças e dessemelhanças entre os itens em seus dados – e questionar por que [o pesquisador] pode ter considerado os itens como sendo semelhantes ou dessemelhantes na recomposição dos dados.

O segundo [...] é atentar para *instâncias negativas* – por exemplo, revelar itens que superficialmente podiam ter parecido semelhantes, mas em uma análise mais minuciosa revelaram-se incongruentes. Os casos negativos podem assim desafiar a robustez do código ou rótulo.

O terceiro [...] é praticar constantemente o pensamento rival – por exemplo, buscar explicações alternativas para suas observações iniciais (YIN, 2016, p. 176).

Tais procedimentos visam minimizar ou ao menos revelar as possíveis interferências que podem interferir negativamente no processo de recomposição dos dados.

A quarta fase refere-se à interpretação dos dados recompostos. Ela “[...] envolve o uso de material decomposto para criar uma nova narrativa, com tabelas e gráficos, quando pertinentes, que se tornarão a parte analítica fundamental [...]” (YIN, 2016, p. 160). Esta etapa “[...] em sua análise exige um emprego abrangente de suas habilidades interpretativas, cobrindo os aspectos cruciais – se não a maior parte – de seus dados, bem como seus significados mais profundos” (YIN, 2016, p. 185).

Pretende-se alcançar uma interpretação abrangente e não incipiente a partir de dados específicos que constituirão a base que sustentará todo o estudo. De encontro ao empirismo, defende-se que os dados não “falam por si”, portanto, pode ser que distintos pesquisadores cheguem a interpretações também diferentes. Nesse sentido, de modo a empenhar-se na busca de uma qualidade interpretativa, é essencial evitar dois extremos: “dispor de uma grande quantidade de dados, mas fazer uma interpretação superficial que não ‘minere’ os dados, ou fazer uma interpretação insistente que exagere a qualidade dos dados” (YIN, 2016, p. 186).

Não há uma prescrição sobre como proceder na interpretação dos dados, bem como não há uma única tipologia a ser utilizada, o pesquisador qualitativo tem autonomia para identificar qual a abordagem é mais satisfatória para o seu estudo. Contudo, YIN (2016, p. 186) recomenda três potenciais tipos de interpretações: descrição; descrição e um pedido de ação (ocorre quando a investigação tenta promover ações subsequentes) e explicação (se dá como parte de uma interpretação descritiva).

Por fim, a quinta e última fase refere-se à conclusão, momento em que busca extrair uma compreensão completa sobre a pesquisa. O investigador qualitativo pode encontrar uma ou mais conclusões pertinentes acerca de seu estudo, desde que estas estejam relacionadas com as etapas anteriores, em especial com a fase interpretativa. Nas palavras de Yin (2016, p. 198):

uma conclusão é algum tipo de declaração abrangente ou uma série de declarações que elevam os resultados de um estudo a um nível conceitual mais elevado ou



conjunto mais amplo de ideias. Em um sentido, a conclusão captura o “significado” mais amplo de um estudo.

Com o propósito de guiar o percurso analítico final do pesquisador, Yin (2016, p. 199) apresenta cinco exemplos de conclusão que podem ser adotados, são eles: concluindo com um pedido por novos estudos; concluindo com uma contestação de generalizações convencionais e estereótipos sociais; concluindo com novos conceitos, teorias e mesmo “descobertas” [...]; concluindo com proposições substantivas (não metodológicas) e concluindo com uma generalização para um conjunto amplo de situações. Todavia, se o pesquisador optar por propor uma conclusão própria, diferente das mencionadas, também é possível.

A proposta apresentada para analisar dados qualitativos é oriunda do campo das ciências sociais. Ela não pretende ditar regras rígidas e inflexíveis a serem seguidas linearmente, mas sim busca expor um ciclo de cinco fases, que preza pelo rigor e que pode orientar satisfatoriamente o trabalho analítico do pesquisador.

### 3.2 FENOMENOLOGIA

A fenomenologia pode ser considerada uma escola filosófica fundada por Edmund Husserl (1859-1938), na Alemanha no fim do século XIX e primeira metade do século XX, cuja preocupação reside no estudo da essência das coisas. Para Bueno (2003) ela:

[...] é uma ciência que se faz enquanto tal, pelo contato direto com o ser absoluto das coisas: capaz pelo seu rigor, revelar a essência; pela sua incompletude, pela sua objetividade, pelo seu rigor, pela sua veracidade, ser a ciência orientadora e esclarecedora dos desígnios filosóficos do homem. (BUENO, 2003, p. 12).

A obra de Husserl, *Investigações lógicas*, composta por duas partes, uma publicada em 1900 e a outra em 1901, foi considerada o ponto de partida para fenomenologia. No contexto alemão, o discípulo, colega e posteriormente rival de Husserl, Martin Heidegger (1889-1976) foi também um dos expoentes da fenomenologia. Com o passar do tempo, o referido movimento floresceu na França, onde foi representado por autores como Emmanuel Lévinas (1906-1995), Jean-Paul Sartre (1905-1980), Maurice Merleau-Ponty (1907-1960) e Paul Ricoeur (1913-2005) (SOKOLOWSKI, 2004, p. 11).

A Fenomenologia “[...] surge como um novo método destinado a fundamentar tanto a Filosofia quanto as Ciências” (BICUDO, 1997, p. 16). E, concebida deste modo, ela é uma forma radical de pensar, pois parte, “[...] necessariamente, de caminhos conhecidos de fazerem-

se as coisas, desafia os pressupostos aceitos e busca estabelecer uma nova perspectiva para ver o fenômeno” (MARTINS; BICUDO, 1983, p.11).

O significado do termo “fenômeno”, tal como está sendo empregado tem origem na:

[...] expressão grega *fainomenon* e deriva-se do verbo *fainestai* que quer dizer mostrar-se a si mesmo. Assim, *fainomenon* significa aquilo que se mostra, que se manifesta. *Fainestai* é uma forma reduzida que provem de *faino*, que significa trazer à luz do dia. *Faino* provém da raiz *Fa*, entendida como *fos*, que quer dizer luz, aquilo que é brilhante. Em outros termos, significa aquilo onde algo pode tornar-se manifesto, visível em si mesmo. A expressão *fenômeno* tem o significado de aquilo que se mostra em si mesmo, o manifesto. *Fainomena* ou *fenomena* são o que se situa à luz do dia ou que pode ser trazido a luz. Os gregos identificavam os *fainomena* simplesmente como *tu onta* que quer dizer entidades. Uma entidade, porém, pode mostrar-se a si mesma de várias formas, dependendo, em cada caso, do acesso que se tem a ela. (MARTINS; BICUDO, 1989, p. 21-22).

Fenômeno é, portanto, o que se mostra para uma consciência. E, “consciência, na fenomenologia, é intencionalidade, é o estar voltado para... atentivamente” (BICUDO, 1997, p. 17). Já o termo fenomenologia é composto pela expressão “*Phenomenon*”, que diz respeito ao que se manifesta na intuição ou percepção, mais a palavra “*logos*”, que articula-se aos atos da consciência, “[...] em cujo processo organizador a linguagem está presente, tanto como estrutura, quanto como possibilidade de comunicação e, em consequência, de retenção em produtos culturais postos à disposição do mundo-vida” (BICUDO, 2011b, p. 29-30).

De acordo com a fenomenologia, a identidade e a inteligibilidade estão dadas e disponíveis nas coisas para que sejam percebidas pelos sujeitos intencionados. A intencionalidade é um conceito chave para este movimento, pois cada ato de consciência realizado pelos indivíduos, bem como cada experiência vivenciada é intencional, ou seja, é fundamentalmente “consciência de” ou uma “experiência de” algo ou de outrem. Pode-se dizer que “o modo como as coisas aparecem é parte do ser das coisas; as coisas aparecem como elas são, e elas são como elas aparecem. As coisas não apenas existem; elas também manifestam a si mesmas como o que elas são” (SOKOLOWSKI, 2004, p. 23).

Na perspectiva fenomenológica, a realidade não é entendida como sendo objetiva e passível de ser plenamente explicada em termos de uma dada gama de conhecimentos, ela é, antes de tudo, o resultado oriundo da intencionalidade da consciência voltada para o fenômeno que é experienciado pelo sujeito. A realidade é “[...] o compreendido, o interpretado e o comunicado. É, portanto, *perspectival*, não havendo uma única realidade, mas tantas quantas forem suas interpretações e comunicações” (BICUDO, 1997, p. 18).

A fenomenologia refere-se a um método de pesquisa qualitativa, pois:

A investigação fenomenológica trabalha sempre com o qualitativo com o que faz sentido para o sujeito, com o fenômeno posto em suspensão como percebido e manifesto pela linguagem; e trabalha também com o que se apresenta como significativo ou relevante, no contexto no qual a percepção e a manifestação ocorrem (BICUDO, 2000, p. 74).

E, ao adotar os pressupostos fenomenológicos a “[...] ideia de fenômeno assume o sentido de entidade que se mostra em um local situado; e isto é que é o *locus* de um objeto com respeito aos eventos” (MARTINS; BICUDO, 1989, p. 22). Nesse sentido, pode-se afirmar que sempre haverá um indivíduo, numa situação, vivenciando um determinado fenômeno.

Dessa forma, o investigador fenomenólogo precisa estar em constante vigilância para que possa perceber os fenômenos em sua completude, pois o pesquisador entende que as coisas não acontecem de forma isolada de sua manifestação. Segundo Neves (2005, p. 49):

A tarefa do pesquisador fenomenológico é chegar até essa consciência que dá consistência ao fato (fato, entendido aqui como o acontecimento controlado após a definição que lhe dá o ser em seu referencial) e ao mundo no qual se dão as experiências definidoras da vida.

A fenomenologia se opõe ao positivismo, pois:

Dada a característica da pesquisa qualitativa, o fenômeno investigado é sempre situado/contextualizado. Exploram-se as nuances dos modos de a qualidade mostrar-se e explicitam-se compreensões e interpretações. Sendo assim, os dados trabalhados não se permitem generalizar e transferir para outros contextos. Admitem apenas tecerem-se generalidades sustentadas por articulações efetuadas sucessivamente com os sentidos do que está sendo expresso. São pesquisas que permitem compreender as características do fenômeno investigado e que ao assim procederem dão oportunidade para abrirem-se possibilidades de compreensões possíveis quando a interrogação do fenômeno é dirigida a contextos diferentes daquele em que a investigação efetuada (BICUDO, 2011a, p. 21).

Além de não admitir generalizações, a fenomenologia também não concebe como correto e coerente apenas um modo de perceber o estudado, tendo em vista que há diferentes contextos históricos, políticos e sociais, nos quais o sujeito possa estar situado. Ademais, ela promulga a inseparabilidade entre sujeito e objeto, uma vez que:

Ao afirmar que o fenômeno é o que se mostra em um ato de intuição ou de percepção, a Fenomenologia está dizendo que não se trata de um objeto objetivamente posto e dado no mundo exterior ao sujeito e que pode ser observado, manipulado, experimentado, medido, contado por um sujeito observador. Não se trata, portanto, de tomar sujeito e objeto como geneticamente separados no desenrolar no processo de conhecer. Mas está afirmando que fenômeno é o que se mostra no ato de intuição efetuado por um sujeito individualmente contextualizado, que olha em direção ao que se mostra de modo atento e que percebe isso que se mostra nas modalidades pelas quais se dá a ver no próprio solo em que se destaca como figura de um fundo. A figura, delineada como fenômeno e fundo, carregando o *entorno* em que o fenômeno faz sentido (BICUDO, 2011b, p. 30).

Tem-se, portanto, que “[...] fenômeno e sujeito são correlatos e estão unidos no próprio ato de aparecer” (BICUDO, 2011b, p. 30). Esta ação de mostrar-se não se dá de imediato, num primeiro momento em que se observa o fenômeno, ao contrário, é necessário uma “[...] busca atenta e rigorosa do sujeito que interroga e que procura ver além da aparência, insistindo na procura do característico, básico, essencial do fenômeno (aquilo que se mostra para o sujeito)” (BICUDO, 1997, p. 18).

A fenomenologia não se atém a conceitos prévios, crenças, teorias ou afirmações antecipadas ou parciais sobre o fenômeno, mas sim se preocupa em abordá-lo diretamente, interrogando-o, empenhando-se para descrevê-lo e extrair a sua essência. É importante que o inquiridor fenomenólogo atente-se para o dado e procure perceber o fenômeno se manifestando na sua própria experiência, isso significa dizer que “[...] há um mundo ao redor do fenômeno, que surge e que se doa ao pesquisador à medida que esse se dirige ao mesmo” (MARTINS; BICUDO, 1983, p. 10). Nesse sentido, para o pesquisador fenomenológico ir à-coisa-mesma não se caracteriza como sendo um objeto essencial enquanto um objeto que está-aí-diante-dos-olhos, porém ela é a forma desse fenômeno se dar à experiência do “ver” do investigador (MARTINS; BICUDO, 1983, p. 11).

Segundo Bicudo (2011d, p. 54), quando se parte do pressuposto de que fenômeno é o que se mostra, há uma referência direta ao percebido nesse encontro ver-visto, que é contextualizado. Por isso, também, denomina-se a pesquisa fenomenológica de pesquisa do fenômeno situado.

### **3.2.1 Contextualizando a pesquisa**

Para estudar o fenômeno e buscar compreendê-lo, de “[...] modo a se manter no percurso do movimento do pensar fenomenologicamente é importante ‘*ir-à-coisa-mesma*’ tal como ela se manifesta, prescindindo de pressupostos teóricos e de um método de investigação que, por si, conduza à verdade” (BICUDO, 2000, p. 71). Para tanto, o pesquisador fenomenólogo precisa ir ao encontro dos sujeitos de pesquisa, a fim de situar e contextualizar o fenômeno, uma vez que somente é possível observar as “coisas mesmas” a partir do instante em que elas se manifestam para o sujeito que as interroga.

Os sujeitos da pesquisa foram cinco professores de física de uma Universidade Pública do estado do Paraná. Como critérios, optou-se por dar preferência aos docentes que ministram ou já ministraram aula de física básica para o curso de Física na referida instituição, ou que

possuíam um vínculo maior com o Ensino de Física. Ressalta-se que foi preservada a identidade da instituição de ensino, bem como a dos sujeitos, de modo a atender as exigências do Conselho de Ética da Universidade Estadual de Maringá.<sup>93</sup>

A interrogação fenomenológica voltada para o retorno à-coisa-mesma, livre de pressupostos e julgamentos constitui-se a “*époche*”, que significa “[...] dar um passo atrás” e parar com as formas familiares e comuns de olhar as coisas, as quais impedem que sejam vistas” (MARTINS; BICUDO, 1983, p. 12). Este rigor fenomenológico permite ao fenômeno mostrar-se nas multiplicidades de suas formas

Com o propósito de ir-à-coisa-mesma e não a conceitos ou a ideias que tratam a respeito, “[...] é preciso irmos ao sujeito que percebe e perguntarmos o que faz sentido para ele, tendo como meta a compreensão do fenômeno investigado. O sujeito expõe aquilo que faz sentido, ou seja, ele relata, *descreve* o percebido” (BICUDO, 2000, p. 74). Nesse sentido, tendo em vista que o objetivo da pesquisa é “Compreender como se deu a construção do conceito de força no século XVII e XVIII”, a indagação feita aos interlocutores da investigação foi “Como você acredita que se deu a construção da noção do conceito de força?”

De acordo com Neves (2005, p. 50) é tarefa do pesquisador fenomenológico propor:

[...] através da intersubjetividade, a interrogação significativa, onde as descrições dos resultados levem à uma inteligibilidade articulada do tema tratado. Articulação que lance luz ao tema, tematizando-o, reavivando-o e elucidando-o em generalizações possíveis. O acesso perspectival do fenômeno na apreensão do que ele é, só é possível na experiência intersubjetiva de pesquisador e pesquisado: é o encontro de duas subjetividades, esclarecedoras e potencialmente objetivas (NEVES, 2005, p.50).

Assim, a interrogação a ser dirigida para o sujeito experienciador necessita ser bem formulada, a fim de que possa fornecer subsídios para a interpretação e compreensão dos fenômenos presentes na consciência do ser. A pergunta proposta apresenta-se de forma aberta e abrangente e a essa questão “[...] podem se seguir outras, desde que relacionadas com o tema pesquisado e com as respostas dadas pelos participantes (MARTINS; BICUDO, 1989, p. 32). O modo como se interroga o fenômeno indica a “[...] Trajetória da Pesquisa ou como o fenômeno vai ser abordado, e, este caminho se mostra a partir da interrogação feita e não pode ser pré-fixada. As diferentes trajetórias dependem também do campo de estudo e do próprio fenômeno investigado” (FINI, 1997, p. 26).

---

<sup>93</sup> Pesquisa aprovada pelo Conselho de Ética em Pesquisa (CEP) da Universidade Estadual de Maringá (UEM), pelo parecer número 3.314.611; e com Certificado de Apresentação para Apreciação Ética (CAAE) número 11898219.5.0000.0104

Ademais, como a fenomenologia é uma metodologia inerente à pesquisa qualitativa, esta encontra-se permanentemente aberta a modificações no decorrer do percurso da sua realização e o seu campo de indagações amplia-se, tornando-se relativamente livre de estruturas que poderiam aprisioná-lo.

### **3.2.2 Constituição dos dados**

Como instrumento de coleta de dados, optou-se por entrevistas filmadas. Estas não apresentavam um roteiro rígido, pré-estabelecido, mas sim foram guiadas por uma interrogação significativa, que, com efeito, pretendia captar a essência do fenômeno, tendo em vista que este é “[...] o que surge para a consciência e se manifesta pra esta consciência como resultado de uma interrogação” (FINI, 1997, p. 25).

Antes de propor a pergunta norteadora para os interlocutores, foram propostas outras questões, de modo a conhecer o sujeito e a deixá-lo mais confortável na posição de entrevistado. Após feita a pergunta norteadora, os discursos dos interlocutores não sofreram interrupções, pois tinha-se o propósito de proporcionar-lhes a oportunidade de discursarem livremente sobre suas concepções e argumentações. Todavia, em determinados momentos foi necessário realizar algumas intervenções que foram operadas com o objetivo de fazer uma ligação entre os discursos ou esclarecer alguns pontos que ficaram confusos, porém, estas não exerceram influência no discurso.

As narrativas dos sujeitos de pesquisa representam uma forma bastante apropriada de produzir saberes, sentidos e significados, pois eles expressam por meio da linguagem as suas ideias e defendem os seus pontos de vistas. Por intermédio da linguagem falada ou gestual que a experiência vivida pelo ser é dada ao conhecimento. Desse modo, através dos discursos também é possível compreender as vivências dos professores-interlocutores, bem como as suas trajetórias acadêmicas e profissionais, pois “[...] o mundo no qual o homem vivencia suas experiências é um mundo social e cultural, onde as pessoas se relacionam de formas múltiplas em suas interações com semelhantes aos quais conhece em graus diversos de intimidades e de normas” (MARTINS; BICUDO, 1989, p. 96). Contudo, alguns interlocutores demonstraram dificuldades para se expressar, ou seja, quando questionados respondiam apenas o necessário, de maneira precisa e objetiva. Percebia-se certa apreensão e insegurança em suas expressões faciais.

### 3.2.3 Interpretação dos dados

As entrevistas com os sujeitos de pesquisa foram filmadas e, posteriormente, transcritas a fim de que fosse possível o início das descrições das mesmas. Nas palavras de Martins e Bicudo (1989, p. 98) “embora a descrição seja o instrumento de acesso ao mundo-vida do sujeito, não há uma teoria cientificamente orientada com a qual se pode contar na análise das descrições”. Dessa forma, o investigador fenomenólogo ainda está a caminhar em direção à obtenção de recursos metodológicos que proporcionem resultados positivos na compreensão das mesmas. A descrição “[...] relata o percebido na percepção, no fundo onde esta se dá. Ela aponta para o percebido, que é o correlativo à coisa, sempre tida, na fenomenologia, como não estando além da sua manifestação e sendo relativa à percepção” (BICUDO, 2000, p. 76).

Os interlocutores da pesquisa expuseram suas vivências por meio da linguagem falada e gestual. A descrição tem por finalidade descrever o movimento dos atos da consciência, sem quaisquer julgamentos e suposições apressadas e antecipadas. Segundo Bicudo (2011c, p. 46):

Ela se limita a relatar o visto, o sentido, ou seja, a experiência como vivida pelo sujeito. Não admite avaliações e interpretações, apenas exposição do vivido como sentido ou percebido. Porém, a preocupação da Fenomenologia não é se deter na descrição da experiência focando as nuances da sua individualidade, mas visa mostrar as estruturas em que a experiência relatada se dá, deixando transparecer, nessa descrição, as suas estruturas universais. Dito de outro modo, a Fenomenologia busca transcender o individualmente relatado na descrição e avançar em direção à estrutura do relatado, ou seja, do nuclear das vivências sentidas e descritas. (BICUDO, 2011c, p. 46).

A investigação fenomenológica, entretanto, não se reduz à descrição, pois “[...] ela trabalha com os dados fornecidos pela descrição e vai além, analisando-os e interpretando-os de acordo com critérios de rigor [...]” (BICUDO, 2000, p. 75). Embora a descrição, explicitada pela linguagem, revele as vivências e os sentidos atribuídos pelos sujeitos, ela carece de análises e interpretações fornecidas pelos recursos hermenêuticos.

Para ajudar na análise das descrições, Martins e Bicudo (1989) sugerem que, inicialmente estas sejam lidas na íntegra, visando familiarizar-se com o texto que descreve a experiência vivida. Nesse momento, segundo os referidos autores, o pesquisador carece de “[...] colocar-se no lugar do sujeito e tentar viver a experiência vivida pelo sujeito, de forma que ele não seja um mero espectador, mas alguém que procura chegar aos significadores atribuídos vivencialmente” (MARTINS; BICUDO, 1989, p. 95). Esse trabalho é lento e laborioso, uma vez que:

Os significados que o pesquisador pode compreender nas descrições não se mostram de imediato, de modo direto, mas vão se revelando mediante a compreensão do sentido das experiências vividas pelo sujeito, olhadas em sua totalidade. A totalidade, como sabemos, não é nada em si, nem pela soma de aspectos das experiências vividas, mas surge no trabalho de busca tematicamente focada e que preocupa e procede de modo rigoroso. (BICUDO, 2011d, p. 56).

A análise das descrições é, portanto, uma operação que “[...] visa o sentido do dito buscando na totalidade do descrito nesse depoimento individual e os significados que o transcendem, uma vez que estão articulados às expressões culturais de sentidos percebidos e trabalhados pelos atos da consciência” (BICUDO, 2011d, p. 56-57).

Após a leitura atenta do descrito em sua totalidade, as descrições foram relidas, quantas vezes foram necessárias, a fim de descartar os discursos considerados “ingênuos”. Já os trechos que comportam essencialidades são extraídos e, dessa forma, emergem as unidades de significados, que por sua vez “[...] podem revelar as essências dos fenômenos posto em questão” (NEVES, 2005, p. 51).

As unidades de significado referem-se aos fragmentos de discursos do sujeito que possuem significado e configuram-se como uma fonte de essências puras, que são passíveis de serem compreendidas de acordo com o campo de perspectivas do pesquisador. Segundo a percepção do investigador fenomenológico, as unidades de significado, dispostas em forma de asserções, podem não construir as mesmas unidades para distintos pesquisadores, uma vez que as relações entre sujeitos são diferentes.

A discriminação das unidades é imprescindível para a realização das análises, visto que é inviável analisar o texto na íntegra de forma simultânea. Assim, faz-se necessário selecioná-las de acordo com um critério psicológico, pois elas somente existem “[...] em relação à atitude, disposição e perspectiva do pesquisador” (MARTINS; BICUDO, 1989, p. 99).

Nessa perspectiva, pode-se considerar que as Unidades de Significados surgem como consequência da análise, pois são “discriminações espontaneamente percebidas das descrições dos sujeitos quando o pesquisador assume uma psicológica e a certeza de que o texto é um exemplo do fenômeno pesquisado” (MARTINS; BICUDO, 1989, p. 99). Nas palavras de Bicudo (2011c, p. 50), nas Unidades de Significado “[...]se constituem pontos de partida das análises, busquem elas pela estrutura do fenômeno, busquem pelo dito em textos que se mostrem significativos em relação à pergunta formulada e ao fenômeno sob investigação”.

Ao se debruçar sobre os significados expressos pelos interlocutores relativos às suas experiências, o pesquisador se depara com determinantes inerentes às situações e aos sujeitos, que podem apresentar-se como dados. Todavia, ele não está interessado somente nos dados,



mas também nos significados atribuídos a estes pelos sujeitos do estudo pois, conforme destacado pelos autores:

O alvo da investigação é chegar aos significados atribuídos pelos sujeitos à situação que está sendo pesquisada. Os dados obtidos são as situações vividas que foram conscientemente tematizadas pelo sujeito. Os significados são os aspectos do evento que o sujeito tematizou conscientemente (MARTINS; BICUDO, 1989, p. 94).

Vale ressaltar que, segundo a perspectiva fenomenológica, o pesquisador orienta-se por um *sentido*, isto é, “[...] pelo conhecimento imediato, intuitivo, lógico que tem do fenômeno a ser investigado e por critérios científicos” (MARTINS; BICUDO, 1989, p.93). Estes critérios a serem adotados pelo pesquisador são determinados por seus objetivos, sendo assim, não há um método rigoroso a ser seguido e, portanto, a probabilidade está ao lado do investigador.

Após identificadas as unidades de significado, buscou-se compreendê-las individualmente, bem como procurou-se transformar as expressões empregadas pelos interlocutores em uma linguagem psicológica, cuja denominação atribuída por Neves (2005) é “Compreensão da Situação Relatada na Unidade”. Segundo o autor, esse procedimento somente torna-se possível devido ao uso da reflexão e da variação imaginativa, pois “variar imaginativamente as unidades, significa a verificação, nos diferentes momentos do dia, da alteração do significado da estrutura psicológica. Se as estruturas se mantêm é porque as essencialidades do fenômeno estão situadas” (NEVES, 2005, p. 52-53).

Na sequência, efetuou-se a compreensão ideográfica, na qual o pesquisador fenomenológico analisa e interpreta os discursos individualmente, buscando “[...] resgatar de cada conjunto de unidades uma inteligibilidade do indivíduo” (NEVES, 2005, p. 53). Trata-se “[...] da análise da ideologia que permeia as descrições ingênuas do sujeito. A raiz do termo está em *ideografia*, que se refere à representação de ideias [...]” (MARTINS; BICUDO, 1989, p. 1000). Contudo, esta etapa demanda esforços, pois requer tempo, diferentes percepções e paciência para que os “*insights*”<sup>94</sup> psicológicos possam surgir para contribuir na caracterização do sujeito no seu contexto e essência, uma vez que “[...] o pesquisador precisa fazer e integrar os *insights* contidos nas Unidades de Significado transformadas em uma descrição consistente da estrutura do fenômeno” (MARTINS; BICUDO, 1989, p. 100).

A análise ideográfica:

---

<sup>94</sup>“*Insight* significa evidência, e refere-se àquilo que se doa à consciência e é, no seu sentido mais elevado, um ato da razão. Trata-se de um ver dentro da situação. O termo *insight* pode ser também substituído por *aspectos* ou *compreensões* ou por alguns significados constituintes ou relações. Estes significados constituintes ou relações articuladas na estrutura psicológica individual já são verdadeiros em todos os casos, mesmo quando essas generalidades convergentes não tenham sido o objetivo explícito da análise individual”. (BICUDO, MARTINS, 1989, p. 107).

[...] se dá dentro de uma imersão empática no mundo da descrição, onde o pesquisador procede em direção à intersubjetividade ou ao momento em que os mundos pesquisador/pesquisado se interpõem em áreas que se tocam e se interpenetram. O pesquisador busca acesso ao mundo-vida e ao pensar do sujeito. (MACHADO, 1997, p. 41).

As unidades de significados extraídas do discurso convertem-se em um discurso de cunho educacional na forma de asserções, tendo como orientação a interrogação norteadora. É importante que tais asserções indiquem com precisão e confiabilidade as ideias articuladas no discurso dos interlocutores da pesquisa.

Sobre a análise ideográfica, Kluth (2011, p. 80-81) ressalta que este processo se refere à preocupação que se tem em analisar a linguagem falada e a aproximar à linguagem do falante. Conforme a autora salienta:

A linguagem do sujeito da pesquisa é tomada como a composição dessas duas facetas da linguagem. É nela que vamos buscar aquilo se refere à interrogação que norteia a pesquisa. Para que essa busca seja eficiente é preciso que o pesquisador amplie seu conhecimento sobre as palavras utilizadas que veiculam sua compreensão, *linguagem falada*, usando dicionários, contextualizando-as, buscando textos específicos quando necessário, a fim de elaborar *Asserções Articuladas*, aquelas, que aos poucos, expressam o sentido da *linguagem falante*. Este é o denominado enxerto hermenêutico (KLUTH, 2011, p. 80-81).

Após o término das representações ideográficas, que apresentam as estruturas de cada indivíduo, pretendeu-se chegar às categorias, bem como revelar as convergências presentes nos discursos dos sujeitos e entre os discursos dos mesmos. Esse procedimento é denominado de Compreensão Nomotética, e tem como objetivo chegar a uma estrutura geral psicológica. Segundo Martins e Bicudo (1989, p. 106) “[...]esse empreendimento envolve uma compreensão dos diversos casos individuais com exemplos de algo mais geral e a articulação desses casos individuais, como exemplos particulares, em algo mais geral”.

A análise nomotética transcende o aspecto individual da análise ideográfica e caminha em direção a uma interpretação mais abrangente, em termos de categorias abertas. O termo nomotética:

[...] vem de nomos, que diz da construção de leis e de seu uso. Nas ciências empíricas se refere à normatividade ou às generalizações decorrentes do tratamento de dados factuais e que são tomadas como princípio, operando como lei. Fenomenologicamente, indica transcendência do individual articulada por meio de compreensões abertas pela análise ideográfica, quando devemos atentar às convergências e divergências articuladas nesse momento e avançar em direção ao seguinte, quando perseguimos grandes convergências cuja interpretação solicita *insights*, variando admitindo evidências e esforço para expressar essas articulações pela linguagem. Solicita, enfim, compreensão da estrutura do fenômeno interrogado,

tomando os individuais como casos de compreensões mais gerais que dizem agora de ideais estruturais concernentes à região de inquérito. (BICUDO, 2011d, p. 58-59).

Esse empreendimento demanda comparações entre as estruturas psicológicas obtidas individualmente, buscando identificar convergências e divergências. O papel a ser desempenhado pelo pesquisador fenomenólogo diz respeito a busca por determinar:

[...] quais aspectos das estruturas individuais manifestam uma verdade geral, podendo ser tomadas como afirmações verdadeiras e quais não o podem. As convergências passam a caracterizar a estrutura geral do fenômeno. As divergências indicam percepções individuais resultados de modos pessoais de reagir mediante agentes externos (MACHADO, 1997, p. 42).

Como já sinalizado, esta etapa interpretativa requer *insights*, a fim auxiliar na compreensão dos casos individuais como exemplos particulares, em algo mais geral. Contudo, é válido sinalizar que análise nomotética não é somente a verificação cruzada de correspondências e afirmações reais, mas sim “[...] significa que ela é ação profundamente reflexiva sobre a estrutura psicológica à luz de outras descrições para encontrar aspectos comuns que estão algumas vezes implícitos (MARTINS; BICUDO, 1989, p. 109).

Após definidas as categorias, buscou-se realizar a Compreensão Eidética das mesmas, cuja preocupação concentrou-se em analisar as convergências existentes em cada categoria. De acordo com Martins e Bicudo (1989, p. 77) “[...] compreender eideticamente significa tomar o fenômeno seriamente diante dos olhos e estudá-lo de maneira sistemática para poder vir a compreender o objeto na sua intenção total, na sua essência, e não apenas na sua representação”. Por fim, buscou-se chegar à Compreensão Nomotética Geral, uma análise mais ampla e abrangente relativa ao fenômeno investigado.

### **3.2.4 Os participantes da pesquisa**

O participante 1 da pesquisa é licenciado e bacharel em Física, possui mestrado e doutorado em Educação para a Ciência e a Matemática e mais de nove anos de experiência no Ensino Superior. O participante 2 é graduado em Física, mestre e doutor em Física, com 25 anos de docência no Ensino Superior. O participante 3 é licenciado em Física, possui mestrado em Físico-Químico e doutorado em Física, e experiência profissional de aproximadamente 37 anos, sendo a grande maioria no Ensino Superior. O participante 4 é bacharel, mestre e doutor em Física e atua há nove anos no Ensino Superior. O participante 5 também é bacharel, mestre e doutor em Física, com 31 anos de experiência enquanto docente do Ensino Médio e Superior.



## 4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Este capítulo será dividido em duas seções; na primeira serão apresentadas as análises dos livros didáticos e na segunda as compreensões das entrevistas, pautadas nos pressupostos fenomenológicos.

### 4.1 ANÁLISE DOS LIVROS DIDÁTICOS

A compreensão de como o conceito de força está sendo apresentado nos livros indicados como bibliografia básica e complementar será feita de acordo com os pressupostos metodológicos sugeridos por Robert K. Yin (2016). Como já mencionado, o referido autor propõe a adoção de cinco fases para a análise dos dados qualitativos, são elas: compilação; decomposição; recomposição; interpretação e conclusão.

A primeira fase refere-se à compilação e classificação dos dados que se têm à disposição com o propósito de organizar e construir uma base consistente de dados. Desse modo, foram identificadas as instituições de ensino superior que oferecem o curso de licenciatura em física na modalidade presencial no estado do Paraná, seus componentes curriculares, as respectivas ementas e as bibliografias básicas e complementares. Tendo em vista que o objetivo dessa investigação consiste em compreender como o conceito de força está sendo abordado nas referências bibliográficas sugeridas nas ementas curriculares, dar-se-á ênfase às disciplinas que contêm a definição de força, seja do ponto de vista conceitual ou matemático no conteúdo programático.

No Quadro 1 estão dispostas as informações referentes às instituições de ensino superior do estado do Paraná, que oferecem o curso de licenciatura em Física, disponíveis para consultas nas respectivas páginas eletrônicas.

Quadro 1 - Instituições de ensino que oferecem o curso de licenciatura em Física, a(s) disciplina(s) que aborda(m) o conceito de força e seu(s) respectivo(s) período(s)

<b>Instituição</b>	<b>Curso</b>	<b>Disciplina</b>	<b>Período</b>
Universidade Tecnológica Federal do Paraná- Campus Curitiba	Licenciatura em Física	Física elementar I	1°
Universidade Estadual do Centro Oeste	Licenciatura em Física	Física I	1°
Universidade Estadual de Londrina	Licenciatura em Física	Física Geral I	1°

Universidade Federal do Paraná- Campus Curitiba	Licenciatura em Física	Física Básica Geral I	2°
Universidade Estadual de Maringá	Licenciatura em Física	Física Geral I	1°
Instituto Federal do Paraná- Campus Ivaiporã	Licenciatura em Física	Física Conceitual I e Física I	1° e 3°
Instituto Federal do Paraná- Campus Foz do Iguaçu <sup>95</sup>	Licenciatura em Física	-	-
Instituto Federal do Paraná- Campus Paranaguá	Licenciatura em Física	Introdução a Física e Física A	1° e 2°
Instituto Federal do Paraná- Campus Telêmaco Borba	Licenciatura em Física	Tópicos de Física I e Física I	1° e 3°

Fonte: o autor (2019).

O Quadro 2 apresenta em detalhes as ementas das disciplinas, mencionadas anteriormente, que contemplam o ensino do conceito de força.

Quadro 2 - Instituições de ensino e suas respectivas ementas curriculares que contemplam o ensino do conceito de força

<b>Instituição</b>	<b>Ementa</b>
Universidade Tecnológica Federal do Paraná- Campus Curitiba	Medidas e Sistemas de Unidades. Análise Dimensional. Grandezas Escalares e Vetoriais. Cinemática: movimento em duas e três dimensões. Leis de Newton. Gravitação. Leis de Conservação. Hidrostática. Temperatura e Dilatação. Gases Ideais. Primeira Lei da Termodinâmica. Mudanças de Fase. Temas Transversais (Educação Ambiental): Os conceitos de Energia e de Entropia e as suas contextualizações em situações concretas.
Universidade Estadual do Centro Oeste	Grandezas Físicas e Unidades. Vetores. Cinemática da Partícula. Leis de Newton da Dinâmica. Gravitação. Referenciais. Leis de Conservação. Colisões. Movimentos de Corpos Rígidos. Oscilações. Ondas Mecânicas. Fluidos. Temperatura. Calor. Leis da Termodinâmica. Teoria Cinética dos Gases. Gás Ideal. Mecânica Estatística.
Universidade Estadual de Londrina	Relações entre a Física e outras ciências. Medidas e grandezas em Física. Vetores e sistemas de coordenadas. Cinemática da partícula. Os princípios da dinâmica. Referenciais inerciais e não-inerciais. Conservação da energia e momento linear. Cinemática e dinâmica dos corpos rígidos. Gravitação. Simetrias e leis de conservação. Observação e reflexão sobre a situação atual do ensino de conteúdos de mecânica no nível médio.
Universidade Federal do Paraná- Campus Curitiba	Grandezas físicas e análise dimensional. Cinemática unidimensional. Cinemática em duas e três dimensões. Força, leis de Newton e aplicações. Trabalho e Energia. Sistemas de muitas partículas. Colisões. Cinemática e dinâmica de rotação.
Universidade Estadual de Maringá	Cinemática e dinâmica da partícula. Leis de Newton. Leis de Conservação. Cinemática e dinâmica da rotação. Aplicações conceituais de física e matemática [...].
Instituto Federal do Paraná- Campus Ivaiporã	<b>Física conceitual I:</b> Conceitos de Mecânica do Ensino Médio: Introdução aos conceitos do movimento; Cinemática Escalar e Vetorial; Dinâmica: Leis de Newton, Trabalho e Energia, Impulso e Quantidade de Movimento, Estática; Hidrostática. Movimento Harmônico. Conceitos de Matéria, energia e as leis da termodinâmica do Ensino Médio: Estrutura atômica e fases da matéria; Propriedades da matéria; Calor e temperatura; A primeira lei da termodinâmica; Entropia e a segunda lei da termodinâmica.

<sup>95</sup> Não foi possível obter maiores informações a respeito do curso de licenciatura em física ofertado pelo Instituto Federal do Paraná- Campus Foz do Iguaçu.

	<b>Física I:</b> Cinemática: Movimento no Plano e no Espaço. Dinâmica da partícula e suas aplicações. Dinâmica dos Corpos Rígidos. Trabalho e Conservação de Energia. Dinâmica das rotações. Gravitação, forças centrais e dinâmica orbital. Leis de Conservação: Momento Linear e Angular.
Instituto Federal do Paraná- Campus Paranaguá	<b>Introdução à Física:</b> cinemática. dinâmica. trabalho, energia mecânica e conservação da energia mecânica; introdução ao cálculo: conceitos básicos de limites, derivadas e integrais e as aplicações na física. atividades experimentais utilizando materiais de baixo custo, laboratoriais e softwares de simulação, abordando os seguintes temas: movimentos; plano inclinado e atrito; força elástica; energia mecânica e conservação da energia mecânica. <b>Física A:</b> medição. movimento retilíneo. vetores. movimento em duas e três dimensões. força. trabalho e energia cinética. conservação da energia. sistemas de partículas. colisões. rotações. rolamento, torque e momento angular.
Instituto Federal do Paraná- Campus Telêmaco Borba	Vetores: Grandezas Vetoriais, Soma e Decomposição Vetorial; Conceitos de Mecânica do Ensino Médio: Introdução aos conceitos do movimento, Cinemática Escalar e Vetorial, Gráficos e funções de movimentos; Dinâmica: Leis de Newton, Trabalho e Energia, Impulso e Quantidade de Movimento. Hidrodinâmica: densidade, pressão, Teorema de Stevin, Teorema de Pascal (Prensa Hidráulica), Teorema de Arquimedes, Teorema de Bernoulli.

Fonte: o autor (2019).

No Quadro 3 são apresentadas as bibliografias básicas e complementares sugeridas no plano de ensino de cada disciplina de que tem o propósito de abordar o conceito de força.

Quadro 3 - As bibliografias básicas e complementares indicadas nas disciplinas, que discutem sobre o conceito de força, de cada instituição de ensino

<b>Instituição</b>	<b>Bibliografia básica e complementar</b>
Universidade Tecnológica Federal do Paraná- Campus Curitiba	<b>Básica:</b> LUIZ, A. M. R. D; ALVARENGA, B.G. <i>Física: ensino médio</i> . São Paulo: Scipione, 2000-2008; SERWAY, R.A. <i>Física para cientistas e engenheiros com física moderna</i> . 3. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1996; RAMALHO JÚNIOR, F; FERRARO, N. G.; SOARES, P. A.T. <i>Os fundamentos da física</i> . 9. ed. São Paulo, SP: Moderna, 2007. <b>Complementar:</b> TIPLER, P. A.; MOSCA, G. <i>Física: para cientistas e engenheiros</i> . 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2006; ALONSO, M.; FINN, E.J. <i>Física: um curso universitário</i> . 2. ed. rev. São Paulo: Blücher, 1972; SEARS, F. W; ZEMANSKY, M. W.; YOUNG, H. D.; FREEDMAN, R. A. <i>Física</i> . 1.2. ed. São Paulo: Pearson Addison-Wesley, 2008; FÍSICA. 7. ed. São Paulo: EDUSP, 2001; BONJORNIO, J. R.; BONJORNIO, R.; BONJORNIO, V. <i>Física I: estática, cinemática, dinâmica, gravitação universal, hidrostática, hidrodinâmica</i> . São Paulo: FTD, 1979.
Universidade Estadual do Centro Oeste <sup>96</sup>	-
Universidade Estadual de Londrina	-
	<b>Básica:</b> D. HALLIDAY, R. RESNICK; <i>Física</i> . v. 1, Rio de Janeiro: LTC, 1993; YOUNG, H.D; FREEDMAN, R.A; <i>Física</i> . Vol. 1. São Paulo: Pearson Adison Wesley, 2003;

<sup>96</sup> Algumas instituições não disponibilizaram em seus endereços eletrônicos as bibliografias indicadas para cada componente curricular.

<p>Universidade Federal do Paraná- Curitiba</p>	<p>EISBERG, R.M; LERNER, L.S. <i>Física, fundamentos e aplicações</i>. v. 1. Nova York: McGraw-Hill, 1982.</p> <p><b>Complementar:</b> JEWETT, J.W; SERWAY, R.A; <i>Física para cientistas e engenheiros</i>. 3. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1996; NUSSENZVEIG, H.M; <i>Curso de Física Básica</i>.v.1. São Paulo: Blucher, 2013. HALLIDAY, D; WALKER; RESNICK, J. <i>Fundamentos de Física</i>. v. 1. Rio de Janeiro: LTC, 1993; GOLDEMBERG, J. <i>Física geral e Experimental</i>. v. 1, 2, São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1968; TIPLER, P. A.; MOSCA, G. <i>Física: para cientistas e engenheiros</i>. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008; BAUER, W; WESTFALL, G.D; DIAS H. <i>Física Para Universitários</i>. Belo Horizonte: Nova York: McGraw-Hill, 2012.</p>
<p>Universidade Estadual de Maringá</p>	<p><b>Básica:</b> HALLIDAY, D; WALKER, J; RESNICK. R. <i>Fundamentos de Física: mecânica</i> v.1.9ª.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012; TIPLER, P. A.; MOSCA, G. <i>Física: para cientistas e engenheiros</i>. v.1 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012; YOUNG, H. D; FREEDMAN, R. A. <i>Física I:mecânica</i>. 10ªed.São Paulo: Pearson Addison Wesley, 2003; SERWAY, R. A; JEWET, J. W. <i>Princípios da Física: mecânica clássica</i>. v.1. 3ªed. São Paulo: Cengage Learning, 2012.</p> <p><b>Complementar:</b> ALONSO, M; FINN, E. <i>Física: um curso universitário</i>. v. 1.2. São Paulo: Edgard Bücher, 1972; GOLDEMBERG, J. <i>Física geral e experimental</i>. v. 1, 3ªed. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 1977.</p>
<p>Instituto Federal do Paraná- Campus Ivaiporã</p>	<p><b>Física conceitual I- Básica:</b> TREFIL, J., HAZEN, R.M., <i>Física Viva</i> Vol. 1 - Uma Introdução à Física Conceitual. Editora LTC, 2006; HEWITT, P. G, <i>Física Conceitual</i>. 9. Ed. Porto Alegre: Bookman, 2002; GASPAR, A. <i>Experiências de Ciências para o Ensino Fundamental</i>. São Paulo: Editora Ática, 2005; PERUZZO, J. <i>Experimentos de física básica: mecânica</i>. Editora Livraria da Física, 2012; FERRARO, N. G. <i>Física Básica: volume único</i>. 3. Ed. São Paulo: Editora Atual, 2009.</p> <p><b>Física conceitual I-Complementar:</b> GREF, Grupo de Reelaboração do Ensino De Física. <i>Física</i> v. 1. 7. Ed. São Paulo: EDUSP, 2011; GREEF, Grupo de Reelaboração do Ensino De Física. <i>Física</i> v. 2. 5. Ed. São Paulo: EDUSP. 2005; ALVARENGA, B.; LUZ, A. M. R. <i>Curso de Física</i>, v. 1, São Paulo: Editora Scipione, 2010; SILVA, L. C.; CANATO JUNIOR, O; KANTOR, C. A.; BONETTI, M. C.; ALVES, V.M.; PAOLIELLO J.R, L.A. <i>Quanta Física</i> - vol.2. São Paulo: Editora PD, 2010; VALADARES, E. C. <i>Física mais que divertida: inventos eletrizantes baseados em materiais reciclados e de baixo custo</i>. Belo Horizonte: UFMG, 2009.</p> <p><b>Física I- Básica:</b> HALLIDAY, D; WALKER, J; RESNICK. R. <i>Fundamentos de Física</i>. v.1. 8.ed. Rio de Janeiro: LTC, 1993; NUSSENZVEIG, M.H. <i>Curso de Física Básica: Mecânica</i>. v.1 4. ed. São Paulo: Blucher, 2013; FEYNMAN, R. P.; SANDS, M. LEIGHTON, R. B. FEYMAN: <i>Lições de Física</i>. v.1. Porto Alegre: Bookman. 2008; HEWITT, P. G, <i>Física Conceitual</i>. 11. ed. Porto Alegre: Bookman, 2002; TIPLER, P. A.; LIEWELLYN. <i>Física para cientistas e engenheiros</i>. Rio de Janeiro LTC. 6ed. 2012.</p> <p><b>Física I-Complementar:</b> MORAIS, A. M. A. <i>Gravitação e Cosmologia: uma introdução</i>. São Paulo: Livraria da Física. 2009; TREFIL, J., HAZEN, R.M., <i>Física Viva</i>. v 1 - Uma Introdução à Física Conceitual. Rio de Janeiro: LTC, 2006; FEYNMAN, R. P.; SANDS, M.; LEIGHTON, R. B. F. <i>Lições de Física</i>. Porto Alegre: Bookman, 2008;</p>



	<p>HOLZNER, S. <i>Física para Leigos</i>. 1ed. Rio de Janeiro: Alta Books. 2009;          CONTADOR, P. R. M. <i>Kepler: o legislador dos céus</i>. São Paulo: Livraria da Física. 2012.</p>
<p>Instituto Federal do Paraná- Campus Paranaguá</p>	<p><b>Introdução à Física-Básica:</b> SAMPAIO, J. L.; CALÇADA, C. S.; <i>Universo da Física 1: mecânica</i>. v. 1, 1ª ed São Paulo: atual, 2001;          LUZ, A. M. R. DA; ALVARENGA, B. G. DE. <i>Física contexto e aplicações</i>.v.1.1ª ed. São Paulo: Scipione, 2011;          GASPAR, A.; <i>Compreendendo a Física</i>; v,1,1ª ed. São Paulo: ÁTICA, 2011.          GREF, Grupo de reelaboração de Ensino de Física. <i>Física I: mecânica</i>. São Paulo: Edusp, 2001;          ANTON, H. A.; BIVENS, I. C.; DAVIS, S. L.; <i>Cálculo</i>. v.1, 8ª ed.; Porto Alegre: Bookman, 2007.</p> <p><b>Introdução à Física- Complementar:</b>          AMALDI, U. <i>Imagens da Física</i>. São Paulo: Scipione, 1995;          HEWITT, P. G. <i>Física Conceitual</i>.11ª.ed. Porto Alegre: Bookman, 2011;          PERUZZO, J. <i>Experimentos de Física Básica: mecânica</i>. São Paulo: Livraria da Física, 2012.          CARVALHO, R. P. D. <i>Física do dia-a-dia: 105 perguntas e respostas sobre Física fora da de aula</i>. 3ªed. Belo Horizonte: Autêntica, 2011. SWOKOWSKI, E. W. <i>Cálculo com Geometria Analítica</i>. v.1, 2ªed. São Paulo: Makron, 1994.</p> <p><b>Física A- Básica:</b> HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. <i>Fundamentos de Física</i>. v. 1. Rio de Janeiro: LTC, 2003;          NUSSENZVEIG, H. M. <i>Curso de Física Básica I: mecânica</i>. v.1. São Paulo: Edgard Blucher, 2002;          TIPLER, P. A; MOSCA, G. <i>Física para cientistas e engenheiros</i>.v.1, 6ª.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009;          SEARS, F. W; ZEMANSKY, M. W; YOUNG, H. D. FREEDMAN; <i>Física I (MECÂNICA)</i>; v.1, 12ª.ed. São Paulo: Addison Wesley, 2008.          ALONSO, M.; FINN, E. J. <i>Física: um curso universitário</i>; v. 1. São Paulo: Blucher, 1972.</p> <p><b>Física A- Complementar:</b> HEWITT, P. G; <i>Física Conceitual</i>. Porto Alegre: Bookman, 2011;          WATARI, K. <i>Mecânica Clássica</i>; v.1. São Paulo: Livraria da Física, 2004.          CARVALHO, A. M. P. DE (COORD.) <i>Ensino de Física</i>. São Paulo: Cengage, 2011;          ALBERTAZZI, A.; SOUSA, A. R. DE; <i>Fundamentos de Metrologia Científica e Industrial</i>. Barueri: Manole, 2008;          LIRA, F. A. DE. <i>Metrologia na Indústria</i>. 8ªed.São Paulo: Erica, 2009.</p>
	<p><b>Tópicos de Física I- Básica:</b> HEWITT, P. G, <i>Física Conceitual</i>. 9.ed. Porto Alegre: Bookman, 2002;          GASPAR, A. <i>Experiências de Ciências para o Ensino Fundamental</i>. São Paulo: Editora Ática, 2005;          CARVALHO, A. M. P. de. <i>Ensino de Ciências: Unindo a Pesquisa e a Prática.</i>, São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2004;          GREF, Grupo de reelaboração de Ensino de Física. <i>Física I: mecânica</i>. 7ªed. São Paulo: Edusp, 2011;          CARVALHO, A. M. P. <i>Ensino de Física</i>. São Paulo: Cengage Learning. 2010.</p> <p><b>Tópicos de Física I- Complementar:</b> TREFIL, J., HAZEN, R.M. <i>Física Viva</i> v.1 - Uma Introdução à Física Conceitual, Rio de Janeiro: LTC, 2006; HALLIDAY, D; WALKER, J; RESNICK, R. <i>Fundamentos de Física</i>. v. 1. 8ª. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009;          FERRARO, N. G., SOARES, P. T. <i>Física Básica</i>, volume único, 3ª ed. São Paulo: Atual, 2009;          GARCIA, N.M. D., HIGA, I., ZIMMERMANN, E., SILVA, C. C., MARTINS, A. F. (ORGS). <i>A Pesquisa Em Ensino de Física e a Sala de Aula: Articulações Necessárias</i>. São Paulo: Livraria da Física, 2012;</p>

<p>Instituto Federal do Paraná- Campus Telêmaco Borba</p>	<p>CARVALHO, A.M. P; RICARDO, E.C., SASSERON, L.H., ABIB, M.L.V.S., PIETROCOLA, M., <i>Ensino de Física</i>. São Paulo: Cengage Learning, 2011.</p> <p><b>Física I- Básica:</b> HALLIDAY, D; WALKER, J; RESNICK, R. <i>Fundamentos de Física</i>. v. 1. 8ª. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009;          YOUNG, H. D.; FREEDMAN, R. A. <i>Física I: mecânica</i>. 12ª. ed. São Paulo: Pearson, 2008;          TIPLER, P. A.; MOSCA, G. <i>Física para Cientistas e Engenheiros</i>. v. 1. 6ª. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009;          NUSSENZVEIG, H. M. <i>Curso de Física Básica: mecânica</i>. v. 1. 4ª. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2002;          JEWETT, JR. J. W.; SERWAY, R. A. <i>Física para Cientistas e Engenheiros</i>. mecânica. v. 1. 8ª ed. São Paulo: Cengage Learning, 2012.</p> <p><b>Física I- Complementar:</b> CHAVES, A. <i>Física Básica: mecânica</i>. Rio de Janeiro: LTC, 2007;          YAMAMOTO, K.; FUKE, L. F.; SHIGEKIYO, C. T. <i>Os Alicerces da Física I: mecânica</i>. 15ªed. São Paulo: Saraiva, 2007;          FEYNMAN, R. P.; SANDS, M.; LEIGHTON, R. B. F: <i>Lições de Física</i>. Porto Alegre: Bookman, 2008;          SHAPIRO, I. L; PEIXOTO, G. B. <i>Introdução à Mecânica Clássica</i>. São Paulo: Livraria da Física, 2010.          ALONSO, M.; FINN, E.J. <i>Física um Curso Universitário</i>. v. 1. 2 ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2014.</p>
---	--

Fonte: o autor (2019).

Após a realização da organização dos elementos que constituirão a base de dados, é necessário decompô-los, ou seja, é preciso que os mesmos sejam decompostos em fragmentos menores a fim de aprofundar e enriquecer a análise. Nesse sentido, optou-se por analisar o conceito de força contido nas bibliografias básicas e complementares recomendadas na disciplina “Física geral I”, ofertada no primeiro período de uma instituição de ensino superior do estado do Paraná, que foi escolhida em virtude de ser de fácil acesso para a pesquisadora.

A terceira fase refere-se à recomposição dos dados, em que o pesquisador qualitativo reorganiza-os, buscando encontrar diferentes arranjos e combinações que possam conduzir a uma maior inteligibilidade dos mesmos. Essa reorganização em fragmentos distintos dos apresentados originalmente, pode ser expressa em gráficos, tabelas ou outras formas de tabulação (YIN, 2016, p. 159-160). Desse modo, com o intuito de atender ao procedimento de recomposição de dados, será selecionado, dentre as bibliografias básicas e complementares recomendadas, os excertos que contemplam explicações ou definições sobre o conceito de força, conforme o Quadro 4.

Quadro 4 - O conceito de força nos livros sugeridos na bibliografia básica de uma universidade pública do estado do Paraná

Bibliografia Básica	Definição de força	Equações	Tipos de força
<p>HALLIDAY, D; WALKER, J; RESNICK, R. <i>Fundamentos de Física: mecânica.</i> v.1.9ª.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.</p>	<p>“A física [...] envolve o estudo da <i>causa</i> da aceleração. A causa é sempre uma <b>força</b>, que pode ser definida, em termos coloquiais, como um empurrão ou um puxão exercido sobre um objeto. Dizemos que a força <i>age</i> sobre o objeto, mudando a velocidade. [...]” (p. 91). “A relação que existe entre uma força e aceleração produzida por essa força foi descoberta por Isaac Newton (142-1727) [...]” (p. 91). “Uma força é medida, portanto, pela aceleração que produz” (p. 92).</p>	<p>Segunda Lei de Newton <math>\vec{F}_{res} = m\vec{a}</math> (p. 95); Força gravitacional: <math>F_g = m \cdot g</math> (p. 99); Força peso: <math>P = m \cdot a</math> (p. 100); Força normal: <math>F_N = m \cdot g + m \cdot a_y = m(g + a_y)</math> (p. 101); Força de atrito estático: <math>f_{s,max} = \mu_s F_N</math> (p. 124); Força de atrito cinético: <math>f_k = \mu_k F_N</math> (p. 124); Força de arrasto: <math>D = \frac{1}{2} C_p A v^2</math> (126); Força centrípeta: <math>F = m \frac{v^2}{R}</math> (p.130).</p>	<p>Força gravitacional (p. 99); Força peso (p. 100); Força normal (p.101); Força de atrito (p. 101); Força de tração (p. 101); Força de arrasto (p. 126). Força centrípeta (p. 130).</p>
<p>TIPLER, P. A.; MOSCA, G. <i>Física: para cientistas e engenheiros.</i> v.1 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012;</p>	<p>“As leis de Newton relacionam as forças que objetos exercem uns sobre os outros e relacionam qualquer variação no movimento de um objeto às forças que atuam sobre ele. As leis de Newton do movimento são as ferramentas que nos permitem analisar uma grande variedade de fenômenos mecânicos. Mesmo que já tenhamos uma ideia intuitiva como um empurrão ou um puxão, conforme os exercidos por nossos músculos ou por elásticos esticados e molas, as leis de Newton nos permitem refinar nossa compreensão sobre forças” (p. 93). “[...] podemos definir uma força como uma influência externa, ou ação, sobre um corpo</p>	<p>Segunda Lei de Newton <math>\vec{F}_{res} = m\vec{a}</math> (p. 97); Força gravitacional: <math>\vec{F}_g = m \cdot \vec{g}</math> (p. 99); Força elástica <math>F_x = -kx</math> (p. 101); Força de atrito estático: <math>f_{s,max} = \mu_e F_n</math> (p. 127); Força de atrito cinético: <math>f_c = \mu_c F_n</math> (p. 127); Força de arraste: <math>F = bv^n</math> (p. 136); Força resultante: <math>F_{res} = m \frac{v^2}{R}</math> (p. 138).</p>	<p>Força da gravidade: peso (p. 99); Forças fundamentais (interação gravitacional, interação eletromagnética, interação fraca e interação forte) (p. 95); Força elástica (p. 101); Força de atrito estático (p. 126-127); Força de atrito cinético (p. 127); Força de arraste (p.136); Força resultante (p.138).</p>

	<p>que provoca uma variação de velocidade, isto é, acelera um corpo em relação a um referencial inercial. Força é uma quantidade vetorial. Possui magnitude e orientação (p. 94).</p>		
<p>YOUNG, H. D; FREEDMAN, R. A. <i>Física I: mecânica.</i> 10ªed. São Paulo: Pearson Addison Wesley, 2003;</p>	<p>“Na linguagem cotidiana, exercer uma força significa puxar ou empurrar. O conceito de força nos fornece uma descrição quantitativa da interação entre dois corpos ou entre o corpo e seu ambiente. Quando você empurra um carro atolado na neve, você exerce uma força sobre ele [...]. Quando uma força envolve o contato direto entre dois corpos, ela é chamada de força de contato [...]. Existem também forças, denominadas força de longo alcance, que atuam mesmo quando os corpos estão muito afastados entre si [...]” (90-91)</p>	<p>Segunda lei de Newton: <math>\Sigma \vec{F} = m \cdot \vec{a}</math> (p. 99);</p> <p>Força peso: <math>\vec{w} = m\vec{g}</math> (p. 102);</p> <p>Força de atrito cinético: <math>f_c = u_c n</math> (p. 129);</p> <p>Força de atrito estático: <math>f_s \leq u_s n</math> (p. 130);</p> <p>Forças de resistência de um fluido: <math>f = kv; f = Dv^2</math> (p. 134);</p> <p>Força centrípeta: <math>F = m \frac{v^2}{R}</math> (p. 137);</p>	<p>Força peso (p. 102);</p> <p>Força de atrito cinético (p. 129);</p> <p>Força de atrito estático (p. 130);</p> <p>Forças de resistência de um fluido (p. 134);</p> <p>Força centrípeta (p. 137);</p> <p>Forças fundamentais da natureza (gravitacionais, eletromagnéticas, forte e fraca) (p. 141-142).</p>
<p>SERWAY, R.A; JEWETT, J.W. <i>Física I: mecânica clássica.</i> v.1. 3ªed. São Paulo: Cengage Learning, 2012.</p>	<p>“Todo mundo tem uma compreensão básica do conceito de força como resultado de experiências diárias. Quando você empurra ou puxa um corpo, você exerce força sobre ele [...]. A palavra força está associada ao resultado da atividade muscular e a alguma mudança no estado de movimento em um corpo. Contudo, forças nem sempre geram movimento em um corpo [...]” (p. 108). Há uma classe de forças “[...] chamada força de contato. Isto é [...] representam o resultado do contato físico entre dois corpos [...]. Outra classe de</p>	<p>Segunda lei de Newton: <math>\Sigma F = ma</math> (p. 114);</p> <p>Força gravitacional: <math>F_g = mg</math> (p. 116);</p> <p>Força de atrito estático: <math>f_s \leq u_s n</math> (p. 143);</p> <p>Força de atrito cinético: <math>f_k = u_k n</math> (p. 143);</p> <p>Força centrípeta: <math>\Sigma F = ma_c = m \frac{v^2}{r}</math> (p. 149);</p> <p>Força resistiva: <math>R = -bv</math> (p. 158);</p>	<p>Força gravitacional e o peso (p. 116);</p> <p>Força de atrito estático (142-143);</p> <p>Força de atrito cinético (p. 143);</p> <p>Força centrípeta (p. 149);</p> <p>Força resistiva (p. 158);</p> <p>Forças fundamentais da natureza (gravitacional, eletromagnética, nuclear e fraca) (p. 166).</p>

	forças, que não envolve contato físico entre dois corpos, mas que age através do vazio, é formada pelas forças conhecidas como forças de campo” (p. 109).		
--	---	--	--

Fonte: o autor (2019).

No Quadro 5 são apresentados como o conceito de força se mostra na bibliografia complementar de uma universidade pública do estado do Paraná.

Quadro 5 - o conceito de força nos livros sugeridos na bibliografia complementar de uma universidade pública do estado do Paraná.

Bibliografia Complementar	Definição de força	Equações	Tipos de força
ALONSO, M; FINN, E. <i>Física: um curso universitário</i> . v. 1.2. São Paulo: Edgard Bücher, 1972;	<p>“Pela experiência diária sabemos que o movimento de um corpo é um resultado direto de sua interação com outros corpos que o cercam. Quando um jogador chuta uma bola ele está interagindo com ela e modificando o seu movimento [...]. As interações são convenientemente descritas por um conceito matemático chamado força. O estudo da dinâmica é basicamente a análise da relação entre força e a variação de movimento de um corpo” (p. 146).</p> <p>“[...] força é um conceito matemático que, por definição, é igual à variação temporal da quantidade de movimento de uma dada partícula” (p. 154).</p>	<p>Segunda lei de Newton:  <math>F = m \frac{dv}{dt}</math> ou <math>F = ma</math>            (p. 156);</p> <p>Força peso:  <math>W = mg</math> (p. 156);</p> <p>Forças de atrito:  <math>ma = F - u_c fN</math> (p. 160);</p> <p>Força sobre um fluido viscoso:  <math>ma = F - Knv</math> (p. 163);</p> <p>Força normal:  <math>F_N = \frac{mv^2}{\rho}</math> (p. 168).</p>	<p>Força peso (p. 156);</p> <p>Forças de atrito (p. 160);</p> <p>Forças de atrito em fluidos (162);</p> <p>Força normal (p. 168).</p>
GOLDEMBERG, J. <i>Física geral e experimental</i> .v.1,3ªed. São Paulo: Companhia	<p>“[...] a força é a causa do movimento e sua presença é indispensável para modificar a velocidade dos corpos. Se o corpo estiver parado, a aplicação de uma força o põe em movimento;</p>	<p>Segunda lei de Newton:  <math>\vec{F} = m\vec{a}</math> (p. 105);</p>	<p>Forças fundamentais (gravitacionais, eletromagnéticas, nucleares-fortes e fracas) (p. 106);</p> <p>Forças fictícias (p. 122).</p>

Editora Nacional, 1977.	se o corpo se estiver movimentando, uma força é necessária para modificar a velocidade” (p. 105); “Força, para Newton, é um conceito intuitivo, análogo, em última análise, ao esforço muscular [...]” (p.105).		
----------------------------	---	--	--

Fonte: o autor (2019).

A próxima etapa da análise é alusiva à interpretação dos dados recompostos e foi realizada adotando um caráter descritivo e explicativo.

Na importante obra *Conceitos de Força* (2011), Max Jammer explica que:

[...] no ensino acadêmico atual, a discussão minuciosa e crítica de conceitos básicos e aparentemente simples na ciência é conscientemente omitida, relegando-se a apresentação desses conceitos a uma etapa anterior, em que a mente dos estudantes ainda é imatura demais para compreender seu verdadeiro significado (JAMMER, 2011, p. 15).

Os conceitos de força situam-se nesse contexto, pois em recorrentes casos a sua abordagem em nível superior nos livros científicos é feita de forma rápida, rasa e incipiente, corroborando para uma má e incompleta compreensão. Segundo Ponczec (2015, p. 25), o ensino de ciência na maioria das universidades brasileiras “[...] limita-se à leitura, por parte dos estudantes, de livros texto especialmente preparados para adestrá-los em problemas normais e corriqueiros das teorias, [...] como corretas representações da natureza”.

No referido livro, Jammer (2011, p. 16) faz uma análise histórico-crítica do conceito de força na Física e procura evidenciar que:

o pensamento antigo, com suas interpretações animistas e espirituais da realidade física, lançou as bases do conceito, e na ciência pré-clássica ele foi investido de múltiplas conotações extracientíficas que influenciaram enormemente sua interpretação até época muito recente [...].

Jammer (2011, p. 17) também elucida a respeito das conceituações científicas de Kepler e discorre acerca dos passos, por vezes imprecisos, de Newton em busca de uma concepção clara e profunda, e vai além explicando como a física pós-newtoniana reinterpretou tal conceito.

A evolução de conceitos de força é, portanto, complexa e não linear. Contemplá-la sob uma perspectiva histórica corrobora para a transmissão de uma visão mais adequada sobre a natureza da ciência e a história das ciências, contribuindo assim para o próprio aprendizado dos conteúdos científicos (MARTINS, 2006, p. xxi).

A expressão “força” é amplamente enunciada, seja no cotidiano ou no ambiente acadêmico e, neste último, ela é utilizada para designar uma variedade de conceitos. Contudo,

no decorrer do tempo estes foram substituídos por outros que lhes definissem com mais precisão e coerência, como por exemplo, o conceito energia cinética, trabalho, impulso, etc. Ademais, é importante sublinhar que:

[...] a presença de concepções de força que se mantiveram enraizadas no senso comum e ainda outras que, mesmo não sendo incompatíveis com o saber sábio, foram sendo modificadas e reconstruídas ao passarem pelos processos da Transposição Didática e por fim serem apresentadas no saber a ensinar nos manuais didáticos. (MACHADO; MARMITT, 2016, p. 286).

Ao se debruçar sobre amostra dos livros adotados como referência na disciplina de Física Geral I (saber a ensinar), ofertada no primeiro semestre do curso de licenciatura em Física de uma universidade pública do estado do Paraná, percebe-se algumas definições congruentes. Nos livros, cujos autores são, respectivamente: HALLIDAY; WALKER; RESNICK (2012); TIPLER; MOSCA (2012); YOUNG; FREEDMAN (2003); SERWAY; JEWETT (2012); e GOLDEMBERG (1977), é possível perceber que o conceito de força está relacionado à ideia de puxar ou empurrar: “a causa é sempre uma **força**, que pode ser definida, em termos coloquiais, como um empurrão ou um puxão exercido sobre um objeto [...] (HALLIDAY; WALKER; RESNICK, 2012, p. 91)” “[...] mesmo que já tenhamos uma ideia intuitiva como um empurrão ou um puxão, conforme os exercidos por nossos músculos ou por elásticos esticados e molas, as leis de Newton nos permitem refinar nossa compreensão sobre forças” (TIPLER; MOSCA, 2012, p. 94); “na linguagem cotidiana, exercer uma força significa puxar ou empurrar [...] (YOUNG; FREEDMAN, 2003, p. 90) e “todo mundo tem uma compreensão básica do conceito de força como resultado de experiências diárias. Quando você empurra ou puxa um corpo, você exerce força sobre ele [...]. A palavra força está associada ao resultado da atividade muscular e a alguma mudança no estado de movimento em um corpo [...]” (SERWAY; JEWETT, 2012, p.109); “força, para Newton, é um conceito intuitivo, análogo, em última análise, ao esforço muscular [...]” (GOLDEMBERG, 1977, p.105).

A ideia de a força ser resultado de um esforço físico vai ao encontro de uma conceituação pertencente ao senso comum e à concepção Aristotélica. Segundo Jammer (2011), um dos tipos de forças reconhecido por Aristóteles refere-se a força como “[...] emanção da substância, a força do empurrar ou puxar, provocando movimento em um segundo objeto, e não em si mesmo” (JAMMER, 2011, p. 58). Nota-se que para Aristóteles qualquer movimento local decorria-se do ato de empurrar e puxar.

Sob o ponto de vista de aprendizagem dos licenciados(as), essa relação apresentada nos livros mencionados pode favorecer o desenvolvimento ou o reforço de concepções prévias e

espontâneas dos mesmos em relação a compreensão do conceito científico de força. De acordo com Martins (2006, p. xxi):

Essas concepções prévias (anteriores ao sentido científico sistemático) não podem ser apagadas ou ignoradas. Se elas não forem reconhecidas e gradativamente *transformadas* nas outras, podem continuar a existir, paralelamente às concepções científicas impostas pelo professor, interferindo constantemente com sua efetiva compreensão, aceitação e aplicação.

Neste sentido, com o propósito de auxiliar na transformação de concepções prévias em científicas pelos discentes, o conhecimento da história da ciência emerge como um caminho bastante promissor, pois “[...] estudos têm apontado um parentesco entre as concepções alternativas dos estudantes e os modelos científicos que predominaram em determinado período histórico nos mais diversos campos do conhecimentos” (BARROS; CARVALHO, 1998, p. 83)

Para Martins (2006, p. xxii) resistências frequentemente evidenciadas pelos estudantes são:

[...] semelhantes às dos próprios cientistas do passado; e mesmo as suas ideias, por mais “absurdas” que pareçam, podem ser semelhantes às que foram aceitas em outros tempos por pessoas que não tinham nada de tolas. Embora não haja um paralelo completo entre esses “conceitos prévios” e as concepções científicas antigas, as semelhanças acima indicadas são suficientemente fortes para tornar o conhecimento da história da ciência um importante aliado nesse trabalho. Examinando exemplos históricos [...], o estudante pode se preparar para aceitar que um processo semelhante ocorra com suas próprias ideias. Pode perceber que, na história, sempre houve discussões e alternativas, que algumas pessoas já tiveram ideias semelhantes às que ele próprio tem, mas que essas ideias foram substituídas por outras mais adequadas e mais coerentes com um conjunto de outros conhecimentos.

Apesar de a história da ciência ser considerada por muitos pesquisadores (CARVALHO; SASSERON, 2010; NEVES, 1998; MATTHEWS, 1995; MARTINS, 2006) um importante recurso didático para o ensino de Física, ela é reduzida a nomes e datas na amostra de obras analisadas. Esse problema já havia sido alertado por Martins (1990, p. 4), ainda na década de 90:

usualmente, se introduz no ensino de cada ciência um pouco de cronologia e de nomes: “Galileu, em 1632...” [...]. Essa cronologia é pouco informativa e pouco útil. Serve, apenas, para que o estudante fique conhecendo os nomes de alguns cientistas famosos e tenha uma ideia sobre as épocas (e sobre as sequencias) de determinadas descobertas; mas não facilita o ensino da própria ciência.

No livro de autoria de Alonso e Finn (1972), o conceito de força é definido explicitamente pela 2ª lei de Newton “[...] força é um conceito matemático que, por definição, é igual à variação temporal da quantidade de movimento de uma dada partícula” (ALONSO; FINN, 1972, p. 154). Esse tipo de abordagem remete a uma visão de ciência exclusivamente



analítica (CACHAPUZ et. al, 2011, p. 48) e simplista, tendo em vista que as limitações e as origens não são sinalizadas.

Outra definição encontrada nos livros com relativa frequência refere-se à concepção de força como sendo a causa da aceleração: “A física [...] envolve o estudo da *causa* da aceleração. A causa é sempre uma **força** [...] uma força é medida, portanto, pela aceleração que produz” (HALLIDAY; WALKER; RESNICK, 2012, p. 91-92); “[...] podemos definir uma força como uma influência externa, ou ação, sobre um corpo que provoca uma variação de velocidade, isto é, acelera um corpo em relação a um referencial inercial” (TIPLER; MOSCA, 2012, p. 94) e “[...] a força é a causa do movimento e sua presença é indispensável para modificar a velocidade dos corpos. Se o corpo estiver parado, a aplicação de uma força o põe em movimento; se o corpo se estiver movimentando, uma força é necessária para modificar a velocidade” (GOLDEMBERG, 1977, p. 105).

Na Definição III dos *Princípios Matemáticos da Filosofia Natural*, Newton escreve que “*a vis insita*, ou força inata da matéria, é um poder de resistir, através do qual todo o corpo, no que depende dele, mantém seu estado presente, seja ele de repouso ou movimento uniforme em linha reta” (NEWTON, 2016, p. 40). Na interpretação de Jammer (2011, p. 158):

a natureza inerte da matéria é concebida aí como uma força da inatividade. A inércia para Newton, era uma espécie de força inata [*insita*] à matéria, uma força latente, desde que nenhuma outra força imprimida pelo corpo “[se esforçasse] por alterar seu estado”. Ela podia ser considerada uma resistência e um impulso.

Diante do exposto apreende-se que Newton não concebeu a força como sendo uma causa do movimento ou da aceleração (JAMMER, 2011, p. 158). Portanto, os excertos presentes nos livros analisados, que vão ao encontro a essa ponderação são, no mínimo, apressados e ingênuos, pois, no decorrer da história foram empreendidos muitos esforços para tentar compreender as possíveis relações entre força e movimento.

Por intermédio dos fragmentos extraídos dos manuais didáticos é possível identificar que a complexidade e a riqueza do Saber Sábio, produzido pelos cientistas, se transforma em um saber ensinado, que se expressa de modo conciso e aparentemente aproblemático.

A partir da análise do conceito de força encontrado nos livros didáticos, também foi possível inferir que o mesmo é interpretado como sendo uma interação entre corpos:

Pela experiência diária sabemos que o movimento de um corpo é um resultado direto de sua interação com outros corpos que o cercam. Quando um jogador chuta uma bola ele está interagindo com ela e modificando o seu movimento [...]. As interações são convenientemente descritas por um conceito matemático chamado força (ALONSO; FINN, 1972. p. 146).

Essa abordagem suscita a incorporação da terceira lei do movimento proposta por Newton, que corresponde à seguinte ponderação: “a toda ação há sempre oposta uma reação igual ou, as ações mútuas de dois corpos um sobre o outro são sempre iguais e dirigidas a partes opostas” (NEWTON, 2016, p. 54).

Essa forma de conceber a força possivelmente favorece o pensamento crítico dos estudantes, na medida em que eles são instigados a refletir sobre as possíveis maneiras pela qual pode se dar a interação entre os corpos. Ademais, tal interpretação eventualmente ainda contribuiu para a apropriação dos métodos de resolução de problemas teóricos e matemáticos, pelos alunos (as).

A definição de força também é entendida como uma grandeza vetorial “força é uma quantidade vetorial. Possui magnitude e orientação” (TIPLER; MOSCA, 2012, p. 94). No Corolário I, disposto logo após a terceira lei de movimento, Newton relatou que: “um corpo, submetido a duas forças simultaneamente, descreverá a diagonal de um paralelogramo no mesmo tempo em que ele descreveria os lados pela ação daquelas forças separadamente (NEWTON, 2016, p. 55). Tal afirmação refere-se à formulação newtoniana do paralelogramo que, conforme Jammer (2011, p. 166):

[...] é importante para compreendermos a sua concepção de força, não só por caracterizá-la como uma grandeza vetorial, para usarmos uma expressão moderna, mas também porque lança alguma luz sobre o modo como Newton concebia o mecanismo exato da ação dinâmica na época em que redigiu o capítulo introdutório dos *Principia*.

Há, contudo, uma diferença ontológica que precisa ser sinalizada. Afirmar que a força é um vetor é diferente de considerar que ela pode ser representada por um vetor. Ambas abordagens desencadeiam concepções de força distintas, portanto, é necessário atentar-se às suas implicações no ensino.

Nas passagens “a relação que existe entre uma força e aceleração produzida por essa força foi descoberta por Isaac Newton (142-1727) [...]” (HALLIDAY; WALKER; RESNICK, 2012, p. 91) e “as leis de Newton do movimento são as ferramentas que nos permitem analisar uma grande variedade de fenômenos mecânicos” (TIPLER; MOSCA, 2012, p. 93) é perceptível o emprego de argumentos de autoridade. Em concordância com Martins (2006, p. xxvi):

Outra falha no uso da história da ciência no ensino é o seu uso para tentar obrigar à aceitação dos conhecimentos científicos, através de argumentos de autoridade. Invocar uma pretensa certeza científica baseada em um nome famoso é um modo de impor crenças e de deixar de lado os aspectos fundamentais da própria natureza da ciência.

Nesse sentido, é válido evitar este tipo de abordagem a fim de não reforçar a concepção de ciência como “verdade”, “aquilo que foi provado” – algo imutável, eterno, descoberto por gênios que não cometem erros (MARTINS, 2006, p. xix).

A partir da análise dos livros, foi possível vislumbrar uma outra concepção equivocada. A equação  $F = ma$  e suas variações são apresentadas em todas as obras como sendo a segunda lei de Newton. Todavia, como já expresso em capítulo anterior, essa proposição matemática foi desenvolvida por Leonhard Euler, em 1736. Esse aparente desconhecimento poderia ser aclarado se os autores dos manuais didáticos voltassem suas atenções à História da Física, pois:

A própria compreensão dos resultados científicos mais complexos é virtualmente impossível sem um conhecimento histórico [...]. Sem a História, não se pode também conhecer e ensinar a base, a fundamentação da Ciência, que é constituída por certos fatos e argumentos efetivamente observados, propostos e discutidos em certas épocas. Ensinar um resultado sem a sua fundamentação é simplesmente **doutrinar** e não ensinar ciência. (MARTINS, 1990, p. 4).

A segunda lei do movimento foi assim escrita por Newton (2016, p. 54): “a mudança de movimento é proporcional à força motora imprimida, e é produzida na direção da linha reta na qual aquela força é imprimida”. Percebe-se desse modo que tal definição não corresponde à formulação matemática difundida nos livros como “segunda lei de Newton”. Jammer (2011, p. 208) esclarece que “é sempre perigoso interpretar ideias intuitivas com a terminologia moderna, pois é muito comum atribuir-lhes mais do que elas contêm”.

Na amostra de livros analisada também foi notória a adoção de uma sequência de apresentação de conteúdos e equações, objetiva e sucinta, muito semelhantes, o que, com efeito, sugere que:

à educação científica nas escolas de todos os graus, inclusive e, talvez, principalmente, naquelas formadoras de pesquisadores, é aplicada uma “metodologia” bastante eficaz para uma ciência pós-copernicana, dogmática em sua pseudo-essência: um esquecimento completo das origens da ciência, de sua história, de suas inúmeras possibilidades, de seus erros e de suas contingências. (NEVES, 1998, p. 75).

É dada demasiada ênfase à resolução de exercícios repetitivos e, por vezes, mecânicos, relegando à perspectiva conceitual e histórica insuficientes e incipientes excertos de textos.

Por fim, a quinta e última etapa da análise consiste na busca pela extração de uma compreensão mais abrangente e integral sobre o conceito de força apresentado nos livros científicos. Contudo, diante do exposto, é perceptível que o mesmo é expresso a partir de uma multiplicidade de concepções.

Os conceitos de força assumem um caráter polissêmico nos livros didáticos destinados ao Ensino Superior. A existência de distintas maneiras - que às vezes se complementam e às vezes entram em conflito - de definir esse constructo teórico é compreendida sob uma ótica benéfica, tendo em vista que o conceito de força é complexo e dinâmico e, portanto, não deve aprisionar-se à uma única definição.

Dependendo de como o professor faz uso dessa pluralidade conceitual encontrada nos livros didáticos em sala de aula, é possível contribuir para que os estudantes compreendam a não-neutralidade dos conhecimentos científicos, bem como entendam que:

[...] a Ciência é uma construção histórica, humana, viva, e, portanto, caracteriza-se como proposições feitas pelo homem a partir de seu olhar imerso em seu contexto sócio-histórico-cultural; [...] a Ciência produz conhecimentos abertos, sujeitos a mudanças e reformulações; [...] a construção destes conhecimentos é guiada por paradigmas que influenciam a observação e a interpretação do fenômeno; [...] o conhecimento científico não é construído pontualmente, sendo um dos objetivos da Ciência criar interações e relações entre teorias. (CARVALHO; SASSERON, 2010, p. 110-111).

É válido ressaltar, no entanto, que não é essa a construção teórica que está sendo apresentada nos manuais didáticos, pois, nos mesmos, a pluralidade apenas se mostrava quando fazia referência às breves e rasas distinções entre o conceito científico de força e a ideia intuitiva de força muscular.

O conceito de força é geralmente apresentado como algo pronto e acabado, de compreensão fácil, intuitiva e imediata. Entretanto, é importante repensar se é essa formação operacional e aplicacionista que se almeja para os licenciandos(as) em Física. Embasando-se nos dados analisados, conclui-se que é necessário adotar uma postura de vigilância epistemológica (CHEVALLARD, 1991) e refletir sobre uma possível reformulação do Saber a Ensinar ou ponderar a ampliação das referências básicas e complementares dirigidas aos estudantes, tendo em vista o objetivo maior, que é auxiliá-los na construção de significados científicos coerentes e na compreensão de “uma visão mais adequada e bem fundamentada da natureza das ciências, de sua dinâmica, de seus aspectos sociais, de suas interações com seu contexto” (MARTINS, 2006, p. xx-xxi).

## 4.2 ANÁLISE DAS ENTREVISTAS

Nesta seção dar-se-á início a interpretação das entrevistas, cuja primeira etapa consiste em identificar as Unidades de Significado, guiadas pela interrogação norteadora “Como você acredita que se deu a construção da noção do conceito de força?” Após definidas as unidades, busca-se realizar a Compreensão da Situação Relatada na Unidade de cada unidade. Por fim, a partir das análises, são realizadas as Compreensões Ideográficas de cada sujeito, com o propósito de compreendê-lo na sua essência.

### 4.2.1 Unidades de Significado e Compreensão Ideográfica dos discursos

#### Sujeito 1 da Pesquisa

##### Unidade de significado 1

“(...) nas minhas disciplinas eu sempre trabalhei com a parte de formação dos professores, então minha preocupação não é no conteúdo, o conteúdo é assim, a princípio para o alunos chegarem já sabendo o conteúdo, têm as disciplinas pra isso, então minha preocupação não é... não é ensinar o conceito de nada, e como eu nunca ministrei essas disciplinas teóricas de Física, também nunca me preocupei com isso. E como eu falei: como eu nunca ministrei, eu não sei te dizer o como eu faria, explicaria... a evolução do conceito de força para os... alunos”.

##### Compreensão da situação relatada na unidade 1

O Sujeito da pesquisa não demonstra preocupação com os aspectos conteudistas, tanto em relação à ideia de força quanto aos demais conceitos. Parte-se do pressuposto de que os licenciandos(as) já deveriam ter domínio dos conceitos científicos. Fica implícito que é relegado às disciplinas de física teórica e experimental o ensino dos saberes disciplinares. Contudo, vale ressaltar que os estudantes se encontram em formação inicial, ou seja, seus conhecimentos conceituais e metodológicos estão sendo construídos processualmente, não adotando uma sequência linear e acumulativa. Nesse sentido, entende-se que é desejável e importante que o professor de Física, independente da disciplina que ministre, seja da área do ensino ou não, tenha interesse e domínio dos conteúdos relativos a esse campo de

conhecimento, pois será esse profissional que irá orientar e, muitas vezes, servir de exemplo às práticas docentes dos discentes em formação.<sup>97</sup>

Há também uma aparente dicotomização entre saberes conceituais e metodológicos. Porém, para que se possa dar um salto qualitativo na formação de professores, é preciso que os saberes conceituais e metodológicos das áreas específicas sejam trabalhados de uma forma integrada (CARVALHO, 2001, p. 118). Essa articulação visa enriquecer a o trabalho docente, uma vez que fundamenta teoricamente a atuação do futuro profissional.

### Unidade de significado 2

“(...) pra haver movimento, pra haver uma variação de movimento é necessário haver alguma coisa, é o:: têm professores que acabam falando que se há movimento, há força, mas não necessariamente, apesar que se, numa situação bem fora da realidade, mas se não houver atrito você pode ter movimento e não ter força, a resultante das forças é zero, mas o importante talvez seria importante conversar com os alunos, entender que se houver uma variação de velocidade, há necessário, é necessário que alguma coisa aja sobre esse corpo pra que ele ganhe, pra que ele adquira essa variação de velocidade. Aí essa coisa... deveria levar ele a entender que é o que a gente chama de força (...)”.

### Compreensão da situação relatada na unidade 2

O interlocutor busca mostrar que para haver movimento não é necessariamente obrigatória a existência de uma força, para exemplificar seu ponto de vista, ele se vale do exemplo hipotético de ausência de atrito entre corpos, onde estes continuam a se mover [por inércia]. Se sobressai, no entanto, a concepção que a força é o agente responsável pela variação de velocidade.

### Unidade de significado 3

“Ah... basicamente força mecânica né...coisa de você empurrar, puxar, ter o básico para ele entender essa, essa relação da variação de velocidade com- com a existência de uma força, com uma resultante agindo sobre o corpo”.

### Compreensão da situação relatada na unidade 3

---

<sup>97</sup> A intenção não é dizer que é suficiente o professor conhecer o conteúdo, pois, entende-se que: “pensar que ensinar consiste apenas em transmitir um conteúdo a um grupo de alunos é reduzir uma atividade tão complexa a uma única dimensão, aquela que é mais evidente, mas é sobretudo negar-se a refletir de forma mais profunda sobre a natureza desse ofício e dos outros saberes que lhes são necessários”. (GAUTHIER et al, 2013, p. 20-21).

Quando questionado sobre os tipos de força, o Sujeito se reporta à força mecânica e a associa ao ato de empurrar ou puxar. Tal concepção aproxima-se à de Newton, pois para ele, em última análise, a força era um conceito intuitivo, análogo à força muscular humana (JAMMER, 2011, p. 163).

#### Unidade de significado 4

“A importância é ele entender não a:: o modo de resolver as equações, que é o que infelizmente acontece hoje, a:: os alunos simplesmente decoram ou às vezes os professores colocam as equações para fazer uma prova e os alunos simplesmente pegam os valores e colocam ali e::/ aí é, questão/ resolução de exercícios, se eles entenderem o conceito de força por traz, eles entendem vários tipos de situações diferentes, que é, justamente o problema hoje, os alunos não entendem o conceito, seja de força ou se qualquer outra coisa, e na hora de fazer, de:: fazer, resolver exercícios só conseguem fazer exercícios igual ao que o professor fez, porque ele não consegue entender a situação que está envolvida ali. Então, se ele entende o conceito de força, ele vai entender os efeitos que as forças acabam gerando, as consequências, os diferentes tipos, etc., a força elástica, a força elétrica, a força mecânica, atrito e etc. Então, entender o conceito de força hã... faz com que ele entenda melhor situações, na qual as forças surgem, as forças aplicam e suas consequências (...)”.

#### Compreensão da situação relatada na unidade 4

A resolução mecânica e a repetição de exercícios sem a devida significação é criticada e entendida como um problema a ser superado. Atribui-se importância à compreensão do conceito de força, bem como dos demais conceitos da Física, tendo em vista as suas implicações e aplicações no cotidiano.

#### Unidade de significado 5

“(...) É... eu não consigo e provavelmente nunca vou conseguir fazer uma atividade que envolva a história da Física, porque o tempo da disciplina não é grande, apesar da disciplina ser anual, a gente tem uma carga de trabalho muito grande, os alunos têm que ir pra escola::, não sei o quê. Pra trabalhar com a história da física é necessário muito conhecimento, muita leitura e a gente:: até hoje eu não consegui incluir, é... realizar uma atividade de estágio envolvendo a história da física. Então eu nunca trabalhei com essa questão de eles discutirem algum tipo de conceito em si, somente algum recurso ou metodologia de como trabalhar aquele, aquele::/, um conteúdo que normalmente eles são livres para escolher, mas nunca algo específico assim, um conceito de força, por exemplo, a noção de força, nunca algo tão específico”.

#### Compreensão da situação relatada na unidade 5

Nesse fragmento o Sujeito da pesquisa explica o porquê não se atém a desenvolver atividades relativas à história da física com seus alunos. Algumas razões são elencadas, como por exemplo a falta de tempo e a exigência de consulta a fontes de leituras apropriadas. Os conceitos de força, portanto, nunca foram alvo de uma análise mais aprofundada.

### Unidade de significado 6

“Potencialidade existe, é... só que, eu já discuti isso com muita gente, até mesmo com os próprios alunos, é... Há...uma noção errada, no meu modo de ver, sobre a abordagem dessa questão histórica, tem que falar sobre a questão histórica, não sei o quê, é muito complicado fazer isso muitas vezes, como eu falei, é muita leitura, você tem determinados momentos que tem historiadores que têm visões diferentes, então você teria que discutir isso, porque senão você estaria só mostrando um lado, têm controvérsias, etc... É... eu vejo potencialidade no seguinte: de discutir em alguns pontos mais específicos, é... discutir numa abordagem histórica alguma coisa, só que eu recomendo e falo muito para os alunos de eles fazerem coisas diferentes ao longo do ano, para quando eles forem professores, é... trabalhar com a questão do lúdico, ciência e tecnologia, a história da física, eles têm que trabalhar várias coisas, então não dá de fazer, não dá pra você fazer um ano inteiro de disciplina numa abordagem histórica, não dá pra fazer o ano inteiro numa abordagem lúdica. Então... eu sempre recomendo que se eles quiserem fazer uma abordagem histórica, que eles escolham um...momento específico que eles acham relevante dentro de um assunto que estão trabalhando e aí façam uma abordagem histórica, dentro daquilo, dentro desse ambiente que eles querem, mas eu sempre discuto com eles a dificuldade porque não é fácil, diria que... em tudo o que se pode fazer de diferente, de metodologia, de abordagens, etc. Eu considero a história da física muito mais difícil do que qualquer outra, por essa dificuldade de muita leitura, de diferentes visões sobre o mesmo ponto de vista do que aconteceu, controvérsias entre.../. Se você quer fazer um ensino direito, você tem que propor discussões, fazer o aluno pensar. É... então, não dá pra fazer uma coisa muito simplificada, aí normalmente caí no que... ‘no ano sei lá... mil novecentos e não sei o que o fulano de tal fez isso ou fulano de tal nasceu no ano tal e fez isso, não sei o que, se formou’. Então... fica aquela coisa muito simplificada que não... acaba sendo útil... que é a mesma coisa que o livro traz, as vezes tem lá o texto e tem um quadrinho lá do lado assim, com a biografia do autor e ele considera aquilo como abordagem é... abordagem histórica do negócio. É... por isso que assim, eu já tentei várias vezes e eu nunca consegui fazer uma atividade que envolva, que conseguisse trabalhar com a questão histórica, porque o tempo que levaria para desenvolver essa atividade é muito grande em relação a tudo que eu preciso fazer na minha disciplina. Então, é... uma, vamos dizer assim que é uma.. um quebra cabeça que eu não consegui resolver ainda, talvez com mais experiência eu possa até conseguir chegar um dia a fazer isso né, hoje eu não consigo fazer”.

### Compreensão da situação relatada na unidade 6

Quando indagado sobre as possíveis potencialidades de se trabalhar com a História da Física no ensino, o interlocutor relata que estas existem, porém, as dificuldades se sobressaem e inviabilizam a implementação. A necessidade de se aprofundar em leituras confiáveis e



pluralistas acerca de um determinado tema requerem um apreciável tempo hábil, o qual o Sujeito da pesquisa declara não dispor no decorrer de sua disciplina.

O Sujeito tece críticas às abordagens simplistas a respeito da História da Física, como aquelas em que a reduzem a nomes, biografias, datas e aos “feitos científicos”. Ademais, o entrevistado relata que faz recomendações aos seus alunos(as), isto é, os orienta, caso queiram trabalhar com esse viés histórico, a escolherem dado momento e um certo assunto para realizar esse tipo de abordagem. Porém, pelo percebido, aparentemente não há um encorajamento, mas sim uma constante acentuação dos empecilhos a serem transpostos.

#### Unidade de significado 7

“Ah... Aí você me pegou, faz muito tempo que eu fiz o curso de história da física. Isso começa a tentar entender o: movimento em si, não é, desde o: talvez de destaque é... comece a se pensar nisso mais pesadamente a partir dos estudos de Aristóteles, mas tudo se dá em relação ao estudo do movimento, lógico que, é... antigamente o conhecimento que eles tinham, os recursos que eles tinham era muito precários né, tanto que se demorou muito tempo até alguém realmente quiser fazer um experimento, desses imaginários de se falar () de tentar fazer e mostrar o que acontecia, então é... eu acho que a construção tem que se (), basicamente que se for trabalhar, especificamente o conceito de força, deveria se começar com o que os antigos pensavam e como isso foi evoluindo até chegar nas construções, vamos dizer assim, mais adequadas, a partir de Galileu (...)”.

#### Compreensão da situação relatada na unidade 7

Para o Sujeito da pesquisa, a noção do conceito de força se deu com a tentativa de se entender o movimento, tendo como principal representante o filósofo grego Aristóteles. A escassez de recursos é apontada como sendo a responsável pela demora em realizar experimentos que aclarassem as dúvidas postas sob a sombra do desconhecimento. Os conceitos de força teriam, portanto, tido sua origem nos antigos pensadores e evoluído até chegar nas construções, ditas como mais adequadas, a partir de Galileu, no século XVI.

#### Unidade de significado 8

“(…) mas isso é algo que leva tempo, numa sala de aula, numa escola pública, o professor não tem tempo. É... primeiro porque é pouca aula, segundo que isso demandaria materiais, por exemplo de leitura né. Então, o professor teria que arrumar material e ele tem lá 30, 40 alunos na sala, várias salas então é uma coisa muito difícil de se fazer no ensino de escola pública. Mas, se você for ver () que deveria acontecer, deveria haver essa construção desde como os antigos pensavam e como foram evoluindo estes pensamentos até chegar nas construções mais modernas que eu diria que acabaria ali mais ou menos em Newton, apesar de que a descrição que a gente têm hoje de força não é a mesma que Newton usava, né. Ele usava toda uma construção mais geométrica da coisa que se

hoje se fizer um negócio desse ninguém vai entender. A raiz do pensamento moderno e do que é... a questão da força basicamente nasceu aí em Newton. Então, eu partiria nesse ponto, mas para fazer numa escola pública, normal assim de Física eu diria assim que seria bem complicado”.

#### Compreensão da situação relatada na unidade 8

O interlocutor considera importante abordar essa reconstrução histórica, desde as concepções oriundas dos antigos pensadores até chegar na síntese newtoniana no âmbito do Ensino Médio de uma escola pública. Contudo, novamente retoma seu posicionamento acerca dos empecilhos metodológicos que podem impedir a concretização desse tipo de atividade.

O participante da pesquisa esclarece que a descrição do conceito de força e as ferramentas matemáticas utilizadas atualmente diferem das desenvolvidas por Newton em seu contexto histórico e científico. Ainda de acordo com o interlocutor, a raiz do pensamento moderno, bem como do conceito de força, teve origem em Newton.

#### Unidade de significado 9

“(…) Numa disciplina de física básica não, não é o objetivo da... () não estou dizendo que não acho que deveria ser assim, é..., mas é que, como o que () normalmente o pessoal faz é o conteúdo básico e exercícios e vai seguindo o que tem nos livros. Então ali a maioria dos professores provavelmente não têm o menor interesse em fazer uma abordagem da história da física, assim. Eu sei que isso gera interesse (...). Que deveria acontecer deveria, na prática não é o que acontece, não é”.

#### Compreensão da situação relatada na unidade 9

No âmbito do ensino superior, o entrevistado alega que apesar de ser importante e de despertar o interesse dos estudantes, o emprego da História da Física nas aulas – de Física Básica – não ocorre, pois é dada ênfase a um ensino pautado nos conteúdos e exercícios contidos nos livros didáticos.

#### Unidade de significado 10

“A princípio eles nunca relacionam a questão de variação de movimento com a força, né. É lógico que se o professor souber fazer direito, ele vai começar fazer o aluno a pensar que- pensar nesse tipo de situação, mas instintivamente acho que não. Provavelmente não, lógico que provavelmente terá alguns que vão pensar, que vão relacionar isso, mas eu diria que a maioria não, no Ensino Médio não, pelo menos eu acho”.

## Compreensão da situação relatada na unidade 10

O conceito de força é entendido como não intuitivo para os estudantes – pelos menos para os do Ensino Médio – sendo necessário a intervenção do professor a fim de promover uma compreensão contextualizada do conceito.

### Sujeito 2 da Pesquisa

#### Unidade de significado 1

“(…) o que você observa na natureza, que você tem dinâmica, os objetos se movimentam, eles não se movimentam por livre e espontânea vontade, tem que ter alguma coisa que induz esse movimento. Então para você descrever essa dinâmica, daí você usar várias formulações. Uma das formulações é você usar  $F = ma$ , daí você faz toda aquela descrição de quando você tem um desequilíbrio de força e isso automaticamente induz a uma aceleração no teu-, no objeto. Essa é a descrição mais simples, né, mas depois você pode introduzir isso como um gradiente do potencial, então se você coloca um corpo sujeito a uma diferença de potencial, esse corpo vai tender a ir para um região de menor potencial e isso equivale a força que ele sente né. Então daria para descrever talvez de uma maneira diferente, que nem eu falei: fazer uma descrição usando uma formulação newtoniana, onde você tem, o sistema newtoniano, você tira as equações que vão descrever essa dinâmica via equação de Hamilton - Jacob ou () Lagrangiana, onde você tiraria a dinâmica via equação de () Lagrange, sem necessariamente escrever  $F = ma$ . () o que se precisa é, dada a dinâmica você descrever a evolução, como que ocorre essa evolução, de uma forma precisa. Mas, sempre lembrando que tanto a formulação newtoniana  $F = ma$  ou lagrangeana-newtoniana vai levar a mesma equação que vai descrever a dinâmica daquele corpo lá, isso é independente. São maneiras diferentes de formular um efeito físico, você observa um objeto que está em movimento e você pode matematicamente descrever de forma () diferente”.

#### Compreensão da situação relatada na unidade 1

A “força” é entendida como a responsável pelo movimento dos corpos. E para descrever essa dinâmica são apresentadas diferentes formulações. A primeira refere-se à descrição tradicionalmente encontrada nos manuais didáticos  $F = ma$  e a outra trata-se de uma abordagem matemática mais sofisticada que permite a explanação de leis gerais dos movimentos, independentemente das situações físicas específicas a que eles estejam associados. Entretanto, como mencionado pelo interlocutor, são maneiras diferentes de descrever o mesmo efeito físico – o movimento dos corpos.

### Unidade de Significado 2

“O conceito de força, ele é mais-, falar explicitamente em força é mais simples porque é uma coisa mais usual no dia-a-dia. A pessoa mesmo, sem conhecimento nenhum, significa o que é fazer força sobre um objeto, empurrar um objeto. Então, aparentemente fica mais simples para você tratar talvez a nível de segundo grau ou talvez pessoas que não tenham conhecimento matemático mais elaborado, mas quando você joga para a formulação matemática  $F = ma$ , no fundo vai gerar uma equação diferencial que descreve a dinâmica e essa mesma equação é ser obtida por outros métodos”.

### Compreensão da situação relatada na unidade 2

O conceito de força é concebido como algo simples de ser compreendido, tendo em vista que as pessoas o presenciam e o experimentam em suas atividades diárias. Devido a essa intuitiva compreensão, o sujeito da investigação acredita que possivelmente o indivíduo aprendiz terá mais facilidade na resolução de problemas dessa natureza ou mais complexos em níveis mais avançados de escolaridade.

### Unidade de significado 3

“O conceito de força sim, porque até uma criança entende isso. Você fala ‘dá uma força aqui’, que nem diz o outro, ou faz uma força para movimentar aquele objeto, a criança vai lá e faz. O que não é intuitivo é a notação vetorial que você precisa para descrever essa dinâmica né, porque força é um vetor, vetor é, como você adiciona vetor, subtrai vetor como você manipula vetores já é uma coisa que você precisa ter um embasamento, que já não é tão intuitivo, mas o conceito de força eu acho que é... qualquer criança consegue entender ,você consegue explicar”.

### Compreensão da situação relatada na unidade 3

Para o participante da pesquisa, o conceito de força é plenamente intuitivo, a ponto de uma criança entendê-lo sem objeções. A dificuldade reside na compreensão da notação vetorial, uma vez que, tal tratamento requer um embasamento matemático não evidente.

### Unidade de significado 4

“Assim, o conceito de força em si, que nem eu falei, ele é mais ou menos- ele já é natural com () o crescimento, agora como matematicamente você fazer a descrição correta, a importância é que, se tudo o que você quiser descrever -a evolução e prever a evolução do sistema-, você tem que ter uma matemática que consiga descrever de uma maneira correta, então pra você fazer uma previsão do momento ou projetar algum tipo de movimento, você precisa fazer a descrição matemática correta, então a importância é, uma coisa é você só entender o que que é força, ah se eu empurrar esse objeto, se eu fazer uma força sobre ele, ele vai se movimentar, isso é quase que natural hoje, porque é uma experiência que a gente tem. Agora você fala assim- ‘como que eu faço para saber a...

para conseguir fazer esse objeto se movimentar daqui até daqui com tal velocidade e tal coisas assim ou fazer uma determinada trajetória no espaço controlada?', aí você precisa entender como você vai usar a formulação matemática, que... passa de você saber resolver essa dinâmica, essas... equações diferenciais que descrevem essa dinâmica fazer, se for fazer, usar as decomposições de força, tem que saber fazer... certo, seguindo toda a álgebra vetorial que se precisa né”.

#### Compreensão da situação relatada na unidade 4

Ao partir do pressuposto de que o conceito de força é intuitivo, o interlocutor da pesquisa não atribui importância a sua compreensão em si, mas sim ressalta a relevância do papel desempenhado pelo formalismo matemático na descrição, previsão e evolução de sistemas dinâmicos.

#### Unidade de significado 5

“Eu acho que pela própria experiência diária que as pessoas tinham, isso... você vê que consegue fazer objetos se movimentar mais rápido ou mais devagar. Então eu acho que isso vem da própria experiência do ser humano. O conceito de força pra mim é uma coisa que é natural desde os primórdios... O ser humano entende o que significa fazer uma força sobre um objeto e aquilo lá automaticamente resulte algum tipo de movimento. Agora, você fazer a descrição matemática que é uma coisa que veio com o desenvolvimento da matemática e pessoas que conseguiram fazer a formulação certa. O conceito em si de força, pra mim, é uma coisa quase que natural, da experiência do dia-a-dia que a pessoa tem. Acho que uma criança entende o conceito de força em si, o que significa, se fazer força e a consequência disso”.

#### Compreensão da situação relatada na unidade 5

Quando questionado sobre a construção do conceito de força, o sujeito de pesquisa enfatiza novamente que se trata de algo que se desenvolveu naturalmente, sua origem remonta à própria experiência cotidiana da sociedade, desde os tempos mais remotos.

### **Sujeito 3 da Pesquisa**

#### Unidade de significado 1

“Bom, o conceito de força, você sabe que é um conceito que tem uma longa história né, uma longa evolução conceitual, se a gente quiser, a gente começa é:: desde a física Aristotélica né, em que a força era um ingrediente necessário para manter o movimento, é:: normalmente, nas vezes em que eu tenho a chance de falar sobre isso e no curso de história da física a gente discute muito a evolução deste conceito, a ideia é passar, mostrar antes de mais nada de que se trata de um conceito intuitivo em algum sentido, que depois foi sendo elaborado né, ao longo

da história, foi confundido muitas vezes com o conceito de *vis*, foi confundido muitas vezes com momento, com força mesmo, com energia né. Então quando eu estou ensinando eu começo com uma linguagem um pouco mais enxuta, operacional, quer dizer se você pega como exemplo a:: lei da dinâmica fundamental  $F = ma$ , eu procuro enfatizar que a força é um agente físico responsável por aquele  $a$  que está ali, então eu detecto o  $a$  e atribuo a vizinhança do meu corpo a ação né, é:: de um agente físico que promove essa aceleração. Mas, depois é.., naturalmente eu caminho em direção ao conceito de campo, pra falar, porque surge naturalmente no contexto, mesmo quando você ensina em mecânica ou quando está dando aula de física quântica e que esse conceito, ele, ele muda completamente, quer dizer, a tendência da, da física moderna –moderníssima-, é que o conceito de força se evapore, porque na relatividade/ a palavra é muito forte ‘evaporar’, ele não é mais necessário nos moldes antigos porque você, por exemplo, a interação a distância da:: da, digamos da gravitação da física newtoniana, em primeiro lugar, é substituída pela ação dos campos na eletrodinâmica e em seguida pelas deformações do espaço-tempo na.. relatividade e na física quântica, o conceito de força só pode ser olhado por uma analogia semi-clássica, a partir do teorema de Ehrenfest, porque a força clássica newtoniana, ela é aplicada num ponto do corpo e o princípio da incerteza na mecânica quântica não permite essa definição de maneira, né, então você vai para uma descrição de potencial, e aí adquire um significado mais profundo a::/ o ambiente do corpo né, então, é uma resposta longa, mas num primeiro momento eu acho conveniente fazer uma definição de força quase que operacional para, pra você introduzir, discuti-la em conexão com o conceito de massa e tal, tirar as representações anímicas né, força muscular, etc., pro aluno entender que agora nós estamos falando é:: de um agente físico que atua no sentido de mudar o estado de movimento do corpo”.

### Compreensão da situação relatada na unidade 1

O sujeito de pesquisa inicia seu discurso alegando que o conceito de força possui uma bagagem histórica, tendo possivelmente como ponto de partida os estudos de Aristóteles sobre o movimento dos corpos. No decorrer do tempo este passou por evoluções conceituais que o conduziram a formulações mais modernas, em que a definição de força não se faz mais necessária para o tratamento matemático que se é dado. O conceito de força é entendido, em certo modo, como algo intuitivo que, ao longo de sua elaboração foi confundido com outras definições, como momento e energia. Na sua perspectiva, é preciso despojar-se das representações anímicas, como força muscular, etc.

Ao ensinar sobre o conceito de força, o interlocutor relata que o introduz a partir de uma linguagem mais objetiva e operacional,  $F = ma$ . A força é concebida como um agente físico responsável pela aceleração dos corpos ou, dito de outra forma, responsável pela alteração do estado do movimento, conectada ao conceito de massa. Na sequência é ensinado o conceito de campo, o que induz, a uma discussão mais atual, em que o conceito de força não é mais fundamental como nos moldes antigos. Para sustentar sua fala, o entrevistado cita exemplos em que a ideia de força da gravitação newtoniana é substituída pela ação dos campos na

eletrodinâmica e em seguida pelas deformações do espaço-tempo na teoria da relatividade. Em complemento, é citado que o conceito de força somente pode ser interpretado a luz de uma analogia semi-clássica, a partir do teorema de Ehrenfest, em que se busca alcançar uma conexão entre a mecânica quântica e a mecânica clássica, porque devido ao princípio de incerteza da mecânica quântica, não é possível obter diagnósticos precisos sobre a força e suas implicações, e na tentativa de contornar esse impasse adota-se uma descrição de potencial.

## Unidade de significado 2

“Então, mas a história, ela é longa e ela é complicada, porque num primeiro momento, por exemplo, vamos começar com Aristóteles, né; vamos pegar um grande tratado -a gente poderia fazer isso até antes né, nos pré-socráticos-, então, mas a coisa não é:: é muito, é muito difícil reconhecer é:: e é perigoso a gente é:: perigoso do ponto de vista metodológico né, você colocar sua cabeça moderna ou pós-moderna lendo esses escritos, agora em Aristóteles, né. Nos livros de física e sobretudo no livro de física mesmo é:: existe um conceito de força que não é o nosso, evidentemente, mas é um esforço pra associá-la ao movimento do corpo, mas ali a força e o movimento do corpo estão implicados, né, então a evolução desse conceito, ela parte de algo que é inerente ao próprio corpo como se o corpo estivesse implicado no movimento até atingir a quase que não necessidade. em Descartes, Descartes faz uma Física de precursão, quer dizer, toda a interação é basicamente por contato né, olha já estou usando um conceito moderno, o conceito de interação, porque não é simples, pelo menos eu não acho, separar metodologicamente né, é... o conceito de força mesmo, aí ele vai adquirir um caráter é:: realmente mais bem definido, digamos na, na síntese newtoniana, então todo esse período da revolução científica, pra depois finalmente adquirir um conceito relacional né, se você quiser a gente pode, mas você não pode fazer isso num curso básico, chegar até a discussão de Mach e de uma mecânica onde a força possa aparecer realmente como algo relacional. A gente não faz isso porque... talvez não seja necessário para a formação do estudante num primeiro momento, quer dizer, é:: -eu volto a insistir: é-::, você discute sim o conceito tentando dizer que é preciso desentranhá-lo desde a antiguidade, onde ele vinha confundido, como eu te disse: foi confundido com momento até se entender o momento e aí vê-lo como responsável pela variação do momento ou da quantidade de movimento com o tempo, mas eu vou/ até em Leibniz, por exemplo, algumas vezes esse conceito de *vis*, ele que usou muito o conceito de *vis viva*, a energia cinética, mas algumas vezes, dava a entender que era uma quantidade escalar, aí você pensava ‘bom, deve ser energia, ele tá pensando em energia’, mas às vezes, era uma quantidade vetorial, aí dava a entender que estava pensando em uma variação de quantidade de movimento, né. Então, a evolução é lenta, até termos a partir da segunda lei, das leis de Newton de modo geral né, é:: segunda e terceira, que tratam mais diretamente da/ é:: a possibilidade de introduzir definições, com as quais você opera, então eu acho que fazer essa passagem de um conceito que é quase que animístico, implicado no corpo, para um conceito em torno do qual você pode operar, definir a partir de uma balança, comparar as ações dessas, sobre dois corpos de massas diferentes e as duas coisas vêm juntas de novo né, você sabe que esse conceito ali no *Principia* eles estão é... não é que eles estão implicados no sentido de que eles não são claros, mas é que eles se tornam claros na medida em que você introduz os dois né, essa ideia, né, não sei se eu respondi... essa é minha ideia. E eu gosto sempre de trazer, mesmo nas poucas vezes que dei o curso de Física I e sobretudo nos de História da Física mesmo de Mecânica Quântica, trazer a problemática para a física contemporânea porque a gente consegue olhar retrospectivamente como foi difícil fazer

esse percurso para entender a interação entre dois corpos, porque no fundo é disso que se trata: dois corpos, um corpo pode ser o meu, um corpo  $m$  aqui e o resto () do universo né, o ambiente todo ou dois corpos mesmo que é suficiente, eu preciso ter duas instâncias assim que interajam né. É depois () vai ter o conceito de auto interação, que é uma coisa mais elaborada em eletrodinâmica quântica, é:: então para não confundir, quando você é:: explica é:: insistindo e explica para um estudante, pra gente mesmo né, insistir em distingui-la de momento, de trabalho, de esforço né e tentar limpar esse conceito para dar a ele uma definição com a qual se opera, uma vez que você tem essa definição com a qual se opera você passa por um conceito de interação, pro conceito de campo e aí eu acho que você consegue colocá-lo numa perspectiva mais ampla. É mais ou menos isso...”.

### Compreensão da situação relatada na unidade 2

O sujeito da investigação discorre paulatinamente sobre a construção do conceito de força no decorrer do tempo, e salienta que esse percurso foi longo e complicado e teve início, a princípio, com os pré-socráticos que antecederam Aristóteles. Ele também pontua o quão perigoso é, do ponto de vista metodológico, tentar compreender os escritos dos filósofos antigos com uma mente moderna ou pós-moderna, uma vez que, ao interpretar ideias intuitivas com a terminologia moderna, é recorrente atribuir-lhes mais significados que elas de fato possuem (JAMMER, 2011, p. 208).

Ao retomar seu discurso acerca do percurso de construção do conceito de força, foi dada atenção à Descartes, pois ao conceber que toda interação física decorria essencialmente do contato físico, ele desenvolveu uma teoria cosmológica de percussão. Ao discorrer sobre Descartes, o entrevistado percebeu que fez uso do termo “interação”, e salienta que este já se trata de um conceito moderno, possivelmente não presente na mente e nos escritos de Descartes.

O interlocutor explica que nos livros de física há um conceito de força oriundo de um esforço em associá-la ao movimento de um corpo, a força e o movimento estão implicados, porém, em decorrência da evolução desse conceito, a força que era entendida como sendo inerente ao próprio corpo, passa a situar-se num outro patamar, onde sua existência já não é mais necessária.

Posteriormente à síntese newtoniana, inserida no contexto da revolução científica, o conceito de força adquiriu um conceito relacional, como o encontrado em Mach, em que, juntamente com outros estudiosos contemporâneos à ele, defendeu a premissa de que o conceito de força não passava de um equivalente físico de “ligação necessária” entre causa e efeito, uma ideia ilegítima na ciência (JAMMER, 2011, p. 262). Contudo, o sujeito da investigação considera que talvez não seja importante fazer essa reconstrução histórica no âmbito de um curso de física básico, num primeiro momento. Na sua perspectiva, o conceito de força precisa



ser discutido a fim de tentar desentranhá-lo, desde à antiguidade, onde o mesmo era confundido com outros conceitos, como momento e energia.

Para findar a sua discussão, é retomada a ideia de que a evolução do conceito de força é lenta até se ter conhecimento acerca das leis de Newton. A passagem de um conceito que, na sua concepção, é quase que animístico, implicado no corpo, para um conceito em torno do qual é possível operar, fazer medições e comparações entre dois corpos de massas diferentes é algo bastante notório, mesmo que estes preceitos não estivessem dispostos de forma evidente nos *Principia*.

A fala do sujeito é pautada em suas experiências como professor nas disciplinas de Física I, História da Física e Mecânica Quântica. E nessas práticas docentes, ele relata que procura trazer a problemática para a física contemporânea, com o intuito de propiciar a “visualização”, ainda que parcial e anacrônica, do percurso histórico na tentativa de compreender a interação entre dois corpos.

### Unidade de significado 3

“(…) a gente começa então com Aristóteles, mas você tem um, um filósofo importante que foi citado por Simplício, o Filoponus né, porque é:: existe uma.. uma história é:: muito rica, com o problema do movimento que vai, digamos, de Aristóteles até a física galilaica, vamos colocar assim, né, então é-, predecessores a lista é longo, você teria o Filoponus e você teria é:: se você quiser, Roger Bacon, os:: calculadores de Paris é, os... nominalistas franceses, perdão, os :: professores das escolas de França como Oresme, o Buridan, quer dizer a teoria do ímpetus né, é:: toda essa física pré-galilaica até desembocar em Descartes que é o primeiro -o primeiro, sabe?- em história, essas coisas... mas assim, tem um distinção é:: notável é:: parece que é um dos primeiros a entender que a força está imbricada na mudança de estado de movimento e não no movimento (), a teoria do ímpetus ainda acha que alguma coisa passe né e eu não mencionei, mas é fundamental todo o trabalho dos árabes né, Avicena, o conceito por exemplo, o conceito árabe de (), que ele chamava, que é essa inclinação que é passada para o corpo no momento que o agente o arremessa né, é.. então assim você tem toda uma história, precisaria ser revista, toda a vez que você for olhar para o conceito de força até chegarmos nos modernos que fundam essa, essa dinâmica, dinâmica que a gente chama de newtoniana ou a dinâmica clássica é:: e começando com Descartes é:: e passando é:: por Kepler, por causa da importância que às vezes se dá uma importância menor ao Kepler e ele tá nesse time com, digamos assim, com a mesma, com as mesmas credenciais né, aliás ela é fundamental porque ainda que atribuindo uma, alguma coisa animística ao sol, ele sabia que era o sol o centro digamos, assim, dessa interação responsável pela organização de um sistema de mundo, e isso foi crucial para o Newton, quer dizer, sem essas descobertas do Kepler, que foram feitas meio () não teríamos provavelmente um sistema de mundo newtoniano da forma como nós o conhecemos, então a lista dos predecessores é realmente longa e passa por toda a Idade Média, a questão é saber é:: se, não sei se você já acompanhou esse debate e é um debate em história da ciência, história das filosofias das ciências, se a visão de Galileu é uma revisão revolucionária, no sentido de uma ruptura complexa, certamente revolucionária no bom sentido da palavra de trazer novidade, mas ela é, é uma ruptura do anterior ou ela é

continuada, então a visão, por exemplo de Pierre Duhem e outros chamados continuístas é que esse movimento se prepara ao longo de toda a Idade Média, no édito de Paris ele coloca como unidade científica numa outra direção que não Aristóteles, e nesse movimento de sair de Aristóteles surge uma-, um prelúdio a Galileu, e aí Galileu faz o trabalho importante de romper ou se Galileu de fato ignora a Idade Média ‘ignora’, né, entre aspas, ignora a Idade Média e diz ‘não é por ali’, volta a ideia Arquimediana de um ideal matemático para descrever isso e, sobretudo, da ideia é:: de desvincular a ação da força com o próprio corpo, então quer dizer é:: a estática Arquimediana funciona bem porque justamente ele consegue olhar o corpo, é:: esse corpo tá numa vizinhança, mas ele está isolado, então eu consigo separá-lo da vizinhança e olho pra ele né, que foi uma coisa importante né, tirar o:: conceito de força como se ele fosse uma tendência intrínseca, um ímpetus ou um, o que fosse né, é::, mas como ele sendo sujeito a uma ação externa, que nós depois vamos chegar, ação externa de um campo ou qualquer outra coisa, mas responsável por essa interação, é isso”.

### Compreensão da situação relatada na unidade 3

Em relação à história da construção do conceito de força, o interlocutor menciona Aristóteles, que segundo ele é um dos precursores do estudo do movimento que se estende até chegar nas contribuições de Galileu. Nesse percurso também são citados Filoponus, Avicena, Roger Bacon, os calculadores de Paris, os nominalistas franceses, Pierre Duhem, Arquimedes e os professores das escolas francesas – Oresme e Buridan.

Em Aristóteles é possível encontrar referência a dois tipos de forças, uma de acordo com a concepção platônica, em que a força era inerente à matéria, conhecida como “natureza” [*physis*] e a outra entendida como a força de emanção da substância, a força de empurrar e puxar, ocasionado o movimento não em si mesmo, mas sim em um segundo corpo (JAMMER, 2011, p. 58). Já Filoponus (490-570), membro da Escola Neoplatônica de Alexandria, possuía algumas restrições em relação aos pressupostos de Aristóteles, em especial à sua dinâmica, pois considerava que a ideia aristotélica acerca da causa do movimento violento ou movimento contrário à natureza era contestável.

Roger Bacon (1214-1292), crítico à teoria dinâmica aristotélica, se preocupou em analisar o mecanismo físico de propagação das forças originadas dos céus. Na sua concepção força era concebida como algo que se propagava no espaço como os raios de luz (CRUZ, 1985, p. 69). Para Bacon, a força era transportada e transmitida por um meio corpóreo e, de acordo com Jammer (2011, p. 88), ela era entendida como “[...] uma entidade isolada, desligada no agente que a originava. Não agia à distância, mas se espalhava pelo meio de acordo com leis específicas de propagação”.

Nicoleu Oresme (1323–1382) também adotou uma postura crítica à filosofia aristotélica no que tange a ideia de força como sendo uma emanção da matéria. Para ele, era mais plausível compreender a força como uma atividade intrínseca que causava o movimento dos objetos. Posteriormente, no contexto do século XVI, Jean Buridan (1300-1358) foi um dos mais proeminentes filósofos a propor a teoria do ímpeto. Ele propôs a teoria de que “[...] Deus ao criar o Universo, teria transmitido a essas esferas um ímpeto inicial, semelhante ao que se dá a uma pedra ao atirá-la” (JAMMER, 2011, p. 97). Embora tenha contado com a contribuição de outros filósofos, como Filoponus e outros de origem muçulmana, foi Buridan quem se preocupou em aplicar sistematicamente a teoria do ímpeto ao movimento circular dos astros.

No decorrer da abordagem incipiente acerca dos cientistas que corroboraram para construção do conceito de força, o sujeito de pesquisa esclarece que para que fosse possível fundar a mecânica conhecida como newtoniana, foi necessário contar com os esforços científicos de Descartes, Kepler e Galileu.

Em Descartes o conceito de força assumiu uma aparência meramente fictícia, pois sua teoria baseava-se em proposições essencialmente geométrico-cinemáticas e na ideia de extensão impenetrável. Já em Kepler, o conceito de força sofreu oscilações extremas, ora fazia referência à ideia de alma, ora dizia respeito a uma quantidade corpórea física, quase mecânica (JAMMER, 2011, p. 113). Contudo, ao longo da elaboração progressiva de suas leis do movimento planetário, em que chegou à conclusão que a velocidade planetária dependia da distância em relação ao Sol, Kepler passou a inferir a existência de forças de atração recíproca exercidas pelos corpos celestes.

Sobre Galileu, apesar de não ter se dedicado com afinco na compreensão do conceito de força, é possível afirmar que as suas contribuições foram complementares às de Kepler, pois, para ele “[...] “força” era, antes de mais nada, um conceito físico cuja determinação exata ainda estava fora do seu alcance” (JAMMER, 2011, p. 129). Contudo, é inegável que os seus trabalhos serviram de base para o desenvolvimento de teorias posteriores. Na perspectiva do sujeito de pesquisa, os estudos de Galileu corroboraram fortemente para a ruptura de pressupostos estabelecidos na era aristotélica e na Idade Média.

Embora tenha falado brevemente sobre os cientistas e suas respectivas contribuições para a construção dos conceitos de força, o entrevistado demonstrou ter considerável interesse e conhecimento acerca do sinuoso caminho pelo qual o conceito de força passou até chegar em uma descrição mais concisa e desvinculada de características animísticas e de estreitas ligações com concepções religiosas.

#### Unidade de significado 4

“(…) esse é um conceito essencial para a gente construir uma descrição é::, por exemplo é o conceito central da dinâmica clássica, né. Simbolicamente, você pode usar a forma escrita por Euler ou se quiser evitar, você volta para a ideia newtoniana de é:: isso é importante para construir uma representação mecânica do universo, tá. É um conceito fundamental, basilar porque ele está nos fundamentos e tanto é verdade que quando você abre o *Principia* aparecem as definições antes dos axiomas das três leis de movimento, você tem as definições, então você começa com a definição de massa, de inércia etc., e tem um momento em que aparece a definição de força, inclusive é:: com toda a sua, perdão pela redundância, com toda a força do conceito porque é um conceito vetorial né, é:: e fica clara a necessidade de da introdução de um conceito vetorial para a força né, porque ela é um agente físico, mas é um agente físico que é direcional né, então o conceito de força é basilar para a construção da primeira descrição bem-sucedida mecânica do universo, que é a dinâmica clássica”.

#### Compreensão da situação relatada na unidade 4

Na concepção do sujeito da investigação, o conceito de força é basilar para a edificação de uma descrição mecânica satisfatória da dinâmica clássica. Seja sob a ótica do tratamento analítico dado por Euler, ou seja, sob a abordagem conceitual e vetorial feita por Newton, o conceito de força é percebido como essencial para o desenvolvimento da dinâmica clássica.

#### Unidade de significado 5

“(…) Euler era, ele era um “discípulo” de Descartes, mas ele entendeu, ele chama sempre nos escritos dele de O Inglês né, em letra maiúscula O Inglês porque como ele era amigo do Bernoulli (risos) e havia:./ e também era da escola do Leibniz, eles, eles é:: não gostavam muito do Newton por causa da:./ respeito é uma coisa, mas simpatia é outra né, por causa da de ter roubado o cálculo infinitesimal né, digamos assim, essa é outra controversa e eu não quero é:: mas um coisa que chama atenção no caso do Euler é o seguinte, quando eles está trabalhando naquilo que ele chama, ele acha a descoberta  $F = ma$ , uma descoberta fundamental e de fato é porque não é assim que está em Newton, ele chama isso de lei da dinâmica né, mas ele ainda está procurando causas e há algumas passagens dele que nos primeiros escritos de mecânica, agora não lembro o título do primeiro grande, depois ele vai voltar no outro, tem um monte de escrito, mas dois, dois que são cruciais ao longo da própria carreira é.. ele tenta, como um cartesiano, procurar as causas das forças, até que em determinado momento, como o grande matemático que ele era, ele percebe: ‘bom mas eu não preciso saber a causa, não para fazer física, não para fazer matemática’ é:: aí começa a entender a ideia de *Hypotheses non fingo* de Newton, quer dizer, ‘ok, eu estou vendo essa ação sobre o corpo e a ação é a produção de uma aceleração, vou chamar isso de força né e eu não preciso, eu gostaria como filósofo, mas eu não preciso saber qual é a causa última dessa, então atribuo ao corpo vizinho, o corpo vizinho age sobre o meu e produz uma aceleração’, então o Euler também faz esse caminho e ele mesmo chega um momento que (...) quando ele chega a essa equação da dinâmica, ele já renunciou a causa da força, mas ele está operando quase como um newtoniano, com a diferença de que agora ele consegue estabelecer é:: de um outro modo, a vinculação entre a força e a massa do corpo, explicitando matematicamente a força como massa

vezes a aceleração, essa é fórmula de Euler que ele chama de segundo princípio da dinâmica ou o primeiro, agora não lembro bem, na dinâmica toda ele acha que é uma lei nova né:: e muita gente, muita gente hoje estudando historicamente essa questão também acha que ele estava certo, quer dizer, não invalida, é claro, que a segunda lei de Newton é anunciada no seu modo geral, com uma variação temporal da quantidade de movimento e ela é, mas escrever  $F = ma$  para um engenheiro é fundamental né, pra estática, etc. É fundamental e isso foi feito pelo Euler, mas não mudou o conceito de força, é isso que é o ponto, quer dizer, ele tentou dar uma explicação que ele achou que faltava na do Newton, porque vindo de uma escola cartesiana e tal, as coisas não acontecem e se () então quem é que tá agindo, como é que é, qual é a causa final, mas ele entende que isso não é necessário para fazer a dinâmica não é necessário saber qual é a origem”.

### Compreensão da situação relatada na unidade 5

Ao se reportar a Euler, o Sujeito o situa em com contexto histórico favorável à filosofia cartesiana, tendo Descartes como referência e na sequência discute brevemente sobre as relações pessoais entre Euler, Bernoulli e Leibniz.

Em seu discurso, é explanado com clareza e eloquência que a formulação da equação  $F = ma$  é de autoria de Euler (e não de Newton, como comumente é apresentado na bibliografia em geral), que chegou a considerá-la como princípio fundamental da dinâmica. O entrevistado também discorre a respeito da tentativa de Euler – adepto a filosofia cartesiana – em entender as causas das forças, explicação essa que faltava em Newton. Contudo, de acordo com a fala do Sujeito, Euler, como um exímio matemático, abdicou de buscar essa compreensão e se dedicou a estudar as relações entre força e aceleração baseando-se nas ferramentas matemáticas disponíveis na sua época, propondo, então, a celebre expressão  $F = ma$ , fundamental para o estudo da dinâmica e estática.

### Unidade de significado 6

“Bom, eu agora não me lembro dos detalhes, mas é:: eu tenho escrito isso num texto de história da física, que eu queria saber né e é o meu capítulo de história da mecânica analítica né, eu vou lá e revisito alguns dos escritos de Euler, alguns em latim, outros em francês, eu fui me dedicar a isso é::, mas a questão aí é eu acho que, por isso, não é só porque eu sou ignorante pra te dar a resposta, é porque é uma pergunta muito específica que precisa ter a resposta com a junção de vários é:: momentos, então você me pergunta como ele chegou, bom é:: ele sabia do princípio, evidentemente ele conhecia a dinâmica newtoniana então o que ele faz: ele vai aplicar essa dinâmica, sistematicamente ao estudo do movimento e:: digamos assim da:: das consequências né, disso para o mundo material, agora para fazer isso, o objetivo dele era introduzir o cálculo de maneira:: completa, quer dizer então, introduzir a análise matemática para qual ele deu muitas contribuições no estudo, porque se você pensar é:: se você for olhar no detalhe, eu não quero ser impreciso aqui, mas é mais ou menos assim. Você pega os *Principia*, tá, estão lá as bases da dinâmica, indubitavelmente, mas a gente se esquece que precisa-, existe um trabalho de

colocar essa linguagem diferencial que a gente usa hoje na mecânica é:: na descrição de problemas específicos, então você tem é:: o Newton faz o primeiro livro do *Principia*, tem lá a base axiomática, depois ele vai para os meios materiais, sofre muito, sofre no sentido conceitual, não que ele fosse sofrer, quer dizer, então um trabalho insano pra entender como isso se aplica a um corpo rígido, tá, tem o conceito de força, mas () é uma partícula que eu tenho, digamos, na primeira parte, um ponto material, depois eu tenho dois objetos maciços em contato, colidindo, eu tenho esses objetos se movendo num meio resistente, como é que eu faço essa aplicação de força? O esclarecimento disso foi feito por Euler, e aí depois o Newton trata do problema em linhas gerais e trata de (), o próprio conceito de centro de massa, tudo isso, mas a dinâmica mesma do corpo rígido vai ser feito por Euler e companhia, ‘aí eu preciso colocar esse corpo em rotação no espaço, usando conservação de momento etc.’ e usando todo o poder matemático dessa física inaugurada por Newton, e é aí que a gente chama de mecânica analítica por causa da introdução, ele impregnou e o principal nome desse período, embora haja tantas outras pessoas, é o próprio Euler, né, ele impregnou essa mecânica na análise, ao longo da vida até 1865, quer dizer, você tem/ 1765 você tem uma sucessão, uma série de trabalhos dele onde isso vai sendo feito até chegar basicamente aos primórdios do cálculo variacional, aí você tem Lagrange e outras, outras pessoas, mas assim a.. passagem fundamental, a gente acha que foi o Newton que fez tudo mas, por exemplo, todos os teoremas sobre movimento de corpos rígidos que foram enunciados, foram feitos por Euler (...).”.

#### Compreensão da situação relatada na unidade 6

Quando solicitado que discorresse a respeito de como Euler chegou à formulação da equação  $F = ma$ , o interlocutor da pesquisa relata não se lembrar dos detalhes, visto que o percurso é longo, abrangente e complexo. Mas, em resumo, ele salienta que Euler tinha conhecimento da dinâmica newtoniana e a empregou sistematicamente ao estudo do movimento e seus desdobramentos, fazendo uso do refinamento de ferramentas matemáticas inerentes ao campo da mecânica analítica e do cálculo variacional.

O entrevistado também pontua a dificuldade encontrada por Newton em descrever a dinâmica de um corpo rígido em meios resistentes. Em vista dessa limitação, é sinalizado que a concepção de que Newton solucionou todos os impasses da dinâmica é substancialmente equivocada, uma vez que, nesse caso, por exemplo, foi Euler que, em conjunto com demais colaboradores, propôs os teoremas sobre o movimento de corpos rígidos.

#### Unidade de significado 7

“Num sentido último da palavra, a gente já comentou isso, é verdade né, porque como que você vai atribuir precisamente quem fez o quê? mas quando você quer um olhar panorâmico, é perfeitamente possível, mas se você diz ‘espera aí  $F = ma$  pra mim sempre foi a segunda lei de Newton’, sim, mas é uma forma de Euler de exprimir a segunda lei de Newton, e tem física aí no meio, não é-, quer dizer, que precisamos de um novo princípio talvez, mas nós precisamos distinguir do ponto de vista da escritura na linguagem matemática, um coisa da outra, são

sempre-, é a mesma dinâmica newtoniana; ninguém está reinventando, mas tem muito trabalho conceitual nessa/então a contribuição de () de gigante, olhá-la sob essa perspectiva né, então, sei lá, como eu sempre me encantei por essa, essa é uma questão pessoal né, por essa física matemática do século XVIII, que é uma coisa maravilhosa que foi feita na história da humanidade né, e é um esforço gigantesco, é você fala ‘poxa, um homem como o Euler, que não tinha dificuldade para entender nada, esse pessoal sofreu, como Newton sofreu e sofreu porque esses conceitos’ e até:: eu vejo o esforço dos meus colegas que trabalham com a história da física e que vão mexer nos conceitos e tal, vão tentar entender porque esses conceitos da mecânica, eles são realmente muito difíceis para um homem comum e até para homens incomuns como esses que esses que a gente citou, quer dizer, muita gente tangenciou, você pega, vai estudar a Idade Média, onde você considera, por exemplo homens como Santo Tomás de Aquino, () muitas questões religiosas, um pensador profundista, um dos homens mais capazes que o ocidente já produziu né, uma das mentes pensantes mais rapazes, ou pegue um árabe como Averróis ou Avicena, esses homens tinham um poder especulativo imenso, bom, eles.. tangenciavam o problema do movimento e chegavam perto, mas não conseguiam dar um passo porque precisava romper com uma certa tradição de pensamento Aristotélico, é verdade, mas precisava também de um passo abstrato, de uma coragem que talvez eles não tivessem, mas a coragem não é ‘coragem’:: coragem assim, um arroubo de pensamento né, que eles não estavam dispostos a dar, quer dizer, eu posso admitir um espaço porque a dinâmica para um filósofo da natureza, a dinâmica newtoniana e sobretudo a dinâmica de Euler colocada na forma grande da mecânica clássica, ela pressupõe um espaço infinito, homogêneo e isotrópico em todas as direções é:: nos quais o universo, nos quais o universo se constrói né, digamos assim, e identificar esse espaço da mente, da geometria, com o espaço do universo é um passo filosófico tremendo, quer dizer, eu posso conceber mentalmente isso, mas eu talvez eu não possa admitir metafisicamente, porque tenho que abrir mão do próprio sentido das coisas que eu estou tratando, né. E aí você vê em homens como o Newton, Huygens né, Huygens principalmente, que também é supervalorizado aí antes de Newton (...).”.

### Compreensão da situação relatada na unidade 7

Nesse fragmento extraído do discurso, o sujeito aparentemente concebe que a expressão  $F = ma$  desenvolvida por Euler refere-se à mesma proposição feita por Newton, nos *Principia*, e o que a diferencia é a linguagem – uma matemática, e a outra conceitual. Nessa perspectiva, a contribuição de Euler não se trata de algo inédito, mas sim complementar à de Newton, do ponto de vista matemático.

A concepção individualista e elitista da ciência é rompida, pois na sua fala é dada ênfase à dificuldade e o esforço de cientistas como Newton e Euler em tentarem compreender conceitos da mecânica, bem como sinaliza que outros estudiosos como São Tomás de Aquino, Averróis, Avicena e Huygens também tangenciaram a compreensão do movimento e suas causas. Percebe-se assim a existência de um esforço coletivo, de diferentes épocas em tentar explicar com consistência os movimentos dos corpos.

### Unidade de significado 8

“A dinâmica newtoniana à luz da análise foi feita por Euler, e isso prepara de maneira cabal, digamos assim, é só possível a dinâmica Lagrangeana e dinâmica hamiltoniana em cima dessa mecânica analítica, que é essa passagem, essa matematização, a matematização que a gente sempre fala: da matematização do real, é um tema que sempre me interessei, é verdade, eu leio sempre aquela frase do *Saggiatore* do Galileu que a natureza está escrita na linguagem objetiva, a gente adota aquilo como símbolo, é verdade (), todos os méritos a Galileu, aí vem Kepler, descobre irregularidades (), as leis de Kepler, aí vem Huygens com o conceito de força centrífuga, por exemplo, de Newton é o de Huygens e ele ficava bravo porque o Huygens chegou antes dele e o Huygens só não deu mais contribuições porque o Huygens era perfeccionista, não publicou o que deveria, é:: se ele fosse um físico hoje ele já desovava tudo, ele era muito cuidadoso e tal, então ele perdeu alguns, alguns primaz, aí vem Newton, mas na verdade a matemática que a gente usa nos cursos, até os elementares e tal, toda ela é euleriana, pra resumir a mecânica analítica numa pessoa, tem mais gente, mas ela é basicamente euleriana, então Euler sim, ele tá nesse mesmo grupo né, eu acho que Euler é um físico tão grande quanto Newton, é simples assim. Euler pega o bastão em Newton e entrega em Lagrange e Hamilton e esse trabalho é basicamente conduzido pelo Euler”.

### Compreensão da situação relatada na unidade 8

No excerto são dados os devidos créditos a Euler, pois assume-se que em decorrência do desenvolvimento da mecânica analítica, tendo Euler como o principal expoente, foram possíveis formulações posteriores – Lagrangeana e Hamiltoniana.

Na unidade de significado ainda são retomadas sucintamente as contribuições matemáticas e conceituais de Galileu, Kepler, Huygens e Newton. Por fim o sujeito conclui sua fala alegando enfaticamente que a matemática presente nos cursos de formação é basicamente euleriana. Desse modo, Euler constitui-se como um físico, tão promissor e importante quanto Newton.

### Unidade de significado 9

“(...) você é formado num ambiente mental, então por exemplo, uma coisa que o Huygens não consegue se desvencilhar com certa/, Descartes também o Euler, porque o Euler, quer dizer, esses homens eram filósofos naturais, quer dizer, eles eram formados na filosofia, não que existisse uma instancia chamada filosofia natural, mas eles achavam é:: natural, desculpe a redundância, fazer matemática e filosofia. Então, os conceitos de causa, por exemplo, que é:: de ação é:: do sujeito, esses conceitos vêm todos da filosofia, então eles fazem ciência num sistema filosófico que a gente não faz hoje, quer dizer, a gente tem sempre um arcabouço filosófico, mas por exemplo, a física como ela é feita hoje, ela é um empreendimento, uma fábrica coletiva mercantilista, as pessoas não se dão conta, alguns sim, mas a maioria são operários de uma engrenagem e não é nenhuma crítica, isso é um dado, quer dizer, isso é, você se forma operando e continua operando, mas você sabia que esse conceito aqui tem



uma controvérsia de 400 anos? Não, não sabia, não me interessa porque eu consigo operar, eu vou no laboratório meço e tal e depois eu construo um dispositivo e ele tá funcionando, eu quando eu falo/ eu vou voltar para a questão tá, -eu me perdi-, quando eu falo para os meus alunos que isso aqui [controle do ar condicionado], por exemplo, um display de cristal líquido mais simples, se eu te disser que as teorias que baseiam, me dediquei a isso nos últimos 30 anos, (...) toda a base conceitual que permite o funcionamento do display, assim como da tela do seu celular é baseada numa teoria fenomenológica que prevê a existência de constantes elásticas para um material como o cristal líquido que é um líquido, se você a noite as 3h da manhã acorda com pesadelo, você fala, meu Deus mas como é possível colocar constante elástica no líquido, isso é arte, é arte, só que como é feita dentro da linguagem científica reprodutiva, então no sentido pleno, não é arte, mas é mais imaginação do que realidade, mas as pessoas não precisam pensar nisso, um engenheiro da Apple não precisa pensar nisso, os engenheiros da Apple não estão preocupados se a teoria elástica é uma criação artística muito mais do que matemática, porque ela funciona, então aí é claro que nessa perspectiva da forma como a ciência vem empregada maciçamente na técnica, essa sua preocupação com a origem do conceito não digo irrelevante, mas:”.

### Compreensão da situação relatada na unidade 9

O sujeito de pesquisa explica que os cientistas, como Descartes, Huygens e Euler, estavam imersos em um contexto filosófico que difere substancialmente do atual. O arcabouço filosófico que subsidia o trabalho científico não está mais pautado essencialmente em encontrar as causas para os fenômenos observados. De acordo com o entrevistado, a física é percebida, nos dias de hoje, como uma fábrica coletiva mercantilista, em que conscientemente ou não, os personagens são operários de uma engrenagem, desenvolvendo suas atividades operacionalmente sem se importarem em compreender os eventuais conflitos teóricos, pois o que interessa é a manipulação experimental em laboratórios a fim de construir dispositivos funcionais à população.

Em síntese, o interlocutor alega que da forma como a ciência vem sendo empregada maciçamente na técnica a preocupação em compreender a origem dos conceitos é terceirizada. Contudo, em seu discurso é possível identificar que sua crença na ciência vai de encontro a essa perspectiva aplicacionista, pois ainda o encanta o entendimento de como os conceitos foram construídos e de como se dá o funcionamento de artefatos tecnológicos que estão presentes no cotidiano.

### **Sujeito 4 da Pesquisa**

#### Unidade de significado 1

“(...) eu sempre sigo os livros básicos né, por exemplo, eu sempre adotei em Física I o livro do Tipler, então ele traz lá a:: o conceito de força baseado nas três leis de Newton, né. Então, ele sempre traz dessa maneira e dessa maneira que eu também abordo, seguindo a metodologia do livro”.

### Compreensão da situação relatada na unidade 1

O sujeito de pesquisa ministra suas aulas baseando-se essencialmente nos livros científicos, em especial o de autoria do Tipler. O conceito de força é, portanto, abordado da mesma maneira em que está disposta no referido manual, ou seja, apoiado à três leis de Newton.

### Unidade de significado 2

“Bom, eu sigo a sequência exatamente igual à do livro assim. É uma aula que, é uma aula padrão, é aquelas aulas que não têm nada extra assim. Eu dou uma aula só no quadro mesmo, também não uso slide e a gente segue sempre pela primeira lei né, aí a primeira lei é da lei da inércia e depois discute a segunda lei e aí explica porque que existe essa primeira lei, sendo que a segunda daria conta da primeira lei, aí é pelo fato de definição de referencial inercial e depois, depois discute a terceira lei, ação e reação. E depois faz um monte de exercícios, problemas, tenta resolver problemas com os alunos relacionados com essa, com essa metodologia aí, com esses, esses conceitos que eles têm né”.

### Compreensão da situação relatada na unidade 2

Quando solicitado para discorrer a respeito da sequência adotada pelo livro, o interlocutor explica que inicialmente é abordada a lei da inércia, subsequentemente a segunda lei de Newton, vinculada à elucidação do referencial inercial e, posteriormente, a terceira lei – ação e reação. O sujeito também comenta que a sua aula segue padrões tracionais, sem o auxílio de recursos didáticos (com exceção do livro e do quadro-negro), pautado na explanação teórica, seguida de resoluções de exercícios sobre a tema discutido.

### Unidade de significado 3

“(...) eu acho, na verdade, que eles já vêm com uma concepção do que é força. Eu acho que, desde criança a gente aprende essa concepção do que é força, só que, eu não sei exatamente se a gente sabe esse conceito de maneira correta ou não. Mas eu acho que intuitivamente eles têm esse conceito na cabeça”.

### Compreensão da situação relatada na unidade 3

Para o entrevistado o conceito de força é algo intuitivo para os estudantes, uma vez que, desde a infância eles aprendem sobre essa concepção. Contudo, o sujeito não soube precisar se o conceito de intuitivo de força é coerente ou não.

#### Unidade de significado 4

“Ah aí é um problema que eu acho assim... eu acho que ele é tão importante como qualquer outro conceito de Física, né. Então:: estudar força ou:: deixar de estudar você deixa de aprender uma série de outras coisas, né. Assim, se você deixar de aprender o conceito de energia você vai deixar de aprender uma série de outras coisas. Então assim, eu vejo que é importante, mas não é:: a mais importante, tem outras coisas que são tão importantes quanto. Por exemplo... como o..., o conceito de energia por exemplo né. Se você não estudar energia é um conceito de Física que é tão abstrato quanto o conceito de força e tão difícil de abordar também e tão importante quanto”.

#### Compreensão da situação relatada na unidade 4

Na perspectiva do interlocutor, a importância do conceito de força encontra-se no mesmo patamar que outros conceitos também abstratos – como o conceito de energia. Ao deixar de aprender sobre o conceito de força, invariavelmente o discente deixará de entender uma série de outras coisas, não especificadas. Situação essa que se iguala ao conceito de energia.

#### Unidade de significado 5

“Ah... eu não faço ideia assim, eu acho que aí você fala mais no sentido epistemológico?  
Eu acho que a noção do conceito é o de movimentar coisas assim né, o quanto de:: força necessário para um objeto mudar seu estado de movimento. Eu acho que surgiu nesse aspecto assim né. Você vê que a pessoa ela, ela precisava fazer uma certa atividade e essa atividade demandava uma certa força que ela teria que ter para fazer. Então, eu acho que tá nesse conceito aí”.

#### Compreensão da situação relatada na unidade 5

A construção do conceito de força é concebida como sendo decorrente da necessidade de entender o movimento das coisas, ou seja, quando era preciso realizar uma atividade, esta demandava de um certo ente para movimentar o objeto que se pretendia que ficou conhecido como força.

#### Unidade de significado 6

“Bom, eu falo pra eles que têm quatro forças fundamentais, de acordo com livros que a gente adota né, são a força forte, a força fraca, a eletromagnética e a gravitacional. Todas as outras forças que você diz, por exemplo, força

de atrito são todas forças que são derivadas dessas quatro forças. Então eu tenho que dar uma pincelada pra elas nessas quatro forças né. É difícil falar sobre as forças é:: forte e fraca, mas é são mais abstratas. Mas, a gravitacional e a eletromagnética eles tem mais o contato assim do::, desde antes de entrar na faculdade, então fica mais fácil um pouco de abordar”.

### Compreensão da situação relatada na unidade 6

Ao versar sobre os tipos de força, o sujeito esclarece que ao ministrar suas aulas discute as quatro forças fundamentais – forte, fraca, eletromagnética e gravitacional – e as suas derivações, segundo a ordem contida nos livros adotados. Na percepção do mesmo, os estudantes têm mais dificuldades em assimilar a ideia de força forte e fraca, por ser mais abstrato, já a noção de força gravitacional e eletromagnética é mais tangível, visto que, os discentes já tiveram contato com essas concepções em momentos anteriores à formação inicial.

### Sujeito 5 da Pesquisa

#### Unidade de significado 1

“Depois de muitas vezes ficando olhando pra esse tipo de coisa e tentando usar um argumento unificado, eu tento falar que força é o efeito do resto do universo sobre uma partícula. O que que eu quero dizer é assim, eu considero uma partícula, olhando pra uma partícula, ‘o que que é força?’ É o efeito do resto do universo sobre a partícula. Esse efeito aí ele é definido meio quantitativo né, aí se for definido dinâmico né, é:: massa vezes aceleração igual a força ( $F = ma$ ). Então, quer dizer, só fica definido quando escreve a expressão matemática, né, se a massa for constante como eu disse é massa vezes aceleração igual a força e qualitativamente representa o efeito do resto do universo sobre a partícula, do ponto de vista do movimento dela né, é só isso”.

#### Compreensão da situação relatada na unidade 1

Para conceituar força, o sujeito da investigação faz uso de um argumento unificado, no qual, a mesma é concebida como o efeito do resto do universo sobre uma partícula. Sendo este efeito definido quantitativamente e dinamicamente pela expressão matemática  $F = ma$ .

#### Unidade de significado 2

“(…) qualquer sistema quando a gente vai estudar o conhecimento máximo que a gente tem sobre ele em geral é dizer sobre a dinâmica detalhada do sistema, então, quando tem um conjunto de partículas, do ponto de vista macroscópico, a importância de falar do conceito de força é fornecer a dinâmica do sistema não é, as equações que

regem a dinâmica, então essa é a relevância né, a relevância pra saber como que descreve das partículas, do sistema de partículas”.

### Compreensão da situação relatada na unidade 2

Segundo o interlocutor, o máximo de conhecimento que se pode ter acerca de um sistema qualquer refere-se a sua dinâmica. Imerso a esse contexto, o conceito de força é percebido como importante na medida em que é capaz de fornecer a dinâmica de um conjunto de partículas e as equações que a regem.

### Unidade de significado 3

“(...) quando a massa é constante massa vezes aceleração, massa de uma partícula vezes a aceleração da partícula igual a força ( $F = ma$ ) que atua sobre a partícula, aí se tiver várias partículas, esta equação para cada uma das partículas, esta força eventualmente -ou na maioria dos casos-, eventualmente envolve a interação/o efeito do resto do universo sobre a partícula pode envolver o efeito das outras partículas sobre uma particular e vice-versa”.

### Compreensão da situação relatada na unidade 3

Ao solicitar que o sujeito discorresse mais a respeito das equações que regem a dinâmica de um sistema de partículas, o mesmo repetiu a expressão que já havia mencionado na sentença anterior, ou seja, se a massa é constante, a formulação matemática empregada é  $F = ma$  e, se caso tiver várias partículas, deve-se aplica-la à todas.

### Unidade de significado 4

“Uma boa pergunta... É porque o conceito, aí tem duas maneiras, né, que, por exemplo, os livros textos trazem que eu vejo a maioria: tem uns que vão direto para a dinâmica, por exemplo, o livro do Halliday vai direto para a dinâmica, mas tem outros livros que vão primeiro pra estática, né, vai para o conceito de estática e aí na estática o que que substitui a segunda de Newton é só jogar a aceleração igual a zero, a força total, ou seja a força resultante é igual a zero né. Agora, se você me perguntar assim, ‘esqueça como que os livros apresentam isso’ né, ‘que a grande pergunta é qual...’ Aí eu volto lá, o que que eu disse antes: o efeito do resto do universo. Eu acredito que Newton pensou mais ou menos desse jeito, independente se usa massa constante ou não, derivada do momento igual à força, ele pensou assim -eu imagino que ele tenha pensado assim-, se escreveu ou não é outro problema, é que ‘o que que faz o movimento do sistema, provoca o movimento do sistema?’ Esse ente abstrato chamado força. Então eu acho que ele fez mais ou menos por aí, pensando o que que provocou, o que que provoca o movimento no sistema, () movimento, qualquer coisa. Então eu imagino que é assim. Agora, como que as pessoas escrevem ou não escrevem, né, essa expressão, falo, por exemplo eu já vi pegando vários desses livros de assuntos de temas introdutórios de física né, pra ver o que eles falam que é força, é quase uma enrolação, é muito difícil ver o que

eles falam lá, assim alguma coisa assim bem clara, por isso que eu disse pra você que a maneira mais simples e mais imediata é:: ela está relacionada intimamente com o resto do universo sobre a partícula, quando se considera uma partícula para olhar, aí é uma visão toda dinâmica né”.

#### Compreensão da situação relatada na unidade 4

Ao versar sobre a construção do conceito de força, o entrevistado menciona a existência de duas vertentes, a primeira delas é encontrada nos livros, como por exemplo no do Halliday, em que é apresentado logo de início a dinâmica dos corpos. Porém, na sua fala ainda é feita alusão aos livros que discutem primeiramente a estática, para depois se reportarem a dinâmica. Contudo, aparentemente houve uma confusão, nesse primeiro momento, na resposta dada pelo sujeito, pois foi questionado como se deu a construção do conceito de força e não como os livros o abordam.

Na sequência do seu discurso, é discutido como Newton provavelmente pensou sobre o conceito de força. De acordo com a sua convicção, Newton passou a indagar-se sobre o que provoca o movimento do sistema e após refletir acerca disso concluiu que o ente abstrato que fornecia o movimento era denominado força. Tal concepção vai ao encontro da ideia de força impressa defendida por Newton, em que a mesma é responsável pela modificação do estado de repouso ou de movimento uniforme de um corpo (JAMMER, 2011, p. 158-159).

#### Unidade de Significado 5

“Demorou muito tempo para ficar intuitivo pra mim (risos). Essas coisas de intuitivo eu acho meio curioso, o que que é intuitivo ou não, eu acredito que o conceito de força tem um alto conteúdo de intuitivo, mas quando mexe com física, deve ficar quantitativo entre a intuição e a definição quantitativa tem uma distância fabulosa, assim por exemplo, é, vou dar exemplo pra você. Vários povos indígenas, separados uns dos outros, eles têm uma noção sobre as constelações e muitas vezes, grande parte das constelações são idênticas, mesmo não conhecendo um ou outro, então por exemplo, hoje um monte de pessoas ficam falando de terra plana né, eu acho que a ideia de terra plana é um dos primeiros conceitos que as pessoas pensam, e o conceito de força é, em certo grau, aí depende muito de como que foi o meio que a pessoa está imersa, né? mas o conceito de força é, em certo grau, intuitivo, mas se você pensa, por exemplo, lá que os gregos ficaram um tempo imenso sem ter uma definição mais clara do que é força, você fala ‘é, não é tão intuitivo né?’, entendeu? Então é uma situação, assim, muito curiosa, o que que é intuitivo ou não”.

#### Compreensão da situação relatada na unidade 5

A questão de um conceito ser intuitivo ou não desperta o interesse e a curiosidade do sujeito da pesquisa, pois está diretamente relacionado ao contexto social no qual o indivíduo encontra-se situado, ou seja, para as pessoas que estão habituadas a ouvir ou a observar situações em que o conceito de força se faz presente, este torna-se altamente intuitivo. Contudo, para civilizações onde a ideia de força permanecia em meio às sombras, a sua compreensão não era intuitiva.

### Unidade de significado 6

“Eu acho que, diferentemente dos gregos, eu acho que é muito mais intuitivo, é que, é que:: o conceito/ uma coisa é:: que eu quero falar sobre intuição e costume, elas não são, no meu ponto de vista, elas não são separadas de maneira alguma, os alunos quando estão aprendendo, tem lá: o Ensino Médio, o Ensino Fundamental e tem a universidade. Vou falar, por exemplo, da universidade; eles já viram um tempo falando de força, então aquilo é um conceito, mesmo que não esteja tão perfeito, então assim...é um conceito bem comum pra eles, então quer dizer que é uma coisa que está relativamente próxima, mesmo que não se tenha clareza, e aí faz com que, o que eu quero dizer é assim; como eu disse pra você: intuição e familiaridade andam muito próximas, muito próximas, né? e então aí como eles já ouviram falar bastante sobre isso, né, falam o tempo inteiro, então em certo sentido essa familiaridade confunde um pouco com intuição, entende? Então, eu acho que pra grande parte dos alunos hoje e mesmo também a sociedade, é porque tem um monte de gente que trata força de maneira mais quantitativa, mas tem um monte de gente que não trata, mas mesmo os que não tratam, eles são bombardeados por pessoas que tratam de maneira mais quantitativa, então se você perguntar hoje assim para as pessoas que vivem aqui no nosso/ nessa cidade aqui eu acho que é bem... razoavelmente assim, em um grau bem grande, em um grau bem grande, acho que é intuitivo. Agora se pega uma pessoa que nunca usou, que não tem nem essa palavra, fica muito mais difícil, né. Eu acho, eu acho que o conceito de força hoje é em alto grau intuitivo, tem dificuldades, mas, por exemplo, comparado com povos bem mais antigos eu acho que:: aí é bem diferente, eu acho que eles eram bem menos intuitivos, com um grau maior de abstração”.

### Compreensão da situação relatada na unidade 6

Em relação aos estudantes, o interlocutor da investigação acredita que os mesmos possuem intuitivamente uma compreensão do conceito de força, diferentemente dos gregos, mesmo que não tão elaborado e preciso, uma vez que, desde o Ensino Fundamental e Médio foram apresentados a este constructo teórico. Desse modo, ao chegar no Ensino Superior, os discentes já estão familiarizados a uma abordagem conceitual e matemática, ainda que básica e deficitária.

Para reforçar seu ponto de vista, o sujeito aponta as similaridades entre intuição e costume, ambos andam muito próximos e as vezes até se confundem. Se o indivíduo ou

sociedade estão habituados ao conceito de força e suas implicações, pode-se dizer que este torna-se altamente intuitivo para este público. Já as pessoas que não tiveram a oportunidade de estudar o conceito de força ou nem sequer empregaram esse termo em suas rotinas diárias, provavelmente não terão uma intuição a priori sobre esse conceito.

### Unidade de significado 7

“Ihh... eu não sei praticamente nada:: por exemplo, o que que eu sinto disso, por exemplo é.. em particular () por exemplo: eu quero falar o que que eu acho que Newton pensou pra você entender. É:: como que Newton fala da lei, por exemplo, quais são as forças possíveis que podem agir sobre um objeto, né? Porque, quando Newton fala da segunda lei, ele tem que falar dos possíveis tipos de força. É:: pra mim Newton quase foi maquiavélico, né, ele pegou os movimentos conhecidos e introduziu, pensou na segunda lei, nas leis pra reproduzir os movimentos conhecidos, por exemplo, a força gravitacional, da gravitação de Newton, eu acho que foi fortemente baseado na estrutura matemática para reproduzir o movimento elíptico, tem problema de queda livre, então essas coisas devem ter norteado Newton em alta proporção, é.. aí o conceito de equilíbrio também, balança de prato né, coisas assim, então que já é do ponto de vista da estática, não do ponto de vista da dinâmica, mas aí com um pouco de raciocínio, vai da dinâmica para a estática razoavelmente. Agora, as pessoas mais antigamente, bem mais/por exemplo, quando era mais difícil de fazer experimentos, as pessoas não olhavam muito para o experimento, queria usar um argumento né, eu acho que era muito difícil imaginar o que que é força, eu acho que é... eu vejo, assim, com um grau de dificuldade, eu acho que a intuição que hoje as pessoas têm aí na rua porque acostumou com a linguagem (...). Então, por exemplo, eu não sei se grande parte das pessoas pensavam por exemplo que o peso de alguma coisa fosse uma força, mas o que ele faz isso a gente dá o nome relacionado a esforço era força, entendeu? Então, tem um salto conceitual imaginar que o peso seria um força um tanto quanto é/o que a gente faz pra segurar o corpo por exemplo pra não cair, então, quer dizer, eu acho que tinha uma dificuldade razoável, inclusive já que você está falando de força, mas falando pra qualquer coisa, por exemplo: você olha a ciência, ela evolui, agora ela-, assim, em partes, em um ritmo muito mais rápido que antigamente, né, isto aí é justamente uma medida da dificuldade de formular conceito porque, por exemplo, até aparecerem as leis de Newton né, 1700... -sei lá-, anos mais ou menos, depois de Cristo né, imaginar as leis de Newton, depois de Newton a física, se falar, aumentou () o número de pessoas pesquisando, mas eu não sei se aumentou, se é por causa desse aumento, mas por exemplo, mais recentemente vários outros ramos da física vêm crescendo num ritmo fabuloso e pra formulá-la desde Newton foi uma infinidade de tempo, então por mais que eu queira dizer que o conceito de força pode ter um grau de intuição né, mas é um grau de intuição combinado com outras coisas, não é só o conceito de força, várias coisas tinham que combinar né, por exemplo, a terceira lei de Newton, basicamente ela fala que um monte de coisa, é... força, por exemplo, é:: um objeto tá querendo cair e você segura né, por exemplo, contrabalancear a força peso, né? o efeito da força peso com o que que você faz, tá meio relacionado com a terceira lei de Newton, então, quer dizer: provavelmente essa junção aí, né, o que eu quero dizer é assim: a terceira lei de Newton pressupõe conceitualmente outra né, mas que a gente no costume diário não imaginasse a outra, só imaginava bem uma coisa da gente fazendo né, por exemplo pessoa fala assim ‘eu trabalhei bastante hoje, trabalhei, tive que fazer muita força’, estou supondo que as pessoas em qualquer época usavam palavras parecidas com a gente né, ‘fiz bastante força’ né, ele nunca iria comparar esse esforço fabuloso dele né com uma coisa inerte, que nem a força peso né,



você falou, tem lá (), -quero dizer, eu acho- então eu quero dizer pra você né, esse rompimento histórico aí, até chegar às leis de Newton, mostra que tem uma coisa que não é sutil assim, né? e o esforço que a gente imagina que as pessoas naquelas épocas eram mais ou menos parecidas com as de hoje né, não eram mais inteligentes, nem menos do que de hoje, então parece que depois que chegou a uma certa noção conceitual ,ou melhor, não sei o que, aí facilitou/vamos voltar a palavra da intuição né, parece que aumentou, facilitou a intuição das pessoas, deu um guia pra intuição das pessoas, né, e antes eu acho que esse guia era muito mais tênue né? mais ou menos assim”.

### Compreensão da situação relatada na unidade 7

Ao perguntar se o sujeito poderia dissertar mais sobre como os pensadores antigos entendiam o conceito de força, o mesmo mostrou-se estar um pouco desconfortável, pois alegou não saber praticamente nada a esse respeito. Na sua concepção, Newton foi estratégico ao observar os movimentos conhecidos e pensar em uma ou mais leis para reproduzi-los. Nessa conjuntura, a formulação da gravitação de Newton foi baseada na estrutura matemática para reproduzir o movimento elíptico dos corpos. Outras contribuições inerentes à queda livre, a balança de pratos e ao equilíbrio também favorecem os estudos de Newton de acordo com o discurso supracitado.

Ao se reportar aos filósofos anteriores a Newton, o sujeito defende que os mesmos tinham dificuldades em realizar experimentos e, portanto, faziam uso de argumentos. Em relação ao conceito de força, havia uma dificuldade imensa em entendê-lo, visto que não era intuitivo, como já mencionado. Nessa perspectiva, improvavelmente os povos antigos iriam supor que o peso de alguma coisa consistiria em uma força de atração entre a Terra e este objeto.

Ainda segundo a sua concepção, a ciência evolui em um ritmo acelerado quando comparado ao período histórico que antecedeu Newton, devido à dificuldade de formular conceitos e ideias intuitivas que corroborariam para a construção de conhecimentos científicos. Pelo discurso do sujeito é possível apreender que ele considera que, até serem divulgadas as contribuições de Newton, por meio de suas leis, pouco havia se produzido em termos de conceitos inerentes à dinâmica das partículas ou de um sistema de partículas. Contudo, o mesmo alega que os esforços empreendidos pelas pessoas que viviam em contextos históricos diferentes dos dias atuais são muitos semelhantes, o que os diferencia não é a inteligência, mas sim a familiaridade com termos e circunstâncias que fomentaram a intuição dos indivíduos.

### Unidade de significado 8

“(…) normalmente eu chamo atenção pros alunos é que demorou muito pra aparecer o conceito de força, então várias (), porque as três leis de Newton tiveram que ser juntadas né, muita gente não fala muito da terceira lei né, mas ela é essencial quando se pensa em força. Vários livros-texto não ficam falando tanto, ficam falando como uma propriedade, mas na hora de formular e juntar tudo é muito importante a terceira lei. Mas então, voltando lá, naquela época foi trabalhoso, foi difícil, vou fazer um trocadilho: teve que fazer muita força pra chegar ao conceito de força. Parece que depois que teve algum conceito, assim, com uma clareza com Newton, parece que já estava mais direcionado e que foram muito mais fáceis outros desenvolvimentos, e hoje a gente consegue resumir de alguma forma o conceito de força que foi aquele que eu comecei a conversa, em algum sentido, ele representa o efeito do resto do universo sobre uma partícula para um ponto de vista dinâmico, e aí depois () porque é difícil né, porque é uma lei, é uma lei né, ela não sai de graça”.

### Compreensão da situação relatada na unidade 8

Conforme a fala do Sujeito, até a publicação das leis de Newton – em especial a terceira lei referente a ação e reação (apesar de não ser muito difundida nos livros-texto) – houve uma considerável demora em definir com precisão o conceito de força como se conhece atualmente. Após a síntese newtoniana, este cenário mudou, pois na concepção do entrevistado, as contribuições de Newton lançaram luz sobre desenvolvimentos científicos posteriores.

### Unidade de significado 9

“(…) ele [o conceito de força] vai ficar bagunçado na existência da força mesmo, a força como a gente define, porque quando a gente vai para um mundo atômico, normalmente a equação que a gente escreve são as equações da mecânica quântica, e lá fica muito mais difícil escrever o que que é força, normalmente as pessoas usam as equações de Schrodinger, mas poderia usar as equações de Heisenberg, que dá o análogo lá da massa vezes aceleração que dá uma força, né. Mas lá, por exemplo, fica difícil até imaginar o que que é posição, aqueles problemas de comutatividade, né, se eu posso falar de força independente de outra grandeza e não posso medir a força simultaneamente né, mas aí eu quero dizer que as pessoas pra estudar -não que não seja útil-, mas pra estudar é normalmente não fica falando de força, fala da energia potencial não é, a equação de Schrodinger fala sobre energia potencial, aí você fica pensando: ‘Meu Deus como funciona ainda o conceito de força?’ né, aí você fica pensando ‘será que o efeito do resto do universo é representado pela energia potencial?’ Só que aí, muitas vezes ela não é univocamente definida. (Silêncio)... Mas, ainda não acabou não, isso, então, quando a gente tem equação de Schrodinger, agora vamos supor que você tenha uma partícula elementar interagindo com outra, hoje, como a gente faz as coisas, a gente define uma teoria mais geral, por exemplo, se for interação de elétrons com elétrons, chamada eletrodinâmica quântica, lá pode colidir só carga conservável, mas podem sair elétrons, pósitron fóton né, a existência da partícula não é clara, você fala ‘interação’, antes eu falava que o efeito do resto do universo era a força, agora parece que pode ter um efeito que eu não compreendo quanto e desaparece a partícula, aonde foi a força? O que a força atua em algum lugar, né, você pensa: ‘Ai meu Deus!’ É, fica perdido, sentiu que fica perdido né, onde foi a força? Aí, mas lá se você falar ‘não mas, mas enquanto existe a força, enquanto existe a partícula...’

mas é uma teoria assim do jeito que formula hoje, uma teoria mais geral, e ela não formula, nem em termo de força, nem em termo de energia potencial, é um conjunto de equações que em determinadas circunstâncias quando você especifica para uma partícula interagindo com outra, aquela equação mais geral vai dar alguma característica de algo que parece um pouco com força, entende como que fica complicado, né? então fica tudo assim, mais complicado, né, aí sobra no final da história é a questão de voltar lá àquela pra primeira coisa que eu disse é... dá uma equação, um conjunto de equações, quando eu falar uma equação, eu quero dizer que pode ser um conjunto de equações, então uma equação que rege a dinâmica do sistema e aí o que que é força, o que que não é força fica um pouco meio vago, entendeu? E o que que parece que ganha mais importância nisso tudo são as equações como um todo, né, e se a cada termo a gente estudar o nome ou dar um nome ser meio mais particular fica mais, fica mais sutil, entendeu como que é?”.

### Compreensão da situação relatada na unidade 9

Após versar sobre as objeções com as quais se depararam os predecessores de Newton, o interlocutor busca trazer elementos para demonstrar como o conceito de força, na mecânica quântica, passa a ser muito mais difuso e substituível pela noção de energia potencial, por exemplo. Nesse campo de conhecimento, é plausível fazer uso das equações de Schrodinger ou Heisenberg. Contudo, nesta última, devido aos problemas de simultaneidade, fica mais complicado descrever as posições das partículas ou as relações de dependência entre elas.

Ao se valer das formulações de Schrodinger, supõe-se a presença de interações entre partículas, considerando-as como elétrons, a teoria que os rege denomina-se eletrodinâmica quântica, e na colisão dessas partículas pode-se dar origem a outras ainda mais fundamentais. Desse modo, esse aparente desaparecimento da partícula originária provoca um estranhamento no sentido de questionar a existência da força ou a maneira como ela possa estar atuando.

A explicação feita pelo sujeito se deu de modo espontâneo e entusiasmado. Suas asserções reportaram-se para a ideia que teorias que tratam do contexto subatômico não foram formuladas em termos de força ou de energia potencial, mas sim empreenderam esforços para propor um conjunto de equações que possam descrever a dinâmica de um determinado sistema e nesse contexto a conceituação de força não se faz mais necessária, as atenções voltam-se para as formulações matemáticas como um todo.

### Unidade de significado 10

“Pensa, pensa que, ainda bem que tem a ignorância, a gente tem chance de pensar que vai descobrir alguma coisa. se tivesse acabado né, então voltando aquela coisa inicial lá do conceito de força, né; voltando ao conceito de força, você fala assim: ‘Meu Deus, o que que é o conceito de força?’, né? Aí eu volto a falar a primeira coisa que eu disse pra você: eu arrumei algumas coisas, algumas equações que dão a dinâmica do sistema, e ela representa

o efeito do resto do universo, se é simples ou complicado eu não sei né, mas ele representa o efeito do resto do universo, parece o mais unificador”.

#### Compreensão da situação relatada na unidade 10

Pode-se apreender que a concepção do sujeito vai de encontro a uma visão de ciência pronta e acabada. Para ele, a ignorância ou o desconhecimento é um aspecto positivo, pois suscita novas investigações referente à definição de força e suas implicações.

Com o objetivo de se esquivar de complicações conceituais, o entrevistado retoma a importância de embasar-se em equações que descrevem a dinâmica de um dado sistema que, em decorrência, vão representar o efeito do resto do universo, seja ele complexo ou não. Tal inferência possibilita valer-se de um constructo teórico mais unificador.

#### Unidade de significado 11

“(…) as leis de Newton, apesar de um monte de gente achar que é meio... em algum sentido um pouco mais intuitivo, mas não tem muita diferença do ponto de vista operacional de falar da equação de Schrodinger. O que eu quero dizer é simples: postula um, postula outro, né? e aí com o costume que a gente tem no dia-a-dia, vai juntando a intuição né (...)”.

#### Compreensão da situação relatada na unidade 11

Neste excerto é possível perceber que para o sujeito, as leis de Newton e a equação de Schrodinger não diferem muito do ponto de vista operacional, o que vai diferenciá-las quanto a ser mais fácil ou difícil será a ideia de intuição vinculada à familiaridade que as pessoas possuem em relação a ambas as abordagens.

#### Unidade de significado 12

“Eu não sei o que que um monte de gente fala de força não, mas eu acho de uma dificuldade fabulofantástica, então o que eu quero dizer é assim: em algum sentido representa o comportamento do resto do universo, imagina que eu não sei direito quem é F, mas imagino que interfere na aceleração e aí tenta ver o quão bem isso se ajusta com a natureza, entendeu? Moral da história, jogue fora o conceito de força, quase jogue fora o conceito de força e fica mais operacional, você entendeu como que é difícil? Quer dizer, essa situação, mas eu falo isso mais ou menos pra eles que é um postulado né”.

#### Compreensão da situação relatada na unidade 12

Apesar de, em outras passagens, o sujeito inferir que o conceito de força é, em alto grau, intuitivo, dependendo do contexto histórico e científico. Nesse fragmento é considerado que o mesmo detém de um excepcional impasse conceitual. Desse modo, o interlocutor orienta sarcasticamente o abandono do conceito de força em prol de uma definição mais operacional.

### Unidade de significado 13

“(...) no dia que você for dar aula de... mecânica, você, depende da sua, do seu jeito didático, você vai matar os seus alunos por cansaço até eles aprenderem as leis de Newton ou senão, vou achar que não é um texto, um discurso escrito é falado, você usa as palavras... o resultado sensacional, o importantíssimo e aí assim, camufla a essência da discussão (risos)”.

### Compreensão da situação relatada na unidade 13

O sujeito aponta, com certa ironia, dois caminhos possíveis para ministrar aulas de mecânica, o primeiro diz respeito a um ensino (das leis de Newton) maçante e penoso, onde o aluno é levado à exaustão e o segundo refere-se a uma abordagem incipiente e sensacionalista, em que invoca-se uma pretensa certeza científica baseada em um nome famoso, como Newton, para, em suas palavras “camuflar a essência da discussão”.

### Unidade de significado 14

“Você sabe que os livros de mecânica quântica -eu não sei porque que eles não falam da mecânica, viu-, eles falam assim--, -tem um livro que eu não tô com ele aqui-, vários livros, é comum em vários livros autores falarem assim: ‘mecânica quântica a gente não entende, a gente acostuma’, né, então já que é assim, eu vou começar direto com a equação de movimento né, mas eu acho que as leis de Newton a gente também não entende tão fácil, a gente acostuma. E eu digo mais: por exemplo, as pessoas falam ‘a mecânica é intuitiva’, mas mecânica quântica não é. Por exemplo, vários movimentos da mecânica se perguntarem pra você e você pensar um pouquinho, você vai dizer qualitativamente como seriam os movimentos, mas é provavelmente que você tenha um monte de ficar olhando no dia-a-dia o que que acontece, você ficou estudando, mas só pra você ver como que a mecânica pode parecer intuitiva e pode acabar toda a intuição, aí você pega um corpo rígido, você já pegou aquela rodinha que você gira ‘assim’, por exemplo, pega aquilo e coloca na mão de uma criança ou de um aluno de física que ficou estudando corpo rígido, quando ele faz assim a força dá na outra direção né, dá o torque lá na outra direção, ele fica perplexo né, e a intuição toda que você achava que tinha de mecânica foi se embora”.

### Compreensão da situação relatada na unidade 14

O interlocutor relata que alguns autores de livros de mecânica quântica declaram que a mesma não é compreendida, apenas acostuma-se com ela. Contudo, tal afirmação poderia ser estendida para a mecânica e a dinâmica, pois segundo o sujeito, expor qualitativamente preceitos e movimentos destas áreas requer um estudo mais aprofundado, ou seja, a intuição não é suficiente para descrevê-los. Para exemplificar seu ponto de vista, é trazido para a discussão os movimentos de um corpo rígido.

#### Unidade de significado 15

“(...) a gente quando estuda um pouco mais de física, quer resgatar a física da vertente histórica, não é, pensando ingenuamente, -deixa eu falar mal aqui- pensando ingenuamente que aquilo vai fazer uma compreensão melhor, é ingênuo pensar isso, não faz, vou te dar um exemplo, suponha que você vai falar de alguma coisa de eletricidade e vai falar de eletrização por atrito com uma pessoa que nunca viu eletrização por atrito, você vai começar a falar de eletricidade, você fala ‘puxa, é isso é a primeira coisa que tenho que falar, né’, vou te dar um exemplo como que a aula fica muito mais dinâmica e muito mais legal (joga o celular sobre a mesa) (...)”.

#### Compreensão da situação relatada na unidade 15

Na concepção do sujeito, o resgate de aspectos históricos com o objetivo de promover uma melhor compreensão dos conceitos trata-se de uma atitude ingênua, uma vez que, há outros artifícios que corroboram para uma aula mais dinâmica e significativa, sendo desses elementos a contextualização, em que se busca explicar conhecimentos científicos por meio da explanação do funcionamento de aparelhos eletrônicos como o celular.

O discurso sinaliza que o uso da história da ciência não é um bom recurso didático a ser implementado nas aulas de física. Contudo, tal inferência vai de encontro aos pressupostos de Martins (1990, p. 4), que defende que a mesma pode ser utilizada para contribuir para a compreensão de um certo tema, como o conceito de força, pois “[...] geralmente, os resultados científicos atualmente aceitos são pouco intuitivos e óbvios, tendo resultado de uma longa evolução e discussão. O ensino dessa evolução facilita a compreensão dos resultados finais e de seu real significado”.

#### **Compreensão Ideográfica do Sujeito 1**

A compreensão de como se deu a construção dos conceitos de força se mostra de forma difusa e incipiente. Aristóteles é citado como sendo o precursor dos estudos sobre o movimento.

De fato, esse renomado filósofo empenhou-se para entender tal questão, tendo em vista que: “a natureza [physis] é princípio de movimento [kinesis] e de mudança [metabolé ]; e é a Natureza que estamos investigando, assim devemos entender o que é o movimento, pois se o movimento não é conhecido, a natureza [physis] não é conhecida (ARISTÓTELES, Física, III, 1, 200<sup>b</sup>, p. 12-15, tradução nossa).<sup>98</sup>

Os constructos teóricos propostos pelos antigos pensadores foram se desenvolvendo até alcançarem patamares mais coerentes e modernos, tendo como expoentes Galileu e Newton. Contudo, nesse percurso sinalizado pelo interlocutor, muitas contribuições científicas foram ocultadas ou superestimadas, o que, com efeito, revela um possível desconhecimento acerca do desenvolvimento dos conceitos de força. A exemplo, Jammer (2011, p. 129) explica que justificadamente costuma-se conjecturar que Galileu lançou as bases da dinâmica clássica, porém, no que se refere ao conceito clássico de força, a contribuição galileana pode ser considerada complementar à de Kepler. Ademais é evidente que a síntese newtoniana é responsável por um importante legado no estudo da mecânica, embora não se possa inferir que se trata de um trabalho exclusivo e primordial, uma vez que seus predecessores, contemporâneos e sucessores também desempenharam significativos trabalhos nessa área.

Em determinado momento, o sujeito de pesquisa, apesar de revelar despreocupação com a abordagem do conteúdo científico, alega ser relevante a compreensão do conceito de força pelos estudantes, e um caminho profícuo para isso ocorrer refere-se à utilização da História da Física como um recurso didático no contexto escolar e acadêmico. Contudo, a implementação dessa abordagem está condicionada a uma série de variáveis, que segundo o entrevistado, dificultam e até mesmo a inviabilizam. As objeções constantemente levantadas dizem respeito a necessidade de ter tempo disponível para se aprofundar em leituras não deturpadas e pluralistas que abranjam a abordagem de concepções controversas.

Nesse sentido, frente ao desencorajamento e ao não-incentivo por parte do professor regente de disciplinas voltadas à área do ensino - Sujeito de pesquisa, provavelmente os licenciandos(as) não se sentirão seguros, orientados e motivados a desenvolverem atividades que contemplem a História da Física, seja em relação à construção do conceito de força ou à qualquer outro constructo teórico, tanto no âmbito do estágio supervisionado, quanto posteriormente no exercício da profissão docente.

---

<sup>98</sup> “Nature has been defined as a ‘principle of motion and a change’, and if it were unknown, the meaning of ‘nature’ too would be unknown” (ARISTÓTELES, Física, III, 1, 200<sup>b</sup>, p. 12-15).

## **Compreensão Ideográfica do Sujeito 2**

Com o advento das formulações matemáticas da mecânica clássica, tendo como principais contribuições os estudos de Lagrange, Hamilton e Jacobi, entre outros, o conceito de força revelou ser um esquema vazio, pois passou a ser substituído por um conceito de dependência funcional. Segundo Jammer (2011, p. 302) este tornou-se instrumental na construção do conceito de energia, ideia que contribuiu significativamente para uma concepção unificada dos fenômenos físicos.

Diante desse contexto, aparentemente o Sujeito de pesquisa se atém mais enfaticamente ao rebuscado formalismo matemático da mecânica clássica que, com efeito, permite ser aplicado no estudo de fenômenos físicos em sistemas mais complexos. O conceito de força é concebido como algo trivial de ser compreendido, tendo em vista que é intuitivo e está relacionado a um esforço físico ou a movimentação de corpos. Nessa perspectiva, a construção desse conceito possivelmente se deu naturalmente a partir da experiência humana diária, desde os tempos mais remotos.

## **Compreensão Ideográfica do Sujeito 3**

O Sujeito 3 da pesquisa demonstra em sua fala entusiasmo e um certo fascínio pelo saber, no que se refere aos conceitos de força, é perceptível o seu ávido interesse pelo tema e suas implicações. Seu discurso é fundamentado na sua experiência como professor de física e escritor de livros de divulgação científica.

Em relação à construção dos conceitos de força, ele afirma categoricamente que o percurso é longo e complexo. A busca por entender como se dá a interação entre os corpos norteou os estudos de muitos. Inicialmente a ideia de força era, em algum sentido, intuitiva, porém, no decorrer de sua evolução passou a ser confundido com outros conceitos, como momento e energia ou até mesmo com representações animísticas e de cunho religioso.

Ao versar sobre os filósofos e cientistas e suas respectivas contribuições para o desenvolvimento do conceito de força, o interlocutor, apesar de não os descrever individualmente em detalhes, demonstra ter domínio, pois disserta coerentemente e faz importantes contextualizações históricas e científicas. Seu recorte tem início ainda nos pré-socráticos, na sequência, Aristóteles, Filoponus, Avicena, Roger Bacon, Oresme, Buridan, Descartes, Kepler, Galileu, Newton, Leibniz, Christiaan Huygens, Euler, Lagrange, entre outros. Contudo, tais menções não adotam um caráter linear, pelo contrário, seguem direções



confusas e, por vezes, demonstra os equívocos e dificuldades encontradas no percurso. Ademais, vale ressaltar que o sujeito cita relevantes feitos de cientistas que são pouco reconhecidos no cenário acadêmico e nos livros de divulgação científicas, como por exemplo, Avicena, Averróis e Euler.

Na tentativa de desmistificar o conceito de força e situá-lo num contexto em que se pode defini-lo, operá-lo e comparar suas ações, o sujeito reporta-se a uma abordagem operacional,  $F = ma$ , em que a força é concebida como um agente físico responsável pela aceleração de um determinado corpo.

Ao aprofundar a sua discussão, é explicado minuciosamente que o conceito de força deixa de ocupar um papel central, como antes desempenhado na mecânica e na dinâmica, uma vez que, na mecânica clássica, na relatividade e na mecânica quântica a ideia de força é substituída por outros agentes, como energia potencial da mecânica quântica, que podem ser descritos por meio de equações que preveem o comportamento de partículas ou de um sistema de partículas.

No que diz respeito à construção dos conceitos de força no século XVIII, o Sujeito 3 foi o único que mencionou Euler e suas imprescindíveis contribuições para o desenvolvimento deste conceito e da própria mecânica analítica. Na sua concepção, Euler foi um físico tão importante e promissor quanto Newton. Especificamente, em relação à formulação da célebre equação  $F = ma$ , cuja autoria é de Euler, e não de Newton, o Sujeito entende que não se trata de um novo princípio da dinâmica, mas sim uma complementação formal ao trabalho de Newton, que carecia de um refinamento matemático não disponível em sua época. Há controvérsias quanto a este posicionamento, porém o entrevistado não as concebeu.

No discurso do interlocutor é perceptível que a ciência é entendida como uma atividade humana e coletiva, pois em diferentes momentos o mesmo evidencia as relações de cooperação entre os cientistas e as dificuldades conceituais e matemáticas, pelas quais passaram e no que se refere a Newton é sinalizado que ele não resolveu todas as objeções da dinâmica, como muitas vezes é anunciado, uma vez que deixou muitos problemas em aberto, como o caso dos corpos rígidos em meios resistentes.

#### **Compreensão ideográfica do Sujeito 4**

O Sujeito 4 da pesquisa, ao discorrer sobre suas percepções sobre os conceitos de força demonstra objetividade e uma dependência dos manuais didáticos. Sua prática de ensino, aparentemente limitada, segue os moldes tradicionais, em que o livro assume um papel principal

e norteador dos temas e do modo como estes assuntos serão trabalhados no âmbito acadêmico. Os conceitos de força são abordados conforme a mesma sequência apresentada no livro (Mecânica I - Tipler), 1ª lei de Newton, 2ª lei, definição de referencial inercial, 3ª lei e posteriormente a resolução de exercícios e problemas. A respeito da construção dos conceitos de força apenas é comentado que este provavelmente surgiu a partir do movimento dos corpos.

O conceito de força assume a mesma importância que outros conceitos, como energia, por exemplo. Porém, é entendido como mais intuitivo para os estudantes, tendo em vista que eles estão habituados a alteração de estado de movimento dos corpos.

### **Compreensão ideográfica do Sujeito 5**

Os conceitos de força despertaram o interesse do interlocutor 5, pois após um longo tempo de contemplação, ele passou a usar um argumento unificador, em que considera a força como sendo o efeito do resto do universo sobre uma partícula. Tal efeito pode ser definido quantitativamente por meio da equação  $F = ma$ . Contudo, de acordo com a sua fala, o máximo de conhecimento que se obter sobre um sistema é a descrição de sua dinâmica.

Em relação à construção dos conceitos de força, o sujeito reporta-se primeiramente à Newton e as suas leis. Ele sugere que Newton tenha refletido sobre o que poderia provocar o movimento dos corpos e a partir de então concluiu que o agente responsável seria a força. A respeito dos precedentes de Newton, o sujeito afirma não ter conhecimento, mas insinua que os mesmos tiveram muita dificuldade em imaginar o que era a força, tendo em vista que não era um conceito familiar e intuitivo.

Percebe-se, por meio do discurso, que a contribuição dos predecessores de Newton é desconhecida, apenas tem-se suposições de como tenha sido difícil pensar a respeito de um ente tão abstrato como a força em um contexto histórico desfavorável a uma concepção intuitiva. Para reforçar o seu ponto de vista, o sujeito considera que até a divulgação da síntese newtoniana, encontrada nos *Principia*, pouco havia sido produzido acerca na natureza da força, inferência esta que não procede, tendo em vista que o caminho havia sido iluminado por cientistas como Descartes e outros já mencionados.

O sujeito chama a atenção para um aspecto que merece reflexões. Para ele, os conceitos da mecânica, assim como os da mecânica quântica, são complexos e muitas vezes os estudantes se acostumam ao invés de compreendê-los. O que vai fazer com que se tornem mais assimiláveis ou mais “acomodáveis” é a familiaridade que os indivíduos terão ou não com tais definições.

Ao avançar na sua discussão, o interlocutor sinaliza que o conceito de força na mecânica quântica e na relatividade torna-se ainda mais confuso e, nesses casos, desnecessário, tendo em vista que podem ser facilmente substituídos por outros entes ainda mais abstratos. Nesse sentido, na sua perspectiva, é válido despojar-se da ideia de força e embasar-se essencialmente em formulações matemáticas que, com efeito, descrevem a dinâmica de um determinado sistema.

Ademais, vale destacar que no discurso no Sujeito 5 é perceptível que a história da ciência não é concebida como um recurso didático com reais potencialidades de propiciar uma enculturação científica e uma apropriação dos conhecimentos científicos pelos discentes pois, de acordo com suas palavras, tal abordagem trata-se de uma concepção ingênua.

A visão de ciência apresentada pelo Sujeito 5 mostra-se coerente, no sentido em que considera que a evolução dos conceitos de força não é linear, mas sim fruto de um laborioso esforço humano que é diretamente influenciável pelo o contexto histórico e científico que o cerceia. Outro aspecto a ser ressaltado refere-se à concepção de que, em relação à ciência, em particular aos conceitos de força, ainda há muito o que ser investigado.

#### 4.2.2 As convergências dos discursos dos sujeitos

Quadro 6 - As convergências dos discursos agrupados segundo as categorias encontradas

CATEGORIAS	CONVERGÊNCIAS				
	Sujeito 1	Sujeito 2	Sujeito 3	Sujeito 4	Sujeito 5
1ª Compreensão do conceito de força	U-3	U-1; U-2	U-1; U-2	U-1; U-5	U-1; U-3; U-8; U-10; U-12
2ª Construção do conceito de força	U-7; U-8	U-5	U-1; U-2; U-3; U-5; U-6; U-7; U-8; U-9	U-5	U-4; U-7
3ª Impotência do conceito de força	U-4	U-4	U-4	U-4	U-2
4ª Força como um conceito intuitivo	U-10	U-2; U-3; U-5	U-1	U-3	U-5; U-6; U-7; U-8; U-9
5ª O conceito de força nos livros didáticos	-	-	-	U-1; U-2	U-4; U-14
6ª A relativização do conceito de força	-	U-1	U-1	-	U-9; U-12
7ª Compreensão sobre a História da Ciência	U-5; U-6; U-8	-	U-7	-	U-7; U-8; U-10; U-13; U-15
8ª Ensino do conceito de força	U-1; U-2; U-9	-	U-2; U-1; U-8	U-2	U-6; U-8; U-13

Fonte: o autor (2019).

## 1ª Categoria: Compreensão do conceito de força

### Sujeito 1

**U-3** “Ah... basicamente força mecânica né...coisa de você empurrar, puxar, ter o básico para ele entender essa, essa relação da variação de velocidade com, com a existência de uma força, com uma resultante agindo sobre o corpo”.

### Sujeito 2

**U-1** “(...) o que você observa na natureza, que você tem dinâmica, os objetos se movimentam, eles não se movimentam por livre e espontânea vontade, tem que ter alguma coisa que induz esse movimento. Então para você descrever essa dinâmica, daí você usar várias formulações. Uma das formulações é você usar  $F = ma$ , daí você faz toda aquela descrição de quando você tem um desequilíbrio de força e isso automaticamente induz a uma aceleração no objeto. Essa é a descrição mais simples, né, mas depois você pode introduzir isso como um gradiente do potencial né, então se você coloca um corpo sujeito a uma diferença de potencial, esse corpo vai tender a ir para um região de menor potencial e isso equivale à força que ele sente né. Então daria para descrever talvez de uma maneira diferente, que nem eu falei, fazer uma descrição usando uma formulação newtoniana, onde você tem, o sistema newtoniano você tira as equações que vão descrever essa dinâmica via equação de Hamilton - Jacob ou () Lagrangiana, onde você tiraria a dinâmica via equação de () Lagrange, sem necessariamente escrever  $F = ma$ . () o que se precisa é, dada a dinâmica, você descrever a evolução, como que ocorre essa evolução, de uma forma precisa. Mas, sempre lembrando que tanto a formulação newtoniana  $F = ma$  ou lagrangeana-newtoniana vai levar a mesma equação que vai descrever a dinâmica daquele corpo lá, isso é independente. São maneiras diferentes de formular um efeito físico, você observa um objeto que está em movimento e você pode matematicamente descrever de forma () diferente”.

**U-2** “O conceito de força, ele é mais-, falar explicitamente em força é mais simples porque é uma coisa mais usual no dia-a-dia. A pessoa, mesmo sem conhecimento nenhum, significa o que é fazer força sobre um objeto, empurrar um objeto. Então, aparentemente fica mais simples para você tratar talvez a nível de segundo grau ou talvez pessoas que não tenham conhecimento matemático mais elaborado, mas quando você joga para a formulação matemática  $F = ma$  no fundo vai gerar uma equação diferencial que descreve a dinâmica e essa mesma equação é ser obtida por outros métodos”.

### Sujeito 3

**U-1** “Bom, o conceito de força, você sabe que é um conceito que tem uma longa história né, uma longa evolução conceitual, se a gente quiser, a gente começa é:: desde a física Aristotélica né, em que a força era um ingrediente necessário para manter o movimento, é:: normalmente, nas vezes em que eu tenho a chance de falar sobre isso e

no curso de história da física a gente discute muito a evolução deste conceito, a ideia é passar, mostrar antes de mais nada de que se trata de um conceito intuitivo em algum, algum sentido, que depois foi sendo elaborado, né, ao longo da história, foi confundido muitas vezes com o conceito de *vis*, foi confundido muitas vezes com momento, com força mesmo, com energia né. Então quando eu estou ensinando eu começo com uma linguagem um pouco mais enxuta, operacional, quer dizer se você pega como exemplo a: lei da dinâmica fundamental  $F = ma$ , eu procuro enfatizar que a força é um agente físico responsável por aquele  $a$  que está ali, então eu detecto o  $a$  e atribuo a vizinhança do meu corpo a ação né, é... de um agente físico que promove essa aceleração. Mas, depois é::, naturalmente eu caminho em direção ao conceito de campo, pra falar, porque surge naturalmente no contexto, mesmo quando você ensina em mecânica ou quando está dando aula de física quântica e que esse conceito, ele muda completamente, quer dizer, a tendência da física moderna –moderníssima- é que o conceito de força se evapore, porque na relatividade/ a palavra é muito forte ‘evaporar’, ele não é mais necessário nos moldes antigos porque você, por exemplo, a interação a distância da:: digamos, da gravitação da física newtoniana em primeiro lugar é substituída pela ação dos campos na eletrodinâmica e em seguida pelas deformações do espaço tempo na.. relatividade e na física quântica o conceito de força só pode ser olhado por uma analogia semi-clássica, a partir do teorema de Ehrenfest, porque a força clássica newtoniana, ela é aplicada num ponto do corpo e o princípio da incerteza na mecânica quântica não permite essa definição de maneira, né, então você vai para uma descrição de potencial né, e aí adquire um significado mais profundo a::/ o ambiente do corpo né, então, é uma resposta longa, mas num primeiro momento eu acho conveniente fazer uma definição de força quase que operacional para, pra você introduzir, discuti-la em conexão com o conceito de massa, e tal, tirar as representações anímicas, né, força muscular, etc., pro aluno entender que agora nós estamos falando é:: de um agente físico que atua no sentido de mudar o estado de movimento do corpo”.

**U-2** “Então, mas a história, ela é longa e ela é complicada, porque num primeiro momento, por exemplo, vamos começar com Aristóteles, né; vamos pegar um grande tratado -a gente poderia fazer isso até antes né, nos pré-socráticos-, então, mas a coisa não é:: é muito, é muito difícil reconhecer é:: e é perigoso a gente é:: perigoso do ponto de vista metodológico né, você colocar sua cabeça moderna ou pós-moderna lendo esses escritos, agora em Aristóteles, né. Nos livros de física e sobretudo no livro de física mesmo é:: existe um conceito de força que não é o nosso, evidentemente, mas é um esforço pra associá-la ao movimento do corpo, mas ali a força e o movimento do corpo estão implicados, né, então a evolução desse conceito, ela parte de algo que é inerente ao próprio corpo como se o corpo estivesse implicado no movimento até atingir a quase que não necessidade. em Descartes, Descartes faz uma Física de precursão, quer dizer, toda a interação é basicamente por contato né, olha já estou usando um conceito moderno, o conceito de interação, porque não é simples, pelo menos eu não acho, separar metodologicamente né, é... o conceito de força mesmo, aí ele vai adquirir um caráter é:: realmente mais bem definido, digamos na, na síntese newtoniana, então todo esse período da revolução científica, pra depois finalmente adquirir um conceito relacional né, se você quiser a gente pode, mas você não pode fazer isso num curso básico, chegar até a discussão de Mach e de uma mecânica onde a força possa aparecer realmente como algo relacional. A gente não faz isso porque... talvez não seja necessário para a formação do estudante num primeiro momento, quer dizer, é:: -eu volto a insistir: é:::, você discute sim o conceito tentando dizer que é preciso desentranha-lo desde a antiguidade, onde ele vinha confundido, como eu te disse: foi confundido com momento até se entender o momento e aí vê-lo como responsável pela variação do momento ou da quantidade de movimento com o tempo,

mas eu vou/ até em Leibniz, por exemplo, algumas vezes esse conceito de *vis*, ele que usou muito o conceito de *vis viva*, a energia cinética, mas algumas vezes, dava a entender que era uma quantidade escalar, aí você pensava ‘bom, deve ser energia, ele tá pensando em energia’, mas às vezes, era uma quantidade vetorial, aí dava a entender que estava pensando em uma variação de quantidade de movimento, né. Então, a evolução é lenta, até termos a partir da segunda lei, das leis de Newton de modo geral né, é:: segunda e terceira, que tratam mais diretamente da/ é:: a possibilidade de introduzir definições, com as quais você opera, então eu acho que fazer essa passagem de um conceito que é quase que animístico, implicado no corpo, para um conceito em torno do qual você pode operar, definir a partir de uma balança, comparar as ações dessas, sobre dois corpos de massas diferentes e as duas coisas vêm juntas de novo né, você sabe que esse conceito ali no *Principia* eles estão é... não é que eles estão implicados no sentido de que eles não são claros, mas é que eles se tornam claros na medida em que você introduz os dois né, essa ideia, né, não sei se eu respondi... essa é minha ideia. E eu gosto sempre de trazer, mesmo nas poucas vezes que dei o curso de Física I e sobretudo nos de História da Física mesmo de Mecânica Quântica, trazer a problemática para a física contemporânea porque a gente consegue olhar retrospectivamente como foi difícil fazer esse percurso para entender a interação entre dois corpos, porque no fundo é disso que se trata: dois corpos, um corpo pode ser o meu, um corpo  $m$  aqui e o resto () do universo né, o ambiente todo ou dois corpos mesmo que é suficiente, eu preciso ter duas instâncias assim que interajam né. É depois () vai ter o conceito de auto interação, que é uma coisa mais elaborada em eletrodinâmica quântica, é:: então para não confundir, quando você é:: explica é:: insistindo e explica para um estudante, pra gente mesmo né, insistir em distingui-la de momento, de trabalho, de esforço né e tentar limpar esse conceito para dar a ele uma definição com a qual se opera, uma vez que você tem essa definição com a qual se opera você passa por um conceito de interação, pro conceito de campo e aí eu acho que você consegue colocá-lo numa perspectiva mais ampla. É mais ou menos isso...”.

#### Sujeito 4

**U-1** “[...] eu sempre sigo os livros básicos né, por exemplo, eu sempre adotei em Física I o livro do Tipler, então ele traz lá a:: o conceito de força baseado nas três leis de Newton, né. Então, ele sempre traz dessa maneira e dessa maneira que eu também abordo, seguindo a metodologia do livro”.

**U-5** “Ah... eu não faço ideia assim, eu acho que aí você fala mais no sentido epistemológico?”

Eu acho que a noção do conceito é o de movimentar coisas assim né, o quanto de:: força necessário para um objeto mudar seu estado de movimento. Eu acho que surgiu nesse aspecto assim né. Você vê que a pessoa ela, ela precisava fazer uma certa atividade e essa atividade demandava uma certa força que ela teria que ter para fazer. Então, eu acho que tá nesse conceito aí”.

#### Sujeito 5

**U-1** “Depois de muitas vezes ficando olhando para esse tipo de coisa e tentando usar um argumento unificado, eu tento falar que força é o efeito do resto do universo sobre uma partícula. O que que eu quero dizer é assim, eu considero uma partícula, olhando para uma partícula, o que que é força? É o efeito do resto do universo sobre a partícula. Esse efeito aí ele é definido meio quantitativo né, aí se for definido dinâmico né, é:: massa vezes

aceleração igual a força ( $F = ma$ ). Então, quer dizer, só fica definido quando escreve a expressão matemática, né, se a massa for constante como eu disse é massa vezes aceleração igual a força e qualitativamente representa o efeito do resto do universo sobre a partícula, do ponto de vista do movimento dela né, é só isso”.

**U-3** “(...) quando a massa é constante, massa vezes aceleração, massa de uma partícula vezes a aceleração da partícula igual à força ( $F = ma$ ) que atua sobre a partícula, aí se tiver várias partículas esta equação para cada uma das partículas esta força eventualmente ou na maioria dos casos, eventualmente envolve a interação/o efeito do resto do universo sobre a partícula pode envolver o efeito das outras partículas sobre uma particular e vice-versa”.

**U-8** “(...) normalmente eu chamo atenção pros alunos é que demorou muito pra aparecer o conceito de força, então várias (), porque as três leis de Newton tiveram que ser juntadas né, muita gente não fala muito da terceira lei né, mas ela é essencial quando pensa em força, vários livros-texto não ficam falando tanto, ficam falando como uma propriedade, mas na hora de formular e juntar tudo é muito importante, né, a terceira lei, mas então, voltando lá; naquela época foi trabalhoso, foi difícil, vou fazer um trocadilho, ‘teve que fazer muita força pra chegar ao conceito de força’, parece que depois que teve algum conceito assim com uma clareza com Newton, parece que já estava mais direcionado e que foi muito mais fácil outros desenvolvimentos e hoje a gente consegue resumir de alguma forma o conceito de força que foi aquele que eu comecei a conversa, em algum sentido, ele representa o efeito do resto do universo sobre uma partícula para um ponto de vista dinâmico e aí depois () porque é difícil né, porque é uma lei, é uma lei né, ela não sai de graça”.

**U-10** “Pensa que, ainda bem que tem a ignorância, a gente tem chance de pensar que vai descobrir alguma coisa, se tivesse acabado né-, então, voltando àquela coisa inicial lá do conceito de força né, voltando ao conceito de força, você fala assim: ‘Meu Deus, o que que é o conceito de força?’, né. Aí eu volto a falar a primeira coisa que eu disse pra você: eu arrumei algumas coisas, algumas equações que dão a dinâmica do sistema e ela representa o efeito do resto do universo, se é simples ou complicado eu não sei, né, mas ele representa o efeito do resto do universo, parece o mais unificador”.

**U-12** “Eu não sei o que que um monte de gente fala de força não, mas eu acho de uma dificuldade fabulofantástica, então o que eu quero dizer é assim: em algum sentido representa o comportamento do resto do universo, imagina que eu não sei direito quem é F, mas imagino que interfere na aceleração e aí tenta ver o quão bem isso se ajusta com a natureza, entendeu? Moral da história, jogue fora o conceito de força, quase jogue fora o conceito de força e fica mais operacional, você entendeu como que é difícil? Quer dizer essa situação, mas eu falo isso mais ou menos para eles que é um postulado né”.

### **Compreensão eidética das convergências da primeira categoria**

Os sujeitos de pesquisa destoam em relação à profundidade em que discutem o conceito de força, mas assemelham-se quanto a definição em si. Os discursos mais concisos associam a

força a uma alteração do estado de movimento de um objeto, enquanto que os mais rebuscados entendem a força como um agente físico responsável pela aceleração deste objeto.

Há enunciados mais abrangentes em que a força diz respeito ao resultado da interação entre corpos, que demandou e ainda demanda muito empenho para se compreender como esta ocorre, dependendo do período histórico e do campo de pesquisa. Há também sentenças em que o sujeito faz uso de um argumento unificador, em que a força é concebida como o efeito do resto do universo sobre uma partícula. Desse modo, tem-se um escudo que o protege de eventuais problemas conceituais.

Aparentemente, para os interlocutores, a expressão conhecida segunda lei de Newton  $F = ma$ , apesar de não ter sido ele quem a propôs, como bem sinalizado pelo Sujeito 3, descreve satisfatoriamente a dinâmica de uma partícula. Para sistemas mais complexos, é imprescindível valer-se de formulações oriundas da mecânica clássica, da relatividade e da mecânica quântica para prever os efeitos físicos decorrentes. Nesse contexto, a força assume um caráter relacional.

Ao se debruçar sobre os discursos dos sujeitos, apreende-se que, de modo geral, ora concebem a força numa perspectiva peripatética tradicional, como uma “tendência” ou um “esforço para” (JAMMER, 2011, p. 16), e ora, a uma concepção newtoniana, relacionada à causalidade, em que o movimento é um efeito e a força (impressa), a causa (JAMMER, 2011, p. 160).

De maneira genérica, também é possível inferir que a conceituação de força assenta-se essencialmente nas três leis de Newton, mesmo que a sua segunda lei do movimento não corresponda à expressão  $F = ma$ .

## **2ª Categoria: Construção do conceito de força**

### **Sujeito 1**

**U-3** “Ah... Aí você me pegou, faz muito tempo que eu fiz o curso de história da física. Isso começa a tentar entender o:: movimento em si, não é, desde o:: talvez de destaque é... comece a se pensar nisso mais pesadamente a partir dos estudos de Aristóteles, mas tudo se dá em relação ao estudo do movimento, lógico que, é... antigamente o conhecimento que eles tinham, os recursos que eles tinham era muito precários né, tanto que se demorou muito tempo até alguém realmente quiser fazer um experimento, desses imaginários de se falar () de tentar fazer e mostrar o que acontecia, então é... eu acho que a construção tem que se (), basicamente que se for trabalhar, especificamente o conceito de força, deveria se começar com o que os antigos pensavam e como isso foi evoluindo até chegar nas construções, vamos dizer assim, mais adequadas, a partir de Galileu (...)”



## Sujeito 2

**U-5** “Eu acho que pela própria experiência diária que as pessoas tinham, isso... você vê que consegue fazer objetos se movimentar mais rápido ou mais devagar. Então eu acho que isso vem da própria experiência do ser humano. O conceito de força, para mim, é uma coisa que é natural desde os primórdios... O ser humano entende o que significa fazer uma força sobre um objeto e aquilo lá automaticamente resulte algum tipo de movimento. Agora você fazer a descrição matemática que que é uma coisa que veio com o desenvolvimento da matemática e pessoas que conseguiram fazer a formulação certa. O conceito em si de força para mim é uma coisa quase que natural, da experiência do dia-a-dia que a pessoa tem. Acho que uma criança entende o conceito de força em si, o que significa, se fazer força e a consequência disso”.

## Sujeito 3

**U-1** “Bom, o conceito de força, você sabe que é um conceito que tem uma longa história né, uma longa evolução conceitual, se a gente quiser, a gente começa é:: desde a física Aristotélica né, em que a força era um ingrediente necessário para manter o movimento, é... normalmente, nas vezes em que eu tenho a chance de falar sobre isso e no curso de História da Física a gente discute muito a evolução deste conceito, a ideia é passar, mostrar antes de mais nada de que se trata de um conceito intuitivo em algum, algum sentido, que depois foi sendo elaborado né ao longo da história, foi confundido muitas vezes com o conceito de *vis*, foi confundido muitas vezes com momento, com força mesmo, com energia né. Então quando eu estou ensinando eu começo com uma linguagem um pouco mais enxuta, operacional, quer dizer se você pega como exemplo a:: lei da dinâmica fundamental  $F = ma$ , eu procuro enfatizar que a força é um agente físico responsável por aquele  $a$  que está ali, então eu detecto o  $a$  e atribuo à vizinhança do meu corpo a ação né, é:: de um agente físico que promove essa aceleração. Mas, depois é::, naturalmente eu caminho em direção ao conceito de campo, pra falar, porque surge naturalmente no contexto, mesmo quando você ensina em mecânica ou quando está dando aula de física quântica e que esse conceito, ele, ele muda completamente, quer dizer, a tendência da física moderna, -moderníssima- é que o conceito de força se evapore, porque na relatividade/ a palavra é muito forte ‘evaporar’, ele não é mais necessário nos moldes antigos porque você, por exemplo; a interação a distância da:: da, digamos da gravitação da física newtoniana primeiro lugar é substituída pela ação dos campos na eletrodinâmica e em seguida pelas deformações do espaço tempo na:: relatividade e na física quântica o conceito de força só pode ser olhado por uma analogia semi-clássica, a partir do teorema de Ehrenfest, porque a força clássica newtoniana, ela é aplicada num ponto do corpo e o princípio da incerteza na mecânica quântica não permite essa definição de maneira né, então você vai para uma descrição de potencial né, e aí adquire um significado mais profundo a::/ o ambiente do corpo, né, então, é uma resposta longa, mas num primeiro momento eu acho conveniente fazer uma definição de força quase que operacional, para você introduzir, discuti-la em conexão com o conceito de massa e tal, tirar as representações anímicas né, força muscular, etc., pro aluno entender que agora nós estamos falando é:: de um agente físico que atua no sentido de mudar o estado de movimento do corpo”.

**U- 2** “Então, mas a história, ela é longa e ela é complicada porque num primeiro momento, por exemplo, vamos começar com Aristóteles, né, vamos pegar um grande tratado, a gente poderia fazer isso até antes, nos pré-

socráticos, então, mas a coisa não é:: é muito, é muito difícil reconhecer é:: e é perigoso a gente, é:: perigoso do ponto de vista metodológico né? você colocar sua cabeça moderna ou pós-moderna lendo esses escritos, agora em Aristóteles, né. Nos livros de física e sobretudo no livro de física mesmo é:: existe um conceito de força que não é o nosso, evidentemente, mas é um esforço pra associá-la ao movimento do corpo, mas ali a força e o movimento do corpo estão implicados né, então a evolução desse conceito, ela parte de algo que é inerente ao próprio corpo como se o corpo estivesse implicado no movimento até atingir a quase que não necessidade, em Descartes, Descartes faz uma Física de precursão, quer dizer, toda a interação é basicamente por contato né, olha já estou usando um conceito moderno: o conceito de interação, porque não é simples, pelo menos eu não acho, separar metodologicamente né, é.. o conceito de força mesmo, aí ele vai adquirir um caráter é:: realmente mais bem definido, digamos na, na síntese newtoniana, então todo esse período da revolução científica, pra depois finalmente adquirir um conceito relacional né, se você quiser a gente pode, mas você não pode fazer isso num curso básico, chegar até a discussão de Mach e de uma mecânica onde a força possa aparecer realmente como algo relacional. A gente não faz isso porque... talvez não seja necessário para a formação do estudante num primeiro momento, quer dizer, é:: eu volto a insistir é.., você discute sim o conceito tentando dizer que é preciso desentranhá-lo desde a antiguidade, onde ele vinha confundido, como eu te disse foi confundido com momento até se entender o momento e aí vê-lo como responsável pela variação do momento ou da quantidade de movimento com o tempo, mas eu vou/ até em Leibniz, por exemplo, algumas vezes esse conceito de *vis*, ele que usou muito o conceito de *vis viva*, a energia cinética, mas algumas vezes, dava a entender que era uma quantidade escalar, aí você pensava ‘bom, deve ser energia, ele tá pensando em energia’, mas às vezes, era uma quantidade vetorial, aí dava a entender que estava pensando em uma variação de quantidade de movimento, né. Então, a evolução é lenta, até termos a partir da segunda lei, das leis de Newton de modo geral né, é:: segunda e terceira, que tratam mais diretamente da/ é:: a possibilidade de introduzir definições, com as quais você opera, então eu acho que fazer essa passagem de um conceito que é quase que animístico, implicado no corpo, para um conceito em torno do qual você pode operar, definir a partir de uma balança, comparar as ações dessas, sobre dois corpos de massas diferentes e as duas coisas vêm juntas de novo né, você sabe que esse conceito ali no *Principia* eles estão é:: não é que eles estão implicados no sentido de que eles não são claros, mas é que eles se tornam claros na medida em que você introduz os dois né, essa ideia né, não sei se eu respondi... essa é minha ideia. E eu gosto sempre de trazer, mesmo nas poucas vezes que dei o curso de Física I e sobretudo nos de história da física mesmo de mecânica quântica, trazer a problemática para a física contemporânea porque a gente consegue olhar retrospectivamente como foi difícil fazer esse, esse percurso para entender a interação entre dois corpos, porque no fundo é disso que se trata, dois corpos, um corpo pode ser o meu, um corpo  $m$  aqui e o resto () do universo né, o ambiente todo ou dois corpos mesmo que é suficiente, eu preciso ter duas instâncias assim que interajam, né. É depois () vai ter o conceito de auto interação, que é uma coisa mais elaborada em eletrodinâmica quântica, é:: então para não confundir, quando você é:: explica é:: insistindo e explica para um estudante, pra gente mesmo né, insistir em distingui-la de momento, de trabalho, de esforço né e tentar limpar esse conceito para dar a ele uma definição com a qual se opera, uma vez que você tem essa definição com a qual se opera você passa por um conceito de interação, pro conceito de campo e aí eu acho que você consegue colocá-lo numa perspectiva mais ampla. É mais ou menos isso...”.

**U-3** “(...) a gente começa então com Aristóteles, mas você tem um, um filósofo importante que foi citado por Simplicio, o Filoponus né, porque é:: existe uma:: uma história é:: muito rica, com o problema do movimento que

vai, digamos, de Aristóteles até a física galilaica, vamos colocar assim, né, então predecessores a lista é longo, você teria o Filoponus e você teria é:: se você quiser Roger Bacon, os:: calculadores de Paris é, os... nominalistas franceses, perdão, os:: professores das escolas de França como Oresme, o Buridan, quer dizer a teoria do ímpetus né, é:: toda essa física pré galilaica até desembocar em Descartes que é o primeiro, o primeiro sabe? em história, essas coisas... mas assim, tem um distinção é:: notável é.. parece que é um dos primeiros a entender que a força está imbricada na mudança de estado de movimento e não no movimento (), a teoria do ímpetus ainda acha que alguma coisa passe né e eu não mencionei, mas é fundamental todo o trabalho dos árabes né, Avicena, o conceito por exemplo, o conceito árabe de (), que ele chamava, que é essa inclinação que é passada para o corpo no momento que o agente o arremessa né, é:: então assim você tem toda uma história, precisaria ser revista, toda a vez que você for olhar para o conceito de força até chegarmos nos modernos que fundam essa, essa dinâmica, dinâmica que a gente chama de newtoniana ou a dinâmica clássica é:: e começando com Descartes é:: e passando é:: por Kepler, por causa da importância que às vezes se dá uma importância menor ao Kepler e ele tá nesse, nesse time com, digamos assim, com a mesma, com as mesmas credenciais né, aliás ela é fundamental porque ainda que atribuindo uma, alguma coisa animística ao sol, ele sabia que era o sol o centro, digamos assim, dessa interação responsável pela organização de um sistema de mundo e isso foi crucial para o Newton, quer dizer, sem essas descobertas do Kepler, que foram feitas meio () não teríamos provavelmente um sistema de mundo newtoniano da forma nós o conhecemos, então a lista dos predecessores é realmente longa e passa por toda a Idade Média, a questão é saber é.. se, não sei se você já acompanhou esse debate e é um debate em história da ciência, história das filosofias das ciências, se a visão de Galileu é uma revisão revolucionária, no sentido de uma ruptura complexa, certamente revolucionária, no bom sentido da palavra, de trazer novidade, mas ela é, é uma ruptura do anterior ou ela é continuada, então a visão, por exemplo de Pierre Duhem e outros chamados continuístas é que esse movimento se prepara ao longo de toda a Idade Média, no édito de Paris ele coloca como unidade científica numa outra direção que não Aristóteles e nesse movimento de sair de Aristóteles surge uma, um prelúdio a Galileu e aí Galileu faz o trabalho importante de romper ou se Galileu de fato ignora a Idade Média, ignora né, entre aspas, ignora a Idade Média e diz não é por ali, volta a ideia Arquimediana de um ideal matemático para descrever isso e sobretudo da ideia é:: de desvincular a ação da força com o próprio corpo, então quer dizer é:: a estática Arquimediana funciona bem porque justamente ele consegue olhar o corpo é:: esse corpo tá numa vizinhança, mas ele está isolado, então eu consigo separá-lo da vizinhança e olho pra ele né, que foi uma coisa importante né, tirar o:: conceito de força como se ele fosse uma tendência intrínseca, um ímpetus ou um, o que fosse né, é::, mas como ele sendo sujeito a uma ação externa, que nós depois vamos chegar, ação externa de um campo ou qualquer outra coisa, mas responsável por essa interação, é isso”.

**U-5** “(...) Euler era, ele era um “discípulo” de Descartes, mas ele entendeu, ele chama sempre nos escritos dele de O Inglês né, em letra maiúscula O Inglês porque como ele era amigo do Bernoulli (risos) e havia::/ e também era da escola do Leibniz, eles, eles é.. não gostavam muito do Newton por causa da::/ respeito é uma coisa, mas simpatia é outra, né? Por causa da de ter roubado o cálculo infinitesimal né, digamos assim, essa é outra controversa e eu não quero é:: mas um coisa que chama atenção no caso do Euler é o seguinte: quando eles está trabalhando naquilo que ele chama-, ele acha a descoberta  $F = ma$  uma descoberta fundamental e de fato é porque não é assim que está em Newton, ele chama isso de Lei da Dinâmica né, mas ele ainda está procurando causas e há algumas passagens dele que nos primeiros escritos de mecânica, agora não lembro o título do primeiro grande, depois ele

vai voltar no outro, tem um monte de escrito, mas dois, dois que são cruciais ao longo da própria carreira é.. ele tenta como um cartesiano procurar as causas das forças, até que em determinado momento, como um grande matemático que ele era, ele percebe: ‘bom mas eu não preciso saber a causa, não para fazer física, não para fazer matemática’ é:: aí começa a entender a ideia de *Hypotheses non fingo* de Newton, quer dizer, ‘ok, eu estou vendo essa ação sobre o corpo e a ação é a produção de uma aceleração, vou chamar isso de força’ né ‘e eu não preciso, -eu gostaria como filósofo-’, mas eu não preciso saber qual é a causa última dessa, então atribuo ao corpo vizinho, corpo vizinho age sobre o meu e produz uma aceleração’, então o Euler também faz esse caminho e ele mesmo chega um momento que (...) quando ele chega a essa equação da dinâmica, ele já renunciou a causa da força, mas ele está operando quase como um newtoniano, com a diferença de que agora ele consegue estabelecer é.. de um outro modo a vinculação entre a força e a massa do corpo, explicitando matematicamente a força como massa vezes a aceleração, essa é fórmula de Euler que ele chama de segundo princípio da dinâmica ou o primeiro, agora não lembro bem, na dinâmica toda ele acha que é uma lei nova né:: e muita gente, muita gente hoje estudando historicamente essa questão também acha que ele estava certo, quer dizer, não invalida, é claro que a segunda lei de Newton é anunciada no seu modo geral, com uma variação temporal da quantidade de movimento e ela é, mas escrever  $F = ma$  para um engenheiro é fundamental né, pra estática, etc. É fundamental e isso foi feito pelo Euler, mas não mudou o conceito de força, é isso que é o ponto, quer dizer, ele tentou dar uma explicação que ele achou que faltava na do Newton, porque vindo de uma escola cartesiana e tal as coisas não acontecem e se () então quem é que tá agindo, como é que é, qual é a causa final, mas ele entende que isso não é necessário para fazer a dinâmica não é necessário saber qual é a origem”.

**U- 6** “Bom, eu agora não me lembro dos detalhes, mas é:: eu tenho escrito isso num texto de história da física, que eu queria saber né e é o meu capítulo de história da mecânica analítica né, eu vou lá e revisito alguns dos escritos de Euler, alguns em latim, outros em francês, eu fui me dedicar a isso é::, mas a questão aí é eu acho que, por isso, não é só porque eu sou ignorante pra te dar a resposta, é porque é uma pergunta muito específica que precisa ter a resposta com a junção de vários é:: momentos, então você me pergunta como ele chegou, bom é:: ele sabia do princípio, evidentemente ele conhecia a dinâmica newtoniana então o que ele faz: ele vai aplicar essa dinâmica, sistematicamente ao estudo do movimento e:: digamos assim da:: das consequências né, disso para o mundo material, agora para fazer isso, o objetivo dele era introduzir o cálculo de maneira:: completa, quer dizer então, introduzir a análise matemática para qual ele deu muitas contribuições no estudo, porque se você pensar é:: se você for olhar no detalhe, eu não quero ser impreciso aqui, mas é mais ou menos assim. Você pega os *Principia*, tá, estão lá as bases da dinâmica, indubitavelmente, mas a gente se esquece que precisa-, existe um trabalho de colocar essa linguagem diferencial que a gente usa hoje na mecânica é:: na descrição de problemas específicos, então você tem é:: o Newton faz o primeiro livro do *Principia*, tem lá a base axiomática, depois ele vai para os meios materiais, sofre muito, sofre no sentido conceitual, não que ele fosse sofrer, quer dizer, então um trabalho insano pra entender como isso se aplica a um corpo rígido, tá, tem o conceito de força, mas () é uma partícula que eu tenho, digamos, na primeira parte, um ponto material, depois eu tenho dois objetos maciços em contato, colidindo, eu tenho esses objetos se movendo num meio resistente, como é que eu faço essa aplicação de força? O esclarecimento disso foi feito por Euler, e aí depois o Newton trata do problema em linhas gerais e trata de (), o próprio conceito de centro de massa, tudo isso, mas a dinâmica mesma do corpo rígido vai ser feito por Euler e companhia, ‘aí eu preciso colocar esse corpo em rotação no espaço, usando conservação de momento etc.’ e usando

todo o poder matemático dessa física inaugurada por Newton, e é aí que a gente chama de mecânica analítica por causa da introdução, ele impregnou e o principal nome desse período, embora haja tantas outras pessoas, é o próprio Euler, né, ele impregnou essa mecânica na análise, ao longo da vida até 1865, quer dizer, você tem/ 1765 você tem uma sucessão, uma série de trabalhos dele onde isso vai sendo feito até chegar basicamente aos primórdios do cálculo variacional, aí você tem Lagrange e outras, outras pessoas, mas assim a.. passagem fundamental, a gente acha que foi o Newton que fez tudo mas, por exemplo, todos os teoremas sobre movimento de corpos rígidos que foram enunciados, foram feitos por Euler (...)

**U-7** “Num sentido último da palavra, a gente já comentou isso, é verdade né, porque como que você vai atribuir precisamente quem fez o quê? mas quando você quer um olhar panorâmico, é perfeitamente possível, mas se você diz ‘espera aí  $F = ma$  pra mim sempre foi a segunda lei de Newton’, sim, mas é uma forma de Euler de exprimir a segunda lei de Newton, e tem física aí no meio, não é-, quer dizer, que precisamos de um novo princípio talvez, mas nós precisamos distinguir do ponto de vista da escritura na linguagem matemática, um coisa da outra, são sempre-, é a mesma dinâmica newtoniana; ninguém está reinventando, mas tem muito trabalho conceitual nessa/ então a contribuição de () de gigante, olhá-la sob essa perspectiva né, então, sei lá, como eu sempre me encantei por essa, essa é uma questão pessoal né, por essa física matemática do século XVIII, que é uma coisa maravilhosa que foi feita na história da humanidade né, e é um esforço gigantesco, é você fala ‘poxa, um homem como o Euler, que não tinha dificuldade para entender nada, esse pessoal sofreu, como Newton sofreu e sofreu porque esses conceitos’ e até:: eu vejo o esforço dos meus colegas que trabalham com a história da física e que vão mexer nos conceitos e tal, vão tentar entender porque esses conceitos da mecânica, eles são realmente muito difíceis para um homem comum e até para homens incomuns como esses que esses que a gente citou, quer dizer, muita gente tangenciou, você pega, vai estudar a Idade Média, onde você considera, por exemplo homens como Santo Tomás de Aquino, () muitas questões religiosas, um pensador profundista, um dos homens mais capazes que o ocidente já produziu né, uma das mentes pensantes mais rapazes, ou pegue um árabe como Averróis ou Avicena, esses homens tinham um poder especulativo imenso, bom, eles.. tangenciavam o problema do movimento e chegavam perto, mas não conseguiam dar um passo porque precisava romper com uma certa tradição de pensamento Aristotélico, é verdade, mas precisava também de um passo abstrato, de uma coragem que talvez eles não tivessem, mas a coragem não é ‘coragem’:: coragem assim, um arroubo de pensamento né, que eles não estavam dispostos a dar, quer dizer, eu posso admitir um espaço porque a dinâmica para um filósofo da natureza, a dinâmica newtoniana e sobretudo a dinâmica de Euler colocada na forma grande da mecânica clássica, ela pressupõe um espaço infinito, homogêneo e isotrópico em todas as direções é:: nos quais o universo, nos quais o universo se constrói né, digamos assim, e identificar esse espaço da mente, da geometria, com o espaço do universo é um passo filosófico tremendo, quer dizer, eu posso conceber mentalmente isso, mas eu talvez eu não possa admitir metafisicamente, porque tenho que abrir mão do próprio sentido das coisas que eu estou tratando, né. E aí você vê em homens como o Newton, Huygens né, Huygens principalmente, que também é supervalorizado aí antes de Newton (...)

**U- 8** “A dinâmica newtoniana à luz da análise foi feita por Euler, e isso prepara de maneira cabal, digamos assim, é só possível a dinâmica Lagrangeana e dinâmica hamiltoniana em cima dessa mecânica analítica, que é essa passagem, essa matematização, a matematização que a gente sempre fala: da matematização do real, é um tema

que sempre me interessei, é verdade, eu leio sempre aquela frase do *Saggiatore* do Galileu que a natureza está escrita na linguagem objetiva, a gente adota aquilo como símbolo, é verdade, todos os méritos a Galileu, aí vem Kepler, descobre irregularidades, as leis de Kepler, aí vem Huygens com o conceito de força centrífuga, por exemplo, de Newton é o de Huygens e ele ficava bravo porque o Huygens chegou antes dele e o Huygens só não deu mais contribuições porque o Huygens era perfeccionista, não publicou o que deveria, é: se ele fosse um físico hoje ele já desovava tudo, ele era muito cuidadoso e tal, então ele perdeu alguns, alguns primaz, aí vem Newton, mas na verdade a matemática que a gente usa nos cursos, até os elementares e tal, toda ela é euleriana, pra resumir a mecânica analítica numa pessoa, tem mais gente, mas ela é basicamente euleriana, então Euler sim, ele tá nesse mesmo grupo né, eu acho que Euler é um físico tão grande quanto Newton, é simples assim. Euler pega o bastão em Newton e entrega em Lagrange e Hamilton e esse trabalho é basicamente conduzido pelo Euler”.

**U-9** “(...) você é formado num ambiente mental, então por exemplo, uma coisa que o Huygens não consegue se desvencilhar com certa/ Descartes também o Euler, porque o Euler, quer dizer, esses homens eram filósofos naturais, quer dizer, eles eram formados na filosofia, não que existisse uma instancia chamada filosofia natural, mas eles achavam é: natural, desculpe a redundância, fazer matemática e filosofia. Então, os conceitos de causa, por exemplo, que é: de ação é: do sujeito, esses conceitos vem todos da filosofia, então eles fazem ciência num sistema filosófico que a gente não faz hoje, quer dizer, a gente tem sempre um arcabouço filosófico, mas por exemplo, a física como ela é feita hoje, ela é um empreendimento, uma fábrica coletiva mercantilista, as pessoas não se dão conta, alguns sim, mas a maioria são operários de uma engrenagem e não é nenhuma crítica, isso é um dado, quer dizer, isso é, você se forma operando e continua operando, mas você sabia que esse conceito aqui tem uma controvérsia de 400 anos? Não, não sabia, não me interessa porque eu consigo operar, eu vou no laboratório meço e tal e depois eu construo um dispositivo e ele tá funcionando, eu quando eu falo/ eu vou voltar para a questão tá, eu me perdi, quando eu falo para os meus alunos que isso aqui (controle do ar condicionado), por exemplo, um display de cristal líquido mais simples, se eu te disser que as teorias que baseiam, me dediquei a isso nos últimos 30 anos, (...) toda a base conceitual que permite o funcionamento do display, assim como das, da tela do seu celular é baseada numa teoria fenomenológica que prevê a existência de constantes elásticas para um material como o cristal líquido que é um líquido, se você a noite as 3h da manhã acorda com pesadelo, você fala, meu Deus mas como é possível colocar constante elástica no líquido, isso é arte, é arte, só que como é feita dentro da linguagem científica reprodutiva, então no sentido pleno, não é arte, mas é mais imaginação do que realidade, mas as pessoas não precisam pensar nisso, um engenheiro da Apple não precisa pensar nisso, um engenheiro da Apple não estão preocupados se a teoria elástica é uma criação artística muito mais do que matemática, porque ela funciona, então aí é claro que nessa perspectiva da forma como a ciência vem empregada maciçamente na técnica, essa sua preocupação com a origem do conceito não digo irrelevante, mas:”.

#### Sujeito 4

**U-5** “Ah... eu não faço ideia assim, eu acho que aí você fala mais no sentido epistemológico?”

Eu acho que a noção do conceito é o de movimentar coisas assim né, o quanto de: força necessário para um objeto mudar seu estado de movimento. Eu acho que surgiu nesse aspecto assim né. Você vê que a pessoa ela, ela

precisava fazer uma certa atividade e essa atividade demandava uma certa força que ela teria que ter para fazer. Então, eu acho que tá nesse conceito aí”.

## Sujeito 5

**U-4** “Uma boa pergunta... É porque o conceito, aí tem duas maneiras, né, que, por exemplo, os livros textos trazem que eu vejo a maioria: tem uns que vão direto para a dinâmica, por exemplo, o livro do Halliday vai direto para a dinâmica, mas tem outros livros que vão primeiro pra estática, né, vai para o conceito de estática e aí na estática o que que substitui a segunda de Newton é só jogar a aceleração igual a zero, a força total, ou seja a força resultante é igual a zero né. Agora, se você me perguntar assim, ‘esqueça como que os livros apresentam isso’ né, ‘que a grande pergunta é qual...’ Aí eu volto lá, o que que eu disse antes: o efeito do resto do universo. Eu acredito que Newton pensou mais ou menos desse jeito, independente se usa massa constante ou não, derivada do momento igual à força, ele pensou assim -eu imagino que ele tenha pensado assim-, se escreveu ou não é outro problema, é que ‘o que que faz o movimento do sistema, provoca o movimento do sistema?’ Esse ente abstrato chamado força. Então eu acho que ele fez mais ou menos por aí, pensando o que que provocou, o que que provoca o movimento no sistema, () movimento, qualquer coisa. Então eu imagino que é assim. Agora, como que as pessoas escrevem ou não escrevem, né, essa expressão, falo, por exemplo eu já vi pegando vários desses livros de assuntos de temas introdutórios de física né, pra ver o que eles falam que é força, é quase uma enrolação, é muito difícil ver o que eles falam lá, assim alguma coisa assim bem clara, por isso que eu disse pra você que a maneira mais simples e mais imediata é:: ela está relacionada intimamente com o resto do universo sobre a partícula, quando se considera uma partícula para olhar, aí é uma visão toda dinâmica né”.

**U-7** “Ihh... eu não sei praticamente nada:: Por exemplo, o que que eu sinto disso, por exemplo é:: em particular () por exemplo, eu quero falar o que que eu acho que Newton pensou pra você entender. É:: como que Newton fala da lei, por exemplo, quais são as forças possíveis que pode agir sobre um objeto né, porque, quando Newton fala da segunda lei, ele tem que falar dos possíveis tipos de força. É:: pra mim Newton quase foi maquiavélico né, ele pegou os movimentos conhecidos e introduziu, pensou na segunda lei, nas leis pra reproduzir os movimentos conhecidos, por exemplo, a força gravitacional, da gravitação de Newton, eu acho que foi fortemente baseado na estrutura matemática para reproduzir o movimento elíptico, tem problema de queda livre, então essas coisas devem ter norteado Newton em alta proporção, é:: aí o conceito de equilíbrio também, balança de prato né, coisas assim, então que já é do ponto de vista da estática, não do ponto de vista da dinâmica, mas aí com um pouco de raciocínio, vai da dinâmica para a estática razoavelmente. Agora, as pessoas mais antigamente, bem mais/por exemplo, quando era mais difícil de fazer experimentos, as pessoas não olhavam muito para o experimento, queria usar um argumento né, eu acho que era muito difícil imaginar o que que é força, eu acho que é:: eu vejo assim com um grau de dificuldade, eu acho que a intuição que hoje as pessoas tem aí na rua porque acostumou com a linguagem (...). Então, por exemplo, eu não sei se grande parte das pessoas pensavam por exemplo que o peso de alguma coisa fosse uma força, mas o que ele faz isso a gente dá o nome relacionado a esforço era força, entendeu? Então, tem um salto conceitual imaginar que o peso seria um força um tanto quanto é/o que a gente faz pra segurar o corpo por exemplo pra não cair, então, quer dizer eu acho que tinha uma dificuldade assim razoável, inclusive já que você está falando de força, mas falando pra qualquer coisa, por exemplo você olha a ciência ela evolui, agora

ela assim em partes, em um ritmo muito mais rápido que antigamente, né, isto aí é justamente uma medida da dificuldade de formular conceito porque, por exemplo, até aparecer as leis de Newton né, 1700... sei lá, anos mais ou menos, depois de Cristo né, imaginar as leis de Newton, depois de Newton a física, se falar, aumentou () o número de pessoas pesquisando, mas eu não sei se aumentou, se é por causa desse aumento, mas por exemplo, mais recentemente vários outros ramos da física vêm crescendo num ritmo fabuloso e pra formulá-la desde Newton foi uma infinidade de tempo, então por mais que eu queira dizer que o conceito de força pode ter um grau de intuição né, mas é um grau de intuição combinado com outras coisas, não é só o conceito de força, várias coisas tinham que combinar né, por exemplo, a terceira lei de Newton, basicamente ela fala que um monte de coisa é força, por exemplo, é :: um objeto tá querendo cair e você segura né, por exemplo, contrabalancear a força peso né, o efeito da força peso com o que que você faz, tá meio relacionado com a terceira lei de Newton, então quer dizer, provavelmente essa junção aí né, o que eu quero dizer é assim, a terceira lei de Newton pressupõe conceitualmente outra né, mas que a gente no costume diário não imaginasse a outra, só imaginava bem uma coisa da gente fazendo né, por exemplo pessoa fala assim, eu trabalhei bastante hoje, trabalhei, tive que fazer muita força, estou supondo que as pessoas em qualquer época usavam palavras parecidas com a gente né, fiz bastante força né, ele nunca iria comparar esse esforço fabuloso dele né com uma coisa inerte, que nem a força peso né, você falou, tem lá () você entende, eu quero dizer, eu acho, então eu quero dizer pra você né, esse rompimento histórico aí até chegar as leis de Newton mostra que tem uma coisa que não é sutil assim né e o esforço que a gente imagina que as pessoas naquelas épocas eram mais ou menos parecidas com as de hoje né, não eram mais inteligentes, nem menos do que de hoje, então parece que depois que chegou a uma certa noção conceitual ou melhor, não sei o que, aí facilitou/vamos voltar a palavra da intuição né, parece que aumentou, facilitou a intuição das pessoas, deu um guia pra intuição das pessoas né e antes eu acho que esse guia era muito mais tênue né, mais ou menos assim”.

### **Compreensão eidética das convergências na segunda categoria**

Em relação a construção do conceito de força obteve-se respostas bem rudimentares, com exceção do discurso proveniente do sujeito 3, indicativos de prováveis desconhecimentos ou esquecimentos sobre o tema. Também é presumível que os sujeitos não tenham interesse ou não sintam necessidade de compreender a história do conceito que usam e ensinam com considerável frequência, tendo em vista que:

Reconhecidamente, o estudo dos aspectos históricos da geração de conceitos da física não é uma tarefa simples. Além de rigorosa formação histórica e filológica, necessária ao domínio habilidoso de material original, ele exige a compreensão da teoria física para que se possa comparar e interpretar criticamente as fontes em debate e avaliar seu significado para a ciência como um todo (JAMMER, 2011, p. 21).

O conceito de força teve origem, na perspectiva da maioria dos sujeitos, a partir dos estudos sobre o movimento dos corpos. Para o interlocutor 1, essas investigações têm início com Aristóteles, para o sujeito 2 e 4 originam-se da experiência diária das pessoas e para o



sujeito 5 tiveram início com os antigos pensadores, sem, no entanto, mencioná-los, até chegar em Newton.

Nota-se um aparente salto conceitual, desde Aristóteles ou dos filósofos antigos até as construções mais modernas de Galileu e de Newton, principalmente. Pontua-se também a insinuação de que o conceito de força se desenvolveu naturalmente ou intuitivamente, desconsidera-se ou desconhece-se, portanto, o minucioso e importante trabalho realizado por cientistas, escolas filosóficas e programas de pesquisa. É como se o conceito de força tivesse passado por uma espécie de túnel do tempo, que possibilitou a passagem direta do obscurantismo a luz da síntese newtoniana.

De encontro a esse posicionamento, o sujeito 3 disserta sobre como se deu a construção do conceito de força, desde os pré-socráticos até as proposições mais recentes inerentes a mecânica clássica e a mecânica quântica. Sua fala transita pela concepção de força como esforço muscular, como uma representação animística e estende-se a uma atividade intrínseca que provocava o movimento – o ímpeto. A explanação vai além e situa a força no contexto newtoniano, como um agente físico sujeito a regras matemáticas, que lhe dão credibilidade metodológica e técnica. Na sequência, o sujeito 3 centra sua explanação no século XVII e em especial no XVIII e concede a Euler o devido destaque pelo desenvolvimento de um primoroso trabalho, não somente no que se refere a proposição de  $F = ma$ , mas sobretudo na matematização e aperfeiçoamento da dinâmica newtoniana.

Percebe-se, portanto, que dentre os indivíduos entrevistados, somente o sujeito 3 demonstra compreender como se deu a construção do conceito de força, em especial no século XVII e XVIII. Nesse sentido, apreende-se, que enquanto docente, o referido sujeito terá muito mais a contribuir na formação histórica e conceitual de seus alunos, futuros professores de física.

### **3ª Categoria: Importância do conceito de força**

#### **Sujeito 1**

**U-1** “(...) nas minhas disciplinas eu sempre trabalhei com a parte de formação dos professores, então minha preocupação não é no conteúdo, o conteúdo é assim, a princípio para o alunos chegarem já sabendo o conteúdo, têm as disciplinas pra isso, então minha preocupação não é... não é ensinar o conceito de nada e como eu nunca ministrei essas disciplinas teóricas de Física também nunca me preocupei com isso. E como eu falei, como eu nunca ministrei, eu não sei te dizer o como eu faria, explicaria... a evolução do conceito de força pros... alunos”.

**U-4** “A importância é ele entender não a:: o modo de resolver as equações, que é o que infelizmente acontece hoje, a:: os alunos simplesmente decoram ou as vezes os professores colocam as equações para fazer uma prova e os alunos simplesmente pegam os valores e colocam ali e::/ aí é, questão/ resolução de exercícios, se eles entenderem o conceito de força por traz, eles entendem vários tipos de situações diferentes, que é, justamente o problema hoje, os alunos não entendem o conceito, seja de força ou se qualquer outra coisa, e na hora de fazer, de:: fazer, resolver exercícios só conseguem fazer exercícios igual ao que o professor fez, porque ele não consegue entender a situação que está envolvida ali. Então, se ele entende o conceito de força, ele vai entender os efeitos que as forças acabam gerando, as consequências, os diferentes tipos, etc., a força elástica, a força elétrica, a força mecânica, atrito e etc. Então, entender o conceito de força hã... faz com que ele entenda melhor situações, na qual as forças surgem, as forças aplicam e suas consequências (...)”.

## Sujeito 2

**U-4** “Assim, o conceito de força em si, que nem eu falei, ele é mais ou menos ele já é natural com () o crescimento, agora como matematicamente você fazer a descrição correta, a importância é que se, tudo o que você quiser descrever, a evolução e prever a evolução do sistema, você tem que ter uma matemática que consiga descrever de uma maneira correta, então pra você fazer uma previsão do momento ou projetar algum tipo de movimento, você precisa fazer a descrição matemática correta, então a importância é, uma coisa é você só entender o que que é força, ah se eu empurrar esse objeto, se eu fazer uma força sobre ele, ele vai se movimentar, isso é quase que natural hoje, porque é uma experiência que a gente tem. Agora você fala assim, como que eu faço para saber a... para conseguir fazer esse objeto se movimentar daqui até daqui com tal velocidade e tal coisas assim ou fazer uma determinada trajetória no espaço controlada, aí você precisa entender como você vai usar a formulação matemática, que... passa de você saber resolver essa dinâmica, essas... equações diferenciais que descrevem essa dinâmica fazer, se for fazer, usar as decomposições de força, tem que saber fazer... certo, seguindo toda a álgebra vetorial que se precisa né”.

## Sujeito 3

**U-4**“(...) esse é um conceito essencial para a gente construir uma descrição é.., por exemplo é o conceito central da dinâmica clássica né, simbolicamente você pode usar a forma escrita por Euler ou se quiser evitar, você volta para a ideia newtoniana de é:: isso é importante para construir uma representação mecânica do universo, tá. É um conceito fundamental, basilar porque ele está nos fundamentos e tanto é verdade que quando você abre o Principia né, aparecem as definições antes dos axiomas das três leis de movimento, você tem as definições, então você começa com a definição de massa, de inércia etc., e tem um momento em que aparece a definição de força, inclusive é:: com toda a sua, perdão pela redundância, com toda a força do conceito porque é um conceito vetorial né, é:: e fica clara a necessidade de da introdução de um conceito vetorial para a força né, porque ela é um agente físico, mas é um agente físico que é direcional né, então o conceito de força é basilar para a construção da primeira descrição bem-sucedida mecânica do universo, que é a dinâmica clássica”.

#### Sujeito 4

U-4 “Ah aí é um problema que eu acho assim... eu acho que ele é tão importante como qualquer outro conceito de Física, né. Então:: estudar força ou:: deixar de estudar você deixa de aprender uma série de outras coisas, né. Assim, se você deixar de aprender o conceito de energia você vai deixar de aprender uma série de outras coisas. Então assim, eu vejo que é importante, mas não é:: a mais importante, tem outras coisas que são tão importantes quanto. Por exemplo... como o..., o conceito de energia por exemplo né. Se você não estudar energia é um conceito de Física que é tão abstrato quanto o conceito de força e tão difícil de abordar também e tão importante quanto”.

#### Sujeito 5

U-2“(...) qualquer sistema quando a gente vai estudar o conhecimento máximo que a gente tem sobre ele em geral é dizer sobre a dinâmica detalhada do sistema, então, quando tem um conjunto de partículas, do ponto de vista macroscópico a importância de falar do conceito de força é fornecer a dinâmica do sistema não é, as equações que regem a dinâmica, então essa é a relevância né, a relevância pra saber como que descreve das partículas, do sistema de partículas”.

### **Compreensão eidética das convergências da terceira categoria**

Quanto a importância do conceito de força também não há homogeneidade entre os discursos, pois há os que consideram que esta reside na possibilidade de propiciar aos estudantes o real entendimento do conceito e suas implicações em diferentes situações e, não somente a mera resolução mecânica de exercícios. Há os que entendem como relevante não o conceito em si já que é natural, mas sim as formulações matemáticas, que permitem descrever e prever a evolução de um dado sistema. Existe também proposições que afirmam que o conceito de força é tão importante, quanto outros, como energia, por exemplo.

Os enunciados dos sujeitos 3 e 5 se assemelham, pois, para o participante 3 o conceito de força é basilar, no sentido de construir uma representação mecânica do universo e para o sujeito cinco, é fundamental para fornecer a dinâmica de um sistema e as equações que o regem.

### **4ª Categoria: Força como um conceito intuitivo**

#### Sujeito 1

U-10 “A princípio eles nunca relacionam a questão de variação de movimento com a força né. É lógico que se o professor souber fazer direito, ele vai começar fazer o aluno a pensar que, pensar nesse tipo de situação, mas

instintivamente acho que não. Provavelmente não, lógico que provavelmente terá alguns que vão pensar, que vão relacionar isso, mas eu diria que a maioria não, no Ensino Médio não, pelo menos eu acho”.

## Sujeito 2

**U-2** “O conceito de força ele é mais, falar explicitamente em força é mais simples porque é uma coisa mais usual no dia-a-dia. A pessoa mesmo, sem conhecimento nenhum, significa o que é fazer força sobre um objeto, empurrar um objeto. Então, aparentemente fica mais simples para você tratar talvez a nível de segundo grau ou talvez pessoas que não tenham conhecimento matemático mais elaborado, mas quando você joga para a formulação matemática  $F = ma$  no fundo vai gerar uma equação diferencial que descreve a dinâmica e essa mesma equação é ser obtida por outros métodos”.

**U-3** “O conceito de força sim porque até uma criança entende isso. Você fala, dá uma força aqui, que nem diz o outro ou faz uma força para movimentar aquele objeto, a criança vai lá e faz. O que não é intuitivo é a notação vetorial que você precisa para descrever essa dinâmica né, porque força é um vetor, vetor é, como você adiciona vetor, subtrai vetor como você manipula vetores já é uma coisa que você precisa ter um embasamento, que já não é tão intuitivo, mas o conceito de força eu acho que é... qualquer criança consegue entender ,você consegue explicar”.

**U- 5** “Eu acho que pela própria experiência diária que as pessoas tinham, isso... você vê que consegue fazer objetos se movimentar mais rápido ou mais devagar. Então eu acho que isso vem da própria experiência do ser humano. O conceito de força pra mim é uma coisa que é natural desde os primórdios... O ser humano entende o que significa fazer uma força sobre um objeto e aquilo lá automaticamente resulte algum tipo de de movimento. Agora você fazer a descrição matemática que que é uma coisa que veio com o desenvolvimento da da matemática e pessoas que conseguiram fazer a formulação certa. O conceito em si de força pra mim é uma coisa quase que natural, da experiência do dia-a-dia que a pessoa tem. Acho que uma criança entende o conceito de força em si, o que significa, se fazer força e a consequência disso”.

## Sujeito 3

**U-1** “Bom, o conceito de força, você sabe que é um conceito que tem uma longa história né, uma longa evolução conceitual, se a gente quiser, a gente começa é:: desde a física Aristotélica né, em que a força era um ingrediente necessário para manter o movimento, é.. normalmente, nas vezes em que eu tenho a chance de falar sobre isso e no curso de história da física a gente discute muito a evolução deste conceito, a ideia é passar, mostrar antes de mais nada de que se trata de um conceito intuitivo em algum, algum sentido, que depois foi sendo elaborado né ao longo da história, foi confundido muitas vezes com o conceito de vis, foi confundido muitas vezes com momento, com força mesmo, com energia né. Então quando eu estou ensinando eu começo com uma linguagem um pouco mais enxuta, operacional, quer dizer se você pega como exemplo a:: lei da dinâmica fundamental  $F = ma$ , eu procuro enfatizar que a força é um agente físico responsável por aquele  $a$  que está ali, então eu detecto o  $a$  e atribuo

a vizinhança do meu corpo a ação né, é.. de um agente físico que promove essa aceleração. Mas, depois é::, naturalmente eu caminho em direção ao conceito de campo, pra falar, porque surge naturalmente no contexto, mesmo quando você ensina em mecânica ou quando está dando aula de física quântica e que esse conceito, ele, ele muda completamente, quer dizer, a tendência da, da física moderna, moderníssima é que o conceito de força se evapore, porque na relatividade/ a palavra é muito forte evaporar, ele não é mais necessário nos moldes antigos porque você por exemplo, a interação a distância da:: da, digamos da gravitação da física newtoniana primeiro lugar é substituída pela ação dos campos na eletrodinâmica e em seguida pelas deformações do espaço tempo na:: relatividade e na física quântica o conceito de força só pode ser olhado por uma analogia semi clássica, a partir do teorema de Ehrenfest, porque a força clássica newtoniana ela é aplicada num ponto do corpo e o princípio da incerteza na mecânica quântica não permite essa definição de maneira né, então você vai para uma descrição de potencial né, e aí adquire um significado mais profundo a::/ o ambiente do corpo né, então, é uma resposta longa, mas num primeiro momento eu acho conveniente fazer uma definição de força quase que operacional para, pra você introduzir, discuti-la em conexão com o conceito de massa e tal, tirar as representações anímicas né, força muscular, etc., pro aluno entender que agora nós estamos falando é.. de um agente físico que atua no sentido de mudar o estado de movimento do corpo”.

#### Sujeito 4

**U-3** “(...) eu acho, na verdade, que eles já vêm com uma concepção do que é força. Eu acho que, desde criança a gente aprende essa concepção do que é força, só que, eu não sei exatamente se a gente sabe esse conceito de maneira correta ou não. Mas eu acho que intuitivamente eles têm esse conceito na cabeça”.

#### Sujeito 5

**U-3** “Demorou muito tempo para ficar intuitivo pra mim (risos). Essas coisas de intuitivo eu acho meio curioso, o que que é intuitivo ou não, eu acredito que o conceito de força tem um alto conteúdo de intuitivo, mas quando meche com física, deve ficar quantitativo entre a intuição e a definição quantitativa tem uma distância fabulosa, assim por exemplo, é, vou dar exemplo pra você. Vários povos indígenas, separados uns dos outros, eles têm uma noção sobre as constelações e muitas vezes, grandes partes das constelações são idênticas, mesmo não conhecendo um ou outro, então por exemplo, hoje um monte de pessoas ficam falando de terra plana né, eu acho que a ideia de terra plana é um dos primeiros conceitos que as pessoas pensam né e o conceito de força é em certo grau, aí depende muito de como que foi o meio que a pessoa né está imerso né, mas o conceito de força é em certo grau intuitivo, mas se você pensa por exemplo lá que os gregos ficaram um tempo imenso certo, sem ter uma definição mais clara do que é força, você fala é, não é tão intuitivo né, entendeu? Então é uma situação assim muito curiosa, o que que é intuitivo ou não né”.

**U- 6** “Eu acho que, diferentemente dos gregos, eu acho que é muito mais intuitivo, é que, é que:: o conceito/ uma coisa é:: que eu quero falar sobre intuição e costume, elas não são, no meu ponto de vista, elas não são separadas de maneira alguma, os alunos quando estão aprendendo, tem lá o Ensino Médio, o Ensino Fundamental e tem na

a universidade, vou falar por exemplo da universidade, eles já viram um tempo falando de força, um tempo falando de força, então aquilo é um conceito, mesmo que não esteja tão perfeito, tão assim...é um conceito bem comum pra eles, então quer dizer que é uma coisa que está relativamente próxima, mesmo que não se tenha clareza e aí faz com que, o que eu quero dizer é assim, como eu disse pra você, intuição e familiaridade andam muito próximas, muito próximas né, e então aí como eles já ouviram falar bastante sobre isso né, falam o tempo inteiro, então em certo sentido essa familiaridade confunde um pouco com intuição, entende? Então, eu acho que pra grande parte dos alunos hoje e mesmo também a sociedade é porque tem um monte de gente que trata força de maneira mais quantitativa, mas tem um monte de gente que não trata, mas mesmo os que não tratam, eles são bombardeados por pessoas que tratam de maneira mais quantitativa, então se você perguntar hoje assim para as pessoas que vivem aqui no nosso/ nessa cidade aqui eu acho que é bem.. razoavelmente assim, em um grau bem grande, em um grau bem grande, acho que é intuitivo. Agora se pega uma pessoa que nunca usou, que não tem nem essa palavra, fica muito mais difícil né. Eu acho, eu acho que o conceito que o conceito de força hoje é em alto grau intuitivo, tem dificuldades, mas, por exemplo, comparado com povos bem mais antigos eu acho que:: aí é bem diferente, eu acho que eles eram bem menos intuitivos, com um grau maior de abstração”.

**U-7** “Ihh... eu não sei praticamente nada:: Por exemplo, o que que eu sinto disso, por exemplo é:: em particular () por exemplo, eu quero falar o que que eu acho que Newton pensou pra você entender. É:: como que Newton fala da lei, por exemplo, quais são as forças possíveis que pode agir sobre um objeto né, porque, quando Newton fala da segunda lei, ele tem que falar dos possíveis tipos de força. É:: pra mim Newton quase foi maquiavélico né, ele pegou os movimentos conhecidos e introduziu, pensou na segunda lei, nas leis pra reproduzir os movimentos conhecidos, por exemplo, a força gravitacional, da gravitação de Newton, eu acho que foi fortemente baseado na estrutura matemática para reproduzir o movimento elíptico, tem problema de queda livre, então essas coisas devem ter norteadado Newton em alta proporção, é.. aí o conceito de equilíbrio também, balança de prato né, coisas assim, então que já é do ponto de vista da estática, não do ponto de vista da dinâmica, mas aí com um pouco de raciocínio, vai da dinâmica para a estática razoavelmente. Agora, as pessoas mais antigamente, bem mais/por exemplo, quando era mais difícil de fazer experimentos, as pessoas não olhavam muito para o experimento, queria usar um argumento né, eu acho que era muito difícil imaginar o que que é força, eu acho que é.. eu vejo assim com um grau de dificuldade, eu acho que a intuição que hoje as pessoas tem aí na rua porque acostudou com a linguagem (...). Então, por exemplo, eu não sei se grande parte das pessoas pensavam por exemplo que o peso de alguma coisa fosse uma força, mas o que ele faz isso a gente dá o nome relacionado a esforço era força, entendeu? Então, tem um salto conceitual imaginar que o peso seria um força um tanto quanto é/o que a gente faz pra segurar o corpo por exemplo pra não cair, então, quer dizer eu acho que tinha uma dificuldade assim razoável, inclusive já que você está falando de força, mas falando pra qualquer coisa, por exemplo você olha a ciência ela evolui, agora ela assim em partes, em um ritmo muito mais rápido que antigamente, né, isto aí é justamente uma medida da dificuldade de formular conceito porque, por exemplo, até aparecer as leis de Newton né, 1700... sei lá, anos mais ou menos, depois de Cristo né, imaginar as leis de Newton, depois de Newton a física, se falar, aumentou () o número de pessoas pesquisando, mas eu não sei se aumentou, se é por causa desse aumento, mas por exemplo, mais recentemente vários outros ramos da física vêm crescendo num ritmo fabuloso e pra formulá-la desde Newton foi uma infinidade de tempo, então por mais que eu queira dizer que o conceito de força pode ter um grau de intuição né, mas é um grau de intuição combinado com outras coisas, não é só o conceito de força, várias coisas

tinham que combinar né, por exemplo, a terceira lei de Newton, basicamente ela fala que um monte de coisa é força, por exemplo, é.. um objeto tá querendo cair e você segura né, por exemplo, contrabalancear a força peso né, o efeito da força peso com o que que você faz, tá meio relacionado com a terceira lei de Newton, então quer dizer, provavelmente essa junção aí né, o que eu quero dizer é assim, a terceira lei de Newton pressupõe conceitualmente outra né, mas que a gente no costume diário não imaginasse a outra, só imaginava bem uma coisa da gente fazendo né, por exemplo pessoa fala assim, eu trabalhei bastante hoje, trabalhei, tive que fazer muita força, estou supondo que as pessoas em qualquer época usavam palavras parecidas com a gente né, fiz bastante força né, ele nunca iria comparar esse esforço fabuloso dele né com uma coisa inerte, que nem a força peso né, você falou, tem lá () você entende, eu quero dizer, eu acho, então eu quero dizer pra você né, esse rompimento histórico aí até chegar as leis de Newton mostra que tem uma coisa que não é sutil assim né e o esforço que a gente imagina que as pessoas naquelas épocas eram mais ou menos parecidas com as de hoje né, não eram mais inteligentes, nem menos do que de hoje, então parece que depois que chegou a uma certa noção conceitual ou melhor, não sei o que, aí facilitou/vamos voltar a palavra da intuição né, parece que aumentou, facilitou a intuição das pessoas, deu um guia pra intuição das pessoas né e antes eu acho que esse guia era muito mais tênue né, mais ou menos assim”.

**U-11** “(...) as leis de Newton, apesar de um monte de gente achar que é meio... em algum sentido um pouco mais intuitivo, mas não tem muita diferença do ponto de vista operacional de falar da equação de Schrodinger, o que eu quero dizer é simples, postula um, postula outro né e aí com o costume que a gente tem no dia-a-dia vai juntando a intuição né (...)”.

**U-14** “Você sabe que os livros de mecânica quântica -eu não sei porque que eles não falam da mecânica, viu-, eles falam assim--, -tem um livro que eu não tô com ele aqui-, vários livros, é comum em vários livros autores falarem assim: ‘mecânica quântica a gente não entende, a gente acostuma’, né, então já que é assim, eu vou começar direto com a equação de movimento né, mas eu acho que as leis de Newton a gente também não entende tão fácil, a gente acostuma. E eu digo mais: por exemplo, as pessoas falam ‘a mecânica é intuitiva’, mas mecânica quântica não é. Por exemplo, vários movimentos da mecânica se perguntarem pra você e você pensar um pouquinho, você vai dizer qualitativamente como seriam os movimentos, mas é provavelmente que você tenha um monte de ficar olhando no dia-a-dia o que que acontece, você ficou estudando, mas só pra você ver como que a mecânica pode parecer intuitiva e pode acabar toda a intuição, aí você pega um corpo rígido, você já pegou aquela rodinha que você gira ‘assim’, por exemplo, pega aquilo e coloca na mão de uma criança ou de um aluno de física que ficou estudando corpo rígido, quando ele faz assim a força dá na outra direção né, dá o torque lá na outra direção, ele fica perplexo né, e a intuição toda que você achava que tinha de mecânica foi se embora”.

### **Compreensão eidética das convergências da quarta categoria**

O conceito de força, em linhas gerais, é percebido como intuitivo. Com exceção do Sujeito 1, que alega a dificuldade dos estudantes, pelo menos do Ensino Médio, de relacionar variação de movimento com força, os demais convergem parcialmente seus pontos de vista. Para os interlocutores 2 e 4, desde a infância as crianças entendem o que é força, visto que,

contemplam-na diariamente em situações corriqueiras de movimento de objetos. Na perspectiva do Sujeito 3, em algum sentido o conceito é intuitivo, porém precisou ser elaborado do decorrer na história, uma vez que, comumente era confundido com outras definições, como momento e energia.

O Sujeito 5, por sua vez, levanta pertinentes apontamentos referentes à aproximação entre intuição e costume. Nesse sentido, o conceito de força é concebido como intuitivo, na medida em que uma determinada sociedade está familiarizada com este termo e suas aplicações, caso contrário, tal constructo deixa de ser intuitivo.

Postular que o conceito de força é intuito pode trazer implicações negativas para o seu ensino, pois, se o professor partir desse pressuposto, é provável que ele não designe muito tempo a sua explicação, contextualização e reconstrução histórica.

Assume-se neste trabalho que a força é uma mediadora da interação entre os corpos. Sendo assim, é válido questionar se a maneira como se dá essa interação é intuitiva? Para responder tal indagação é necessário reportar-se ao percurso histórico, pelo qual o conceito de força passou, para embasar-se teoricamente e poder afirmar categoricamente que o modo como se dá essa interação não foi e ainda não é intuitivo.

### **5ª Categoria: Conceito de força nos livros didáticos**

#### Sujeito 4

**U-1** “(...) eu sempre sigo os livros básicos né, por exemplo, eu sempre adotei em Física I o livro do Tipler, então ele traz lá a:: o conceito de força baseado nas três leis de Newton, né. Então, ele sempre traz dessa maneira e dessa maneira que eu também abordo, seguindo a metodologia do livro”.

**U-2** “Bom, eu sigo a sequência exatamente igual à do livro assim. É uma aula que, é uma aula padrão, é aquelas aulas que não têm nada extra, assim. Eu dou uma aula só no quadro mesmo, também não uso slide e a gente segue sempre pela primeira lei né, aí a primeira lei é da lei da inércia e depois discute a segunda lei e aí explica porque que existe essa primeira lei, sendo que a segunda daria conta da primeira lei, aí é pelo fato de definição de referencial inercial e depois, depois discute a terceira lei, ação e reação. E depois faz um monte de exercícios, problemas, tenta resolver problemas com os alunos relacionados com essa, com essa metodologia aí, com esses, esses conceitos que eles têm, né”.

#### Sujeito 5



**U-4** “Uma boa pergunta... É porque o conceito, aí tem duas maneiras, né, que, por exemplo, os livros textos trazem que eu vejo a maioria: tem uns que vão direto para a dinâmica, por exemplo, o livro do Halliday vai direto para a dinâmica, mas tem outros livros que vão primeiro pra estática, né, vai para o conceito de estática e aí na estática o que que substitui a segunda de Newton é só jogar a aceleração igual a zero, a força total, ou seja a força resultante é igual a zero né. Agora, se você me perguntar assim, ‘esqueça como que os livros apresentam isso’ né, ‘que a grande pergunta é qual...’ Aí eu volto lá, o que que eu disse antes: o efeito do resto do universo. Eu acredito que Newton pensou mais ou menos desse jeito, independente se usa massa constante ou não, derivada do momento igual à força, ele pensou assim -eu imagino que ele tenha pensado assim-, se escreveu ou não é outro problema, é que ‘o que que faz o movimento do sistema, provoca o movimento do sistema?’ Esse ente abstrato chamado força. Então eu acho que ele fez mais ou menos por aí, pensando o que que provocou, o que que provoca o movimento no sistema, () movimento, qualquer coisa. Então eu imagino que é assim. Agora, como que as pessoas escrevem ou não escrevem, né, essa expressão, falo, por exemplo eu já vi pegando vários desses livros de assuntos de temas introdutórios de física né, pra ver o que eles falam que é força, é quase uma enrolação, é muito difícil ver o que eles falam lá, assim alguma coisa assim bem clara, por isso que eu disse pra você que a maneira mais simples e mais imediata é: ela está relacionada intimamente com o resto do universo sobre a partícula, quando se considera uma partícula para olhar, aí é uma visão toda dinâmica né”.

**U-14** “Você sabe que os livros de mecânica quântica -eu não sei porque que eles não falam da mecânica, viu-, eles falam assim--, -tem um livro que eu não tô com ele aqui-, vários livros, é comum em vários livros autores falarem assim: ‘mecânica quântica a gente não entende, a gente acostuma’, né, então já que é assim, eu vou começar direto com a equação de movimento né, mas eu acho que as leis de Newton a gente também não entende tão fácil, a gente acostuma. E eu digo mais: por exemplo, as pessoas falam ‘a mecânica é intuitiva’, mas mecânica quântica não é. Por exemplo, vários movimentos da mecânica se perguntarem pra você e você pensar um pouquinho, você vai dizer qualitativamente como seriam os movimentos, mas é provavelmente que você tenha um monte de ficar olhando no dia-a-dia o que que acontece, você ficou estudando, mas só pra você ver como que a mecânica pode parecer intuitiva e pode acabar toda a intuição, aí você pega um corpo rígido, você já pegou aquela rodinha que você gira ‘assim’, por exemplo, pega aquilo e coloca na mão de uma criança ou de um aluno de física que ficou estudando corpo rígido, quando ele faz assim a força dá na outra direção né, dá o torque lá na outra direção, ele fica perplexo né, e a intuição toda que você achava que tinha de mecânica foi se embora”.

### **Compreensão eidética das convergências da quinta categoria**

Os livros didáticos, saber a ensinar, exercem determinante influência das práticas docentes de um sujeito de pesquisa em particular. Aparentemente de modo acrítico, apreende-se que os manuais ditam a sequência dos conteúdos e a maneira como os mesmos serão trabalhados. Entende-se que essa abordagem, orientada exclusivamente por uma fonte de consulta é limitada, pois “os livros didáticos [...] fornecem poucas informações, se é que o fazem, sobre a natureza do conceito; seu caráter problemático é completamente ignorado no labirinto das utilizações práticas” (JAMMER, 2011, p. 21).

Ademais os sujeitos versam sobre como os livros em linhas gerais discutem o conceito de força, que parecem não apresentar muitas diferenciações.

### 6ª Categoria: A relativização do conceito de força

#### Sujeito 2

**U-1** “(...) o que você observa na natureza, que você tem dinâmica, os objetos se movimentam, eles não se movimentam por livre e espontânea vontade, tem que ter alguma coisa que induz esse movimento. Então para você descrever essa dinâmica, daí você usar várias formulações. Uma das formulações é você usar  $F = ma$ , daí você faz toda aquela descrição de quando você tem um desequilíbrio de força e isso automaticamente induz a uma aceleração no teu objeto. Essa é a descrição mais simples, né, mas depois você pode introduzir isso como um gradiente do potencial né, então se você coloca um corpo sujeito a uma diferença de potencial, esse corpo vai tender a ir para um região de menor potencial e isso equivale a força que ele sente, né. Então daria para descrever talvez de uma maneira diferente, que nem eu falei, fazer uma descrição usando uma formulação newtoniana, onde você tem o sistema newtoniano, você tira as equações que vão descrever essa dinâmica via equação de Hamilton - Jacob ou () Lagrangiana, onde você tiraria a dinâmica via equação de () Lagrange, sem necessariamente escrever  $F = ma$ . () o que se precisa é, dada a dinâmica, você descrever a evolução, como que ocorre essa evolução, de uma forma precisa. Mas, sempre lembrando que tanto a formulação newtoniana  $F = ma$  ou lagrangeana-newtoniana vai levar a mesma equação que vai descrever a dinâmica daquele corpo lá, isso é independente. São maneiras diferentes de formular um efeito físico, você observa um objeto que está em movimento e você pode matematicamente descrever de forma () diferente”.

#### Sujeito 3

**U-1** “Bom, o conceito de força, você sabe que é um conceito que tem uma longa história né, uma longa evolução conceitual, se a gente quiser, a gente começa é:: desde a física Aristotélica né, em que a força era um ingrediente necessário para manter o movimento, é:: normalmente, nas vezes em que eu tenho a chance de falar sobre isso e no curso de história da física a gente discute muito a evolução deste conceito, a ideia é passar, mostrar antes de mais nada de que se trata de um conceito intuitivo em algum, algum sentido, que depois foi sendo elaborado, né, ao longo da história, foi confundido muitas vezes com o conceito de *vis*, foi confundido muitas vezes com momento, com força mesmo, com energia né. Então quando eu estou ensinando eu começo com uma linguagem um pouco mais enxuta, operacional, quer dizer se você pega como exemplo a:: lei da dinâmica fundamental  $F = ma$ , eu procuro enfatizar que a força é um agente físico responsável por aquele  $a$  que está ali, então eu detecto o  $a$  e atribuo à vizinhança do meu corpo a ação né, é... de um agente físico que promove essa aceleração. Mas, depois é::, naturalmente eu caminho em direção ao conceito de campo, pra falar, porque surge naturalmente no contexto, mesmo quando você ensina em mecânica ou quando está dando aula de física quântica e que esse conceito, ele muda completamente, quer dizer, a tendência da física moderna –moderníssima-, é que o conceito de força se evapore, porque na relatividade/ a palavra é muito forte ‘evaporar’, ele não é mais necessário nos moldes

antigos porque você, por exemplo, a interação a distância da:: digamos, da gravitação da física newtoniana em primeiro lugar é substituída pela ação dos campos na eletrodinâmica e em seguida pelas deformações do espaço-tempo na.. relatividade e na física quântica o conceito de força só pode ser olhado por uma analogia semi-clássica, a partir do teorema de Ehrenfest, porque a força clássica newtoniana, ela é aplicada num ponto do corpo e o princípio da incerteza na mecânica quântica não permite essa definição de maneira, né, então você vai para uma descrição de potencial né, e aí adquire um significado mais profundo a::/ o ambiente do corpo né, então, é uma resposta longa, mas num primeiro momento eu acho conveniente fazer uma definição de força quase que operacional para, pra você introduzir, discuti-la em conexão com o conceito de massa, e tal, tirar as representações anímicas, né, força muscular, etc., pro aluno entender que agora nós estamos falando é:: de um agente físico que atua no sentido de mudar o estado de movimento do corpo”.

## Sujeito 5

U- 9 “[...] ele [o conceito de força] vai ficar bagunçado na existência da força mesmo, a força como a gente define, porque quando a gente vai para um mundo atômico, normalmente a equação que a gente escreve são as equações da mecânica quântica, e lá fica muito mais difícil escrever o que que é força, normalmente as pessoas usam as equações de Schrodinger, mas poderia usar as equações de Heisenberg, que dá o análogo lá da massa vezes aceleração que dá uma força, né. Mas lá, por exemplo, fica difícil até imaginar o que que é posição, aqueles problemas de comutatividade, né, se eu posso falar de força independente de outra grandeza e não posso medir a força simultaneamente né, mas aí eu quero dizer que as pessoas pra estudar -não que não seja útil-, mas pra estudar é normalmente não fica falando de força, fala da energia potencial não é, a equação de Schrodinger fala sobre energia potencial, aí você fica pensando: ‘Meu Deus como funciona ainda o conceito de força?’ né, aí você fica pensando ‘será que o efeito do resto do universo é representado pela energia potencial?’ Só que aí, muitas vezes ela não é univocamente definida. (Silêncio)... Mas, ainda não acabou não, isso, então, quando a gente tem equação de Schrodinger, agora vamos supor que você tenha uma partícula elementar interagindo com outra, hoje, como a gente faz as coisas, a gente define uma teoria mais geral, por exemplo, se for interação de elétrons com elétrons, chamada eletrodinâmica quântica, lá pode colidir só carga conservável, mas podem sair elétrons, pósitron fóton né, a existência da partícula não é clara, você fala ‘interação’, antes eu falava que o efeito do resto do universo era a força, agora parece que pode ter um efeito que eu não compreendo quanto e desaparece a partícula, aonde foi a força? O que a força atua em algum lugar, né, você pensa: ‘Ai meu Deus!’ É, fica perdido, sentiu que fica perdido né, onde foi a força? Aí, mas lá se você falar ‘não mas, mas enquanto existe a força, enquanto existe a partícula...’ mas é uma teoria assim do jeito que formula hoje, uma teoria mais geral, e ela não formula, nem em termo de força, nem em termo de energia potencial, é um conjunto de equações que em determinadas circunstâncias quando você especifica para uma partícula interagindo com outra, aquela equação mais geral vai dar alguma característica de algo que parece um pouco com força, entende como que fica complicado, né? então fica tudo assim, mais complicado, né, aí sobra no final da história é a questão de voltar lá àquela pra primeira coisa que eu disse é... dá uma equação, um conjunto de equações, quando eu falar uma equação, eu quero dizer que pode ser um conjunto de equações, então uma equação que rege a dinâmica do sistema e aí o que que é força, o que que não é força fica um pouco meio vago, entendeu? E o que que parece que ganha mais importância nisso tudo são as equações como

um todo, né, e se a cada termo a gente estudar o nome ou dar um nome ser meio mais particular fica mais, fica mais sutil, entendeu como que é?”.

**U-12** “Eu não sei o que que um monte de gente fala de força não, mas eu acho de uma dificuldade fabulofantástica, então o que eu quero dizer é assim: em algum sentido representa o comportamento do resto do universo, imagina que eu não sei direito quem é  $F$ , mas imagino que interfere na aceleração e aí tenta ver o quão bem isso se ajusta com a natureza, entendeu? Moral da história: jogue fora o conceito de força, quase jogue fora o conceito de força e fica mais operacional, você entendeu como que é difícil? Quer dizer essa situação, mas eu falo isso mais ou menos pra eles que é um postulado né”.

### **Compreensão eidética das convergências da sexta categoria**

O conceito de força assumiu por muito tempo o papel de denominador comum de todos os fenômenos físicos (JAMMER, 2011, p. 302). Contudo, tal conceito na ciência contemporânea passou a desempenhar uma função secundária, de intermediário metodológico. É sobre esse caráter operacional da força que os sujeitos da pesquisa versam.

Nesse novo panorama o conceito de força não é mais fundamental, como nos moldes newtonianos e anteriores a ele. Para Jammer (2011, p. 27) este, “[...] tornou-se uma ideia puramente relacional, quase pronta para ser eliminada por inteiro da construção conceitual”. Em decorrência desse suposto fim do ciclo de vida do conceito de força, alguns sujeitos atribuem substancial importância às equações, seja na mecânica clássica, da mecânica quântica ou da relatividade geral, que, com efeito, continuarão a fornecer a descrição ou a previsão da dinâmica de um determinado sistema.

### **7ª Categoria: Compreensão sobre a História da Ciência**

#### **Sujeito 1**

**U-5** “(...) É... eu não consigo e provavelmente nunca vou conseguir fazer uma atividade que envolva a história da Física, porque o tempo da disciplina não é grande, apesar da disciplina ser anual, a gente tem uma carga de trabalho muito grande, os alunos têm que ir pra escola.., não sei o quê. Pra trabalhar com a história da física é necessário muito conhecimento, muita leitura e a gente:: até hoje eu não consegui incluir, é... realizar uma atividade de estágio envolvendo a história da física. Então eu nunca trabalhei com essa questão de eles discutirem algum tipo de conceito em si, somente algum recurso ou metodologia de como trabalhar aquele, aquele::/, um conteúdo que normalmente eles são livres para escolher, mas nunca algo específico assim, um conceito de força, por exemplo, a noção de força, nunca algo tão específico”.

**U-6** “Potencialidade existe, é... só que, eu já discuti isso com muita gente, até mesmo com os próprios alunos, é... Há...uma noção errada, no meu modo de ver, sobre a abordagem dessa questão histórica, ah, tem que falar sobre a questão histórica, não sei o quê, é muito complicado fazer isso muitas vezes, como eu falei, é muita leitura, você tem determinados momentos que tem historiadores que têm visões diferentes, então você teria que discutir isso, porque senão você estaria só mostrando um lado, têm controvérsias, etc... É... eu vejo potencialidade no seguinte: de discutir em alguns pontos mais específicos, é... discutir numa abordagem histórica alguma coisa, só que eu recomendo e falo muito para os alunos de eles fazerem coisas diferentes ao longo do ano, para quando eles forem professores, é... trabalhar com a questão do lúdico, ciência e tecnologia, a história da física, eles têm que trabalhar várias coisas, então não dá de fazer, não dá pra você fazer um ano inteiro de disciplina numa abordagem histórica, não dá pra fazer o ano inteiro numa abordagem lúdica. Então... eu sempre recomendo que se eles quiserem fazer uma abordagem histórica, que eles escolham um...momento específico que eles acham relevante dentro de um assunto que estão trabalhando e aí façam uma abordagem histórica, dentro daquilo, dentro desse ambiente que eles querem, mas eu sempre discuto com eles a dificuldade porque não é fácil, diria que... em tudo o que se pode fazer de diferente, de metodologia, de abordagens, etc. Eu considero a história da física muito mais difícil do que qualquer outra, por essa dificuldade de muita leitura, de diferentes visões sobre o mesmo ponto de vista do que aconteceu, controvérsias entre.../. Se você quer fazer um ensino direito, você tem que propor discussões, fazer o aluno pensar. É... então, não dá pra fazer uma coisa muito simplificada, aí normalmente cai no que ah... ‘no ano sei lá... mil novecentos e não sei o que o fulano de tal fez isso ou fulano de tal nasceu no ano tal e fez isso’, ‘não sei o que, se formou’/. Então... fica aquela coisa muito simplificada que não... acaba sendo útil... que é a mesma coisa que o livro traz, às vezes tem lá o texto e tem um quadrinho lá do lado assim, com a biografia do autor e ele considera aquilo como abordagem é... abordagem histórica do negócio. É... por isso que, assim, eu já tentei várias vezes e eu nunca consegui fazer uma atividade que envolva, que conseguisse trabalhar com a questão histórica, porque o tempo que levaria para desenvolver essa atividade é muito grande em relação a tudo que eu preciso fazer na minha disciplina. Então, é... uma, vamos dizer assim que é uma.. um quebra cabeça que eu não consegui resolver ainda, talvez com mais experiência eu possa até conseguir chegar um dia a fazer isso, né, hoje eu não consigo fazer”.

**U-8** “(...) mas isso é algo que leva tempo, numa sala de aula, numa escola pública, o professor não tem tempo. É... primeiro porque é pouca aula, segundo que isso demandaria materiais, por exemplo de leitura né. Então, o professor teria que arrumar material e ele tem lá 30, 40 alunos na sala, várias salas, então é uma coisa muito difícil de se fazer no ensino de escola pública. Mas, se você for ver () que deveria acontecer, deveria haver essa construção desde como os antigos pensavam e como foram evoluindo estes pensamentos até chegar nas construções mais modernas que eu diria que acabaria ali mais ou menos em Newton, apesar de que a descrição que a gente tem hoje de força não é a mesma que Newton usava, né. Ele usava toda uma construção mais geométrica da coisa que se hoje se fizer um negócio desse ninguém vai entender. A raiz do pensamento moderno e do que é... a questão da força basicamente nasceu aí em Newton. Então, eu partiria nesse ponto, mas para fazer numa escola pública, normal assim de Física eu diria assim que seria bem complicado”.

Sujeito 3

**U-7** “Num sentido último da palavra, a gente já comentou isso, é verdade né, porque como que você vai atribuir precisamente quem fez o quê? mas quando você quer um olhar panorâmico, é perfeitamente possível, mas se você diz ‘espera aí  $F = ma$  pra mim sempre foi a segunda lei de Newton’, sim, mas é uma forma de Euler de exprimir a segunda lei de Newton, e tem física aí no meio, não é-, quer dizer, que precisamos de um novo princípio talvez, mas nós precisamos distinguir do ponto de vista da escritura na linguagem matemática, um coisa da outra, são sempre-, é a mesma dinâmica newtoniana; ninguém está reinventando, mas tem muito trabalho conceitual nessa/ então a contribuição de () de gigante, olhá-la sob essa perspectiva né, então, sei lá, como eu sempre me encantei por essa, essa é uma questão pessoal né, por essa física matemática do século XVIII, que é uma coisa maravilhosa que foi feita na história da humanidade né, e é um esforço gigantesco, é você fala ‘poxa, um homem como o Euler, que não tinha dificuldade para entender nada, esse pessoal sofreu, como Newton sofreu e sofreu porque esses conceitos’ e até:: eu vejo o esforço dos meus colegas que trabalham com a história da física e que vão mexer nos conceitos e tal, vão tentar entender porque esses conceitos da mecânica, eles são realmente muito difíceis para um homem comum e até para homens incomuns como esses que esses que a gente citou, quer dizer, muita gente tangenciou, você pega, vai estudar a Idade Média, onde você considera, por exemplo homens como Santo Tomás de Aquino, () muitas questões religiosas, um pensador profundista, um dos homens mais capazes que o ocidente já produziu né, uma das mentes pensantes mais rapazes, ou pegue um árabe como Averróis ou Avicena, esses homens tinham um poder especulativo imenso, bom, eles.. tangenciavam o problema do movimento e chegavam perto, mas não conseguiam dar um passo porque precisava romper com uma certa tradição de pensamento Aristotélico, é verdade, mas precisava também de um passo abstrato, de uma coragem que talvez eles não tivessem, mas a coragem não é ‘coragem’:: coragem assim, um arroubo de pensamento né, que eles não estavam dispostos a dar, quer dizer, eu posso admitir um espaço porque a dinâmica para um filósofo da natureza, a dinâmica newtoniana e sobretudo a dinâmica de Euler colocada na forma grande da mecânica clássica, ela pressupõe um espaço infinito, homogêneo e isotrópico em todas as direções é:: nos quais o universo, nos quais o universo se constrói né, digamos assim, e identificar esse espaço da mente, da geometria, com o espaço do universo é um passo filosófico tremendo, quer dizer, eu posso conceber mentalmente isso, mas eu talvez eu não possa admitir metafisicamente, porque tenho que abrir mão do próprio sentido das coisas que eu estou tratando, né. E aí você vê em homens como o Newton, Huygens né, Huygens principalmente, que também é supervalorizado aí antes de Newton (...).”

**U-9** “(...) você é formado num ambiente mental, então por exemplo, uma coisa que o Huygens não consegue se desvencilhar com certa/, Descartes também o Euler, porque o Euler, quer dizer, esses homens eram filósofos naturais, quer dizer, eles eram formados na filosofia, não que existisse uma instancia chamada filosofia natural, mas eles achavam é:: natural, desculpe a redundância, fazer matemática e filosofia. Então, os conceitos de causa, por exemplo, que é:: de ação é:: do sujeito, esses conceitos vêm todos da filosofia, então eles fazem ciência num sistema filosófico que a gente não faz hoje, quer dizer, a gente tem sempre um arcabouço filosófico mas, por exemplo, a física como ela é feita hoje, ela é um empreendimento, uma fábrica coletiva mercantilista, as pessoas não se dão conta, alguns sim, mas a maioria são operários de uma engrenagem, e não é nenhuma crítica, isso é um dado, quer dizer, isso é, você se forma operando e continua operando, mas você sabia que esse conceito aqui tem uma controvérsia de 400 anos? Não, não sabia, não me interessa porque eu consigo operar, eu vou no laboratório meço e tal e depois eu construo um dispositivo e ele tá funcionando, eu quando eu falo/ Oeu vou voltar para a

questão tá, eu me perdi-, quando eu falo para os meus alunos que isso aqui [controle do ar condicionado], por exemplo, um display de cristal líquido mais simples, se eu te disser que as teorias que baseiam, me dediquei a isso nos últimos 30 anos, [...] toda a base conceitual que permite o funcionamento do display, assim como das, da tela do seu celular é baseada numa teoria fenomenológica que prevê a existência de constantes elásticas para um material como o cristal líquido, que é um líquido, se você à noite às 3h da manhã acorda com pesadelo, você fala, ‘meu Deus mas como é possível colocar constante elástica no líquido, isso é arte, é arte’, só que como é feita dentro da linguagem científica reprodutiva, então no sentido pleno, não é arte, mas é mais imaginação do que realidade, mas as pessoas não precisam pensar nisso, um engenheiro da Apple não precisa pensar nisso, os engenheiros da Apple não estão preocupados se a teoria elástica é uma criação artística muito mais do que matemática, porque ela funciona, então aí é claro que nessa perspectiva da forma como a ciência vem empregada maciçamente na técnica, essa sua preocupação com a origem do conceito, não digo irrelevante, mas:”.

## Sujeito 5

**U-7** “Ihh... eu não sei praticamente nada:: Por exemplo, o que que eu sinto disso é.. em particular () por exemplo, eu quero falar o que que eu acho que Newton pensou pra você entender. É:: como que Newton fala da lei, por exemplo, quais são as forças possíveis que pode agir sobre um objeto né, porque, quando Newton fala da segunda lei, ele tem que falar dos possíveis tipos de força. É:: pra mim Newton quase foi maquiavélico né, ele pegou os movimentos conhecidos e introduziu, pensou na segunda lei, nas leis pra reproduzir os movimentos conhecidos, por exemplo, a força gravitacional, da gravitação de Newton, eu acho que foi fortemente baseado na estrutura matemática para reproduzir o movimento elíptico, tem problema de queda livre, então essas coisas devem ter norteado Newton em alta proporção, é:: aí o conceito de equilíbrio também, balança de prato né, coisas assim, então que já é do ponto de vista da estática, não do ponto de vista da dinâmica, mas aí com um pouco de raciocínio, vai da dinâmica para a estática razoavelmente. Agora, as pessoas mais antigamente, bem mais/por exemplo, quando era mais difícil de fazer experimentos, as pessoas não olhavam muito para o experimento, queriam usar um argumento, né, eu acho que era muito difícil imaginar o que que é força, eu acho que é.. eu vejo, assim, com um grau de dificuldade, eu acho que a intuição que hoje as pessoas têm aí na rua porque acostumou com a linguagem (...). Então, por exemplo, eu não sei se grande parte das pessoas pensavam por exemplo que o peso de alguma coisa fosse uma força, mas o que ele faz isso a gente dá o nome relacionado a esforço era força, entendeu? Então, tem um salto conceitual imaginar que o peso seria um força um tanto quanto é/o que a gente faz pra segurar o corpo, por exemplo, pra não cair, então, -quer dizer- eu acho que tinha uma dificuldade, assim, razoável, inclusive já que você está falando de força, mas falando pra qualquer coisa, por exemplo: você olha a ciência, ela evolui, agora ela assim em partes, em um ritmo muito mais rápido que antigamente, né, isto aí é justamente uma medida da dificuldade de formular conceito porque, por exemplo, até aparecerem as leis de Newton, né, 1700... sei lá, anos mais ou menos, depois de Cristo né, imaginar as leis de Newton, depois de Newton a física, se falar, aumentou () o número de pessoas pesquisando, mas eu não sei se aumentou, se é por causa desse aumento, mas por exemplo, mais recentemente vários outros ramos da física vêm crescendo num ritmo fabuloso e pra formulá-la desde Newton foi uma infinidade de tempo, então por mais que eu queira dizer que o conceito de força pode ter um grau de intuição né, mas é um grau de intuição combinado com outras coisas, não é só o conceito de força, várias coisas tinham que combinar né, por exemplo, a terceira lei de Newton, basicamente ela fala que um monte de coisa é

força, por exemplo, é.. um objeto tá querendo cair e você segura né, por exemplo, contrabalancear a força peso né, o efeito da força peso com o que que você faz, tá meio relacionado com a terceira lei de Newton, então quer dizer, provavelmente essa junção aí, né, o que eu quero dizer é assim: a terceira lei de Newton pressupõe conceitualmente outra, né? mas que a gente, no costume diário não imaginasse a outra, só imaginava bem uma coisa da gente fazendo né, por exemplo pessoa fala assim: ‘eu trabalhei bastante hoje, trabalhei, tive que fazer muita força’, estou supondo que as pessoas em qualquer época usavam palavras parecidas com a gente né, fiz bastante força né, ele nunca iria comparar esse esforço fabuloso dele né com uma coisa inerte, que nem a força peso né, você falou, tem lá- () você entende?, eu quero dizer-, eu acho, então eu quero dizer pra você né, esse rompimento histórico aí até chegar as leis de Newton mostra que tem uma coisa que não é sutil assim né, e o esforço que a gente imagina que as pessoas naquelas épocas eram mais ou menos parecidas com as de hoje né, não eram mais inteligentes, nem menos do que de hoje, então parece que depois que chegou a uma certa noção conceitual ou melhor, não sei o quê, aí facilitou/vamos voltar a palavra da intuição né, parece que aumentou, facilitou a intuição das pessoas, deu um guia pra intuição das pessoas, né, e antes eu acho que esse guia era muito mais tênue né, mais ou menos assim”.

**U-8** “(...) normalmente eu chamo atenção pros alunos é que demorou muito pra aparecer o conceito de força, então várias (), porque as três leis de Newton tiveram que ser juntadas né, muita gente não fala muito da terceira lei né, mas ela é essencial quando pensa em força, vários livros-texto não ficam falando tanto, ficam falando como uma propriedade, mas na hora de formular e juntar tudo é muito importante a terceira lei, mas então, voltando lá, naquela época foi trabalhoso, foi difícil, vou fazer um trocadilho: ‘teve que fazer muita força pra chegar ao conceito de força’, parece que depois que teve algum conceito assim com uma clareza com Newton, parece que já estava mais direcionado e que foi muito mais fácil outros desenvolvimentos e hoje a gente consegue resumir de alguma forma o conceito de força que foi aquele que eu comecei a conversa, em algum sentido, ele representa o efeito do resto do universo sobre uma partícula para um ponto de vista dinâmico e aí depois () porque é difícil né, porque é uma lei, é uma lei né, ela não sai de graça”.

**U-10** “Pensa-, pensa que, ainda bem que tem a ignorância, a gente tem chance de pensar que vai descobrir alguma coisa, se tivesse acabado né, então voltando aquela coisa inicial lá do conceito de força né, voltando ao conceito de força, você fala assim: ‘Meu Deus, o que que é o conceito de força,’ né ? Aí eu volto a falar a primeira coisa que eu disse pra você: eu arrumei algumas coisas, algumas equações que dão a dinâmica do sistema e ela representa o efeito do resto do universo, se é simples ou complicado eu não sei né, mas ele representa o efeito do resto do universo, parece o mais unificador”.

**U-13** “(...) no dia que você for dar aula de... mecânica, você, depende da sua, do seu jeito didático, você vai matar os seus alunos por cansaço até eles aprenderem as leis de Newton ou se não, vou achar que não é um texto, um discurso escrito é falado, você usa as palavras... o resultado sensacional, o importantíssimo e aí assim, camufla a essência da discussão (risos)”.

**U-15** “(...) a gente quando estuda um pouco mais de física quer resgatar a física da vertente histórica, não é? pensando ingenuamente, -deixa eu falar mal aqui-, pensando ingenuamente que aquilo vai fazer uma compreensão melhor, é ingênuo pensar isso, não faz, vou te dar um exemplo: suponha que você vai falar de alguma coisa de



eletricidade e vai falar de eletrização por atrito com uma pessoa que nunca viu eletrização por atrito, você vai começar a falar de eletricidade, você fala “puxa, é isso é a primeira coisa que tenho que falar né”, vou te dar um exemplo como que a aula fica muito mais dinâmica e muito mais legal: (joga o celular sobre a mesa) (...)”.

### **Compreensão eidética das convergências da sétima categoria**

Ao versar sobre o conceito de força e sua construção, alguns sujeitos expuseram suas concepções acerca da História da Ciência e sua possível implementação no ensino. O Sujeito 1, por exemplo, vislumbra potencialidades, mas elenca uma série de empecilhos que tendem a inviabilizar sua efetiva implantação.

Os Sujeitos 3 e 5 assinalam como foi difícil para os filósofos antigos e até mesmo para físicos como Newton e Euler compreender o conceito de força, suas causas e as equações que poderiam reger e prever o movimento dos corpos. O Sujeito 3 ainda discorre sobre as limitações e as objeções teóricas e matemáticas destes e dos demais cientistas. Tais apontamentos vão de encontro a uma visão de ciência aproblemática e ahistórica, que conjectura que:

[...] o fato de transmitir conhecimentos já elaborados, conduz muito frequentemente a ignorar quais foram os problemas que se pretendiam resolver, qual tem sido a evolução de ditos conhecimentos, as dificuldades encontradas etc., e mais ainda, a não ter em conta as limitações do conhecimento científico atual ou as perspectivas abertas. (CACHAPUZ et al, 2011, p. 47).

O interlocutor 5 e principalmente o Sujeito 3, enfatizam a significativa influência que o contexto histórico e científico, manifesto por meio de escolas filosóficas e programas de pesquisa, exercem nas proposições teóricas dos cientistas. Nesse sentido:

[...] é essencial compreender a ciência como um corpo de conhecimento historicamente em expansão e que uma teoria só pode ser adequadamente avaliada se for prestada a devida atenção ao seu contexto histórico. A avaliação da teoria está intimamente ligada às circunstâncias nas quais surge. (CHALMERS, 1993, p. 60).

Em relação à dualidade causa e efeito, o Sujeito 3 sinaliza que a física que está sendo praticada atualmente abandonou a busca por tal compreensão, pois enquanto operários de uma fábrica mercantilista, as pessoas, engenheiros e até mesmo físicos interessam-se apenas em operar e manipular dados e sistemas com o objetivo de propiciar o devido funcionamento de equipamentos. Contudo, ao voltar-se para o contexto dos estudantes do curso de licenciatura física, é pertinente refletir se é essa formação aplicacionista que se deseja oferecer, tendo em vista a futura área de atuação dos mesmos.

Em determinados momentos da sua fala, o interlocutor 5 exprime afirmações genéricas em que a História da Ciência é usada como forma de persuasão e intimidação. Nomes de

cientistas e as seus respectivos feitos são mencionados, enfatizando uma concepção individualista e elitista da ciência. Nesses casos, de acordo com Martins (1990, p. 4) “[...] invoca-se a autoridade de um grande nome para reprimir dúvidas e impor doutrinas, invertendo assim a própria natureza do pensamento científico, que, longe de se apoiar em nomes de autoridades, procura se basear em fatos e argumentos”.

Nessa categoria, ainda é possível encontrar excertos em que a história da física ou a reconstrução histórica de um conceito como a força é concebida como ingênua, pois não vai corroborar para uma melhor compreensão do constructo. Todavia, em consonância com Martins (1990, p. 4):

Sob o ponto de vista da própria competência científica, a História da Ciência também pode dar contribuição. A própria compreensão dos resultados científicos mais complexos é virtualmente impossível, sem um conhecimento histórico [...]. Sem a História, não se pode também conhecer e ensinar a base, a fundamentação da Ciência, que é constituída por certos fatos e argumentos efetivamente observados, propostos e discutidos em certas épocas.

Diante do exposto depreende-se que os sujeitos apresentam distintas visões de ciência, sendo algumas mais adequadas que outras.

### **8ª Categoria: Ensino do conceito de força**

#### Sujeito 1

**U-1** (...) nas minhas disciplinas eu sempre trabalhei com a parte de formação dos professores, então minha preocupação não é no conteúdo, o conteúdo é assim, a princípio para o alunos chegarem já sabendo o conteúdo, têm as disciplinas pra isso, então minha preocupação não é... não é ensinar o conceito de nada, e como eu nunca ministrei essas disciplinas teóricas de Física, também nunca me preocupei com isso. E como eu falei: como eu nunca ministrei, eu não sei te dizer o como eu faria, explicaria... a evolução do conceito de força pros... alunos”.

**U-2** “(...) pra haver movimento, pra haver uma variação de movimento é necessário haver alguma coisa, é o.. têm professores que acabam falando que se há movimento, há força, mas não necessariamente, apesar que se, numa situação bem fora da realidade, mas se não houver atrito você pode ter movimento e não ter força, a resultante das forças é zero, mas talvez seria importante conversar com os alunos, entender que se houver uma variação de velocidade, é necessário que alguma coisa haja sobre esse corpo pra que ele ganhe, pra que ele adquira essa variação de velocidade. Aí essa coisa... deveria levar ele a entender que é o que a gente chama de força [...]”.

**U-9** “(...) numa disciplina de física básica não, não é o objetivo da... () não estou dizendo que não acho que deveria ser assim, é..., mas é que, como o que () normalmente o pessoal faz é o conteúdo básico e exercícios e vai seguindo o que tem nos livros, então ali a maioria dos professores provavelmente não têm o menor interesse em fazer uma abordagem da história da física, assim, eu sei que isso gera interesse (...). Que deveria acontecer deveria, na prática não é o que acontece, não é”.

### Sujeito 3

**U-1** “Bom, o conceito de força, você sabe que é um conceito que tem uma longa história né, uma longa evolução conceitual, se a gente quiser, a gente começa é:: desde a física Aristotélica né, em que a força era um ingrediente necessário para manter o movimento, é:: normalmente, nas vezes em que eu tenho a chance de falar sobre isso e no curso de história da física a gente discute muito a evolução deste conceito, a ideia é passar, mostrar antes de mais nada de que se trata de um conceito intuitivo em algum, algum sentido, que depois foi sendo elaborado, né, ao longo da história, foi confundido muitas vezes com o conceito de *vis*, foi confundido muitas vezes com momento, com força mesmo, com energia né. Então quando eu estou ensinando eu começo com uma linguagem um pouco mais enxuta, operacional, quer dizer se você pega como exemplo a:: lei da dinâmica fundamental  $F = ma$ , eu procuro enfatizar que a força é um agente físico responsável por aquele  $a$  que está ali, então eu detecto o  $a$  e atribuo à vizinhança do meu corpo a ação né, é... de um agente físico que promove essa aceleração. Mas, depois é::, naturalmente eu caminho em direção ao conceito de campo, pra falar, porque surge naturalmente no contexto, mesmo quando você ensina em mecânica ou quando está dando aula de física quântica e que esse conceito, ele muda completamente, quer dizer, a tendência da física moderna –moderníssima-, é que o conceito de força se evapore, porque na relatividade/ a palavra é muito forte ‘evaporar’, ele não é mais necessário nos moldes antigos porque você, por exemplo, a interação a distância da:: digamos, da gravitação da física newtoniana em primeiro lugar é substituída pela ação dos campos na eletrodinâmica e em seguida pelas deformações do espaço-tempo na.. relatividade e na física quântica o conceito de força só pode ser olhado por uma analogia semi-clássica, a partir do teorema de Ehrenfest, porque a força clássica newtoniana, ela é aplicada num ponto do corpo e o princípio da incerteza na mecânica quântica não permite essa definição de maneira, né, então você vai para uma descrição de potencial né, e aí adquire um significado mais profundo a::/ o ambiente do corpo né, então, é uma resposta longa, mas num primeiro momento eu acho conveniente fazer uma definição de força quase que operacional para, pra você introduzir, discuti-la em conexão com o conceito de massa, e tal, tirar as representações anímicas, né, força muscular, etc., pro aluno entender que agora nós estamos falando é:: de um agente físico que atua no sentido de mudar o estado de movimento do corpo”.

**U-2** “Então, mas a história, ela é longa e ela é complicada, porque num primeiro momento, por exemplo, vamos começar com Aristóteles, né; vamos pegar um grande tratado -a gente poderia fazer isso até antes né, nos pré-socráticos-, então, mas a coisa não é:: é muito, é muito difícil reconhecer é:: e é perigoso a gente é:: perigoso do ponto de vista metodológico né, você colocar sua cabeça moderna ou pós-moderna lendo esses escritos, agora em Aristóteles, né. Nos livros de física e sobretudo no livro de física mesmo é:: existe um conceito de força que não é o nosso, evidentemente, mas é um esforço pra associá-la ao movimento do corpo, mas ali a força e o movimento do corpo estão implicados, né, então a evolução desse conceito, ela parte de algo que é inerente ao próprio corpo como se o corpo estivesse implicado no movimento até atingir a quase que não necessidade. em Descartes, Descartes faz uma Física de precursão, quer dizer, toda a interação é basicamente por contato né, olha já estou usando um conceito moderno, o conceito de interação, porque não é simples, pelo menos eu não acho, separar metodologicamente né, é... o conceito de força mesmo, aí ele vai adquirir um caráter é:: realmente mais bem definido, digamos na, na síntese newtoniana, então todo esse período da revolução científica, pra depois finalmente adquirir um conceito relacional né, se você quiser a gente pode, mas você não pode fazer isso num curso básico,

chegar até a discussão de Mach e de uma mecânica onde a força possa aparecer realmente como algo relacional. A gente não faz isso porque... talvez não seja necessário para a formação do estudante num primeiro momento, quer dizer, é:: -eu volto a insistir: é:::, você discute sim o conceito tentando dizer que é preciso desentranha-lo desde a antiguidade, onde ele vinha confundido, como eu te disse: foi confundido com momento até se entender o momento e aí vê-lo como responsável pela variação do momento ou da quantidade de movimento com o tempo, mas eu vou/ até em Leibniz, por exemplo, algumas vezes esse conceito de *vis*, ele que usou muito o conceito de *vis viva*, a energia cinética, mas algumas vezes, dava a entender que era uma quantidade escalar, aí você pensava ‘bom, deve ser energia, ele tá pensando em energia’, mas às vezes, era uma quantidade vetorial, aí dava a entender que estava pensando em uma variação de quantidade de movimento, né. Então, a evolução é lenta, até termos a partir da segunda lei, das leis de Newton de modo geral né, é::: segunda e terceira, que tratam mais diretamente da/ é::: a possibilidade de introduzir definições, com as quais você opera, então eu acho que fazer essa passagem de um conceito que é quase que animístico, implicado no corpo, para um conceito em torno do qual você pode operar, definir a partir de uma balança, comparar as ações dessas, sobre dois corpos de massas diferentes e as duas coisas vêm juntas de novo né, você sabe que esse conceito ali no *Principia* eles estão é... não é que eles estão implicados no sentido de que eles não são claros, mas é que eles se tornam claros na medida em que você introduz os dois né, essa ideia, né, não sei se eu respondi... essa é minha ideia. E eu gosto sempre de trazer, mesmo nas poucas vezes que dei o curso de Física I e sobretudo nos de História da Física mesmo de Mecânica Quântica, trazer a problemática para a física contemporânea porque a gente consegue olhar retrospectivamente como foi difícil fazer esse percurso para entender a interação entre dois corpos, porque no fundo é disso que se trata: dois corpos, um corpo pode ser o meu, um corpo  $m$  aqui e o resto () do universo né, o ambiente todo ou dois corpos mesmo que é suficiente, eu preciso ter duas instâncias assim que interajam né. É depois () vai ter o conceito de auto interação, que é uma coisa mais elaborada em eletrodinâmica quântica, é::: então para não confundir, quando você é::: explica é::: insistindo e explica para um estudante, pra gente mesmo né, insistir em distingui-la de momento, de trabalho, de esforço né e tentar limpar esse conceito para dar a ele uma definição com a qual se opera, uma vez que você tem essa definição com a qual se opera você passa por um conceito de interação, pro conceito de campo e aí eu acho que você consegue colocá-lo numa perspectiva mais ampla. É mais ou menos isso...”.

**U-8** “A dinâmica newtoniana à luz da análise foi feita por Euler, e isso prepara de maneira cabal, digamos assim, é só possível a dinâmica Lagrangeana e dinâmica hamiltoniana em cima dessa mecânica analítica, que é essa passagem, essa matematização, a matematização que a gente sempre fala: da matematização do real, é um tema que sempre me interessei, é verdade, eu leio sempre aquela frase do *Saggiatore* do Galileu que a natureza está escrita na linguagem objetiva, a gente adota aquilo como símbolo, é verdade (), todos os méritos a Galileu, aí vem Kepler, descobre irregularidades (), as leis de Kepler, aí vem Huygens com o conceito de força centrífuga, por exemplo, de Newton é o de Huygens e ele ficava bravo porque o Huygens chegou antes dele e o Huygens só não deu mais contribuições porque o Huygens era perfeccionista, não publicou o que deveria, é::: se ele fosse um físico hoje ele já desovava tudo, ele era muito cuidadoso e tal, então ele perdeu alguns, alguns primaz, aí vem Newton, mas na verdade a matemática que a gente usa nos cursos, até os elementares e tal, toda ela é euleriana, pra resumir a mecânica analítica numa pessoa, tem mais gente, mas ela é basicamente euleriana, então Euler sim, ele tá nesse mesmo grupo né, eu acho que Euler é um físico tão grande quanto Newton, é simples assim. Euler pega o bastão em Newton e entrega em Lagrange e Hamilton e esse trabalho é basicamente conduzido pelo Euler”.

#### Sujeito 4

**U-2** “Bom, eu sigo a sequência exatamente igual à do livro assim. É uma aula que-, é uma aula padrão, é aquelas aulas que não têm nada extra, assim. Eu dou uma aula só no quadro mesmo, também não uso slide e a gente segue sempre pela primeira lei né, aí a primeira lei é da lei da inércia e depois discute a segunda lei e aí explica porque que existe essa primeira lei, sendo que a segunda daria conta da primeira lei, aí é pelo fato de definição de referencial inercial e depois, depois discute a terceira lei, ação e reação. E depois faz um monte de exercícios, problemas, tenta resolver problemas com os alunos relacionados com essa, com essa metodologia aí, com esses, esses conceitos que eles têm, né”.

**U-6** “Bom, eu falo para eles que têm quatro forças fundamentais, de acordo com livros que a gente adota né, são a força forte, a força fraca, a eletromagnética e a gravitacional. Todas as outras forças que você diz, por exemplo, ‘força de atrito são todas forças que são derivadas dessas quatro forças’. Então eu tenho que dar uma pincelada pra eles nessas quatro forças né. É difícil falar sobre as forças é:: forte e fraca, mas é são mais abstratas. Mas, a gravitacional e a eletromagnética eles tem mais o contato assim do:: desde antes de entrar na faculdade, então fica mais fácil um pouco de abordar”.

#### Sujeito 5

**U-8** “(...) normalmente eu chamo atenção pros alunos é que demorou muito pra aparecer o conceito de força, então várias (), porque as três leis de Newton tiveram que ser juntadas, né? muita gente não fala muito da terceira lei né, mas ela é essencial quando pensa em força, vários livros-texto não ficam falando tanto, ficam falando como uma propriedade, mas na hora de formular e juntar tudo é muito importante né a terceira lei, mas então, voltando lá, naquela época foi trabalhoso, foi difícil, vou fazer um trocadilho: ‘teve que fazer muita força pra chegar ao conceito de força’, parece que depois que teve algum conceito assim com uma clareza com Newton, parece que já estava mais direcionado e que foi muito mais fácil outros desenvolvimentos, e hoje a gente consegue resumir de alguma forma o conceito de força que foi aquele que eu comecei a conversa, em algum sentido, ele representa o efeito do resto do universo sobre uma partícula para um ponto de vista dinâmico e aí depois () porque é difícil né, porque é uma lei, é uma lei, né, ela não sai de graça”.

**U-13** “(...) no dia que você for dar aula de... mecânica, você, depende da sua-, do seu jeito didático, você vai matar os seus alunos por cansaço até eles aprenderem as leis de Newton ou se não, vou achar que não é um texto, um discurso escrito é falado, você usa as palavras... o resultado sensacional, o importantíssimo e aí assim, camufla a essência da discussão (risos)”.

### **Compreensão eidética das convergências da oitava categoria**

Nesta categoria concentram-se os discursos que contemplam o ensino de conceito de força. Se sobressai uma abordagem tradicional, mais operacional, tendo como ponto de partida as leis de Newton, em especial a segunda,  $F = ma$ . A partir desse pressuposto, alguns sujeitos

adotam a sequência apresentada nos livros didáticos, outros associam a força a uma alteração no estado de movimento e outros a vinculam a uma “tendência para”.

Há uma preocupação por parte de alguns interlocutores, 3 e 5, como já anteriormente mencionado, em enfatizar para os estudantes o quão difícil foi chegar nos constructos teóricos amplamente difundidos nos dias de hoje, desvinculada de representações não-científicas. Também se ressalta que a compreensão do conceito de força não é trivial, assim como os conceitos inerentes à física contemporânea. Tais inferências são interpretadas como benéficas no ensino, uma vez que, possivelmente os sujeitos, enquanto professores, terão empatia para entender o quão laborioso pode ser a compreensão do conceito de força pelos discentes e então buscar alternativas para superar os possíveis os obstáculos conceituais.

O Sujeito 3 chama a atenção para o fato que o formalismo matemático usado nos cursos de física é basicamente euleriana. Contudo, não são dados a Euler os devidos créditos.

### **4.2.3 Compreensão Nomotética Geral**

As falas que emergiram dos participantes da pesquisa, bem como os “não-ditos”, propiciam percepções notáveis e também preocupantes. Em linhas gerais, a construção de conceitos de força não alcança, como defende-se que deveria, o âmbito do Ensino Superior, tampouco o do Ensino Médio. Os professores, enquanto formadores de futuros licenciados em Física, revelam, via de regra, desconhecimento deste arcabouço histórico ou o colocam como trivial, dispensável e irrisório, o que corrobora significativamente para que estes profissionais, quando estiverem em exercício de suas profissões, ensinem como foram ensinados, despojando-se de construções históricas essenciais para o entendimento de conceitos e valendo-se de encaminhamentos didáticos, metodológicos e epistemológicos reprodutivistas e reducionistas que simplificam o modo como os conhecimentos científicos são apresentados.

Há um demasiado distanciamento entre o “Saber Sábio” e o “Saber a Ensinar”, que suscita apreensões no que tange ao empobrecimento e a invisibilidade da História da Física no ensino desta disciplina. Tal perecimento tende a se acentuar ainda mais no contexto do ensino básico, haja vista a diminuição e engessamento de políticas públicas, bem como a implementação de reformas educacionais instituídas pelo Governo Federal que, com efeito, tendem a corroborar para uma educação mercadológica e tecnicista.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento histórico dos conceitos de força inerentes aos séculos XVII e XVIII não se deram de forma linear e cumulativa, pois os cientistas desse contexto, influenciados pelo meio científico e social que os cercavam, empenharam-se em construir teorias que explicassem como se dava a interação entre os corpos – por contato ou a distância. As interações físicas consistiam em um problema que permeava a mente dos estudiosos e os faziam elaborar teorias alicerçadas em ferramentas matemáticas e conceituais, as quais dispunham na época.

De acordo com o exposto no recorte histórico do Capítulo I, Descartes renunciou o conceito de força de sua física e aderiu exclusivamente às concepções matemáticas, rejeitando veementemente a ação a distância. Sua teoria dos vórtices buscou explicar os movimentos celestes e a gravitação. Newton, nos *Principia*, concebeu a existência de três tipos de força, a inata, a impressa e a centrípeta, bem como postulou as três leis do movimento, vinculadas às forças conjecturadas. A ação a distância foi, no princípio, revogada, porém no decorrer dos seus estudos passou a ser reconsiderada.

A conceituação das forças assumiu uma posição ímpar na dinâmica euleriana, culminando na formulação da expressão matemática  $F = ma$ . Além dessa contribuição, Euler empenhou-se em compreender a origem das forças sob a perspectiva da impenetrabilidade da matéria. Já a dinâmica boscovichiana, embasou-se na proposição de forças atrativas e repulsivas atuando entre as partículas de matéria, mantendo uma relação de dependência com a distância que as separavam. Contemporâneo a Euler, Lesage propôs uma teoria mecânica da gravidade que apresentava características apreciáveis na ciência, como simplicidade e profundidade.

Ao caminhar para o término do século XVIII, a teoria dos fluidos imponderáveis buscou elucidar como ocorriam os fenômenos elétricos, magnéticos, térmicos, etc. Schelling, como um dos principais representantes da escola filosófica da *Naturphilosophie*, era adepto a uma física especulativa, dotada de uma concepção dinâmica da natureza, em que esta passou a ser expressa em termos de produto e produtividade, causa e fim dos fenômenos, opondo-se à concepção mecanicista, que julgava a natureza como uma máquina suscetível à obediência de determinadas ordens. Findando o século XVIII, o programa de pesquisa laplaciano dedicou-se a explicar os fenômenos terrestres e celestiais, em particular na escala molecular, em termos de forças centrais entre partículas que poderiam ser consideradas atrativas ou repulsivas.

O breve recorte apresentado revela a história da construção dos conceitos de força nos séculos XVII e XVIII, porém não é essa história que é abordada nos livros didáticos voltados

para o Ensino Superior. A versão que é sucintamente difundida nos livros-texto e na bibliografia em geral é a dos “vencedores”, ou seja, a mecânica newtoniana suplanta indevidamente as contribuições de seus predecessores e sucessores, a invisibilidade da história se mostra como um problema, no sentido em que a memória histórica do desenvolvimento dos conceitos de força está se esvaindo, cedendo espaço à argumentos de autoridade que, com efeito, corroboram para uma concepção de ciência aproblemática, linear, pronta e acabada.

Os manuais didáticos adotados, tanto como referência básica quanto complementar nas instituições de ensino do Estado do Paraná são praticamente os mesmos, os nomes e contribuições dos cientistas dos séculos XVII e XVIII, com relativa exceção de Newton, são menosprezadas, o que revela uma cultura acadêmica que impõe os conhecimentos, normas e valores que supõem-se que devam ser transmitidos aos estudantes, futuros professores de física. Os conhecimentos que são priorizados nesses materiais atendem a uma formação doutrinadora pois, conforme Martins (1990, p. 4) pontua: “ensinar um resultado sem a sua fundamentação é simplesmente **doutrinar**, e não ensinar ciência”.

Em particular, a partir da análise das bibliografias sugeridas no curso de licenciatura em física de uma universidade pública do estado do Paraná, pode-se inferir que a história oficial do desenvolvimento dos conceitos de força é ignorada e é dada ênfase a uma abordagem voltada essencialmente para a resolução de problemas, em que os conteúdos encontram-se dispostos seguindo uma ordem bastante semelhante. Nos livros consultados, o conceito de força mecânica é: relacionada a ação de puxar ou empurrar; resultado de um esforço físico; definida pela expressão  $F = ma$ ; a causa da aceleração; a interação entre corpos; uma grandeza vetorial. Percebe-se, portanto, um conjunto de definições que são difundidas sem a devida contextualização ou aporte histórico.

A teoria da transposição didática, enquanto um dispositivo analítico, contempla o processo por meio do qual o saber proposto pelos cientistas (o Saber Sábio) se transforma em um novo saber (o Saber a Ensinar), dotado de especificidades próprias, que se materializa nos documentos curriculares e dos livros didáticos e, posteriormente, em outro tipo de saber (o Saber ensinado) que efetivamente é ensinado no cotidiano escolar. Nesse sentido, ao valer-se da teoria da transposição didática para vislumbrar a transformação desses saberes, foi possível identificar que o “Saber Sábio”, ao se tornar objeto de ensino, além de sofrer os processos de descontextualização, dessincretização e despersonalização, não corresponde ao saber que foi elaborado pelos cientistas, pois como exposto no percurso histórico, a formulação matemática  $F = ma$  é de autoria de Euler, entretanto nos manuais didáticos ela é equivocadamente atribuída à Newton sob a especificação “segunda lei de Newton”. Outro exemplo, refere-se à lei da



inércia, que teve suas origens em Descartes, no entanto, também é dado somente à Newton o crédito.

Os professores são agentes ativos da transposição didática, pois o Saber Ensinado é resultado da transposição que o mesmo realiza em sala de aula, independentemente do nível de ensino. Partindo dessa premissa e contrastando-a com a análise das entrevistas realizadas com os docentes universitários de uma instituição pública do estado do Paraná, percebe-se que os saberes priorizados são alusivos à uma abordagem histórica bem precária e defasada do desenvolvimento dos conceitos de força, em especial nos séculos XVII e XVIII. Com exceção de um professor participante da pesquisa, os demais docentes apenas mencionaram os feitos de Newton e as suas aplicações e, em alguns casos, foram citados nomes de cientistas que corroboraram para formulação da mecânica clássica e a mecânica quântica.

A concepção dos professores a respeito dos conceitos de força oscila; há sujeitos que os entendem como um conceito intuitivo e outros como não-intuitivo, há discursos que o consideram trivial e outros que o compreendem como complexo e, às vezes, não necessário com o advento da física moderna e da relatividade. Pontua-se ainda que os manuais didáticos interferem na prática docente, às vezes de modo exclusivo e determinante, o que contribui para uma didática orientada para a resolução de problemas, bem como favorece à ausência de significação que assola boa parte dos conteúdos científicos.

Sob a ótica da transposição didática, entende-se que é admissível um certo distanciamento entre os conhecimentos inerentes à construção dos conceitos de força nos séculos XVII e XVIII, contidos nas obras primárias dos cientistas e o ensino destes. Contudo, esse empobrecimento já sinalizado nos livros alcança níveis preocupantes e é ainda mais acentuado na prática docente dos professores universitários. Infere-se, portanto, que a maioria dos docentes não possuem ou não se interessam pela memória histórica dos conceitos, no caso, os de força, porque não se tem mais memória, o desenvolvimento dos constructos teóricos é relegado indiretamente aos historiadores da ciência.

A universidade é o lócus, onde as disciplinas foram elaboradas historicamente. As práticas, comportamentos e conhecimentos físicos a serem ensinados são produtos e processos vinculados com os embates e crenças que os produziram. A educação encontra-se arraigada a uma cultura e é pela educação que essa cultura é transmitida à posteridade. Desse modo, os pressupostos teóricos e metodológicos adotados pelos professores de Física em relação aos conceitos de força são frutos da cultura que os cercam e, com efeito, provavelmente serão estes referenciais que subsidiarão a prática docente dos licenciandos, futuros professores de física.

Além desses fatores internos, há também forças externas que estão imbricadas na história das disciplinas. Nesse sentido, apesar da pluralidade de aspirações e interesses, compreende-se que é necessária uma reelaboração dos saberes culturais a serem transmitidos no âmbito da formação inicial, uma vez que, mediante a análise dos dados, conclui-se que é fundamental resgatar as origens dos conceitos de força, de sua história, de suas inúmeras possibilidades e dificuldades, de seus erros e imprecisões e de suas contingências a fim de promover um ensino emancipatório, crítico e comprometido com os processos de produção do conhecimento e com a superação da falta de significações dos conceitos científicos. Ademais, o resgate histórico dos conceitos de força, em especial nos séculos XVII e XVIII, além de favorecer a aprendizagem dos conceitos em si e de suas aplicações, potencialidades e limitações, também possibilita uma melhor compreensão da natureza da ciência, da atividade científica e da mutabilidade e provisoriedade das teorias.

Para tanto, os dados da pesquisa mostram que é imprescindível ultrapassar as barreiras impostas pelos manuais didáticos no que se refere à abordagem factual e empobrecida da história dos conceitos de força, baseada em definições categóricas e nas teorias tidas como “verdadeiras”. Ao encontro dessa ponderação, apreende-se que os professores universitários carecem de estar engajados nessa proposta, para que a história da ciência cumpra seu papel na construção de conhecimentos científicos e na ação de ensinar, e não apenas doutrinar.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, Geraldo Peçanha. **Transposição didática: Por onde começar?** São Paulo: Cortez Editora, 2007.
- ALONSO, Marcelo; FINN, Edward J. **Física: um curso universitário**. v. 1.2. São Paulo: Edgard Bücher, 1972.
- ALVES-FILHO, José de Pinho. Regras da Transposição Didática aplicadas ao laboratório didático. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 17, n. 2, p. 44-58, 2000.
- ALVES-FILHO, José de Pinho; PINHEIRO, Terezinha de Fátima; PIETROCOLA, Maurício: A eletrostática como exemplo de Transposição Didática. *In: Mauricio Pietrocola. (Org.). **Ensino de Física: Conteúdo, Metodologia, Epistemologia***. Florianópolis: Ed. UFSC, 2001, p. 77-100.
- ASSIS, André Koch Torres. Newton e suas grandes obras: o Principia e o Óptica. *In: ALMEIDA, Maria Jose Pereira Monteiro; SILVA, Henrique César da (Org.). **Linguagens, Leituras e Ensino da Ciência***. Campinas: Mercado de Letras/Associação, 1998, p. 37-52.
- ASSIS, André Koch Torres. **Os fundamentos experimentais e históricos da eletricidade**. Montreal: Apeiron, 2010.
- BARROS, Marcelo Alves; CARVALHO, Ana Maria Pessoa de. A história da ciência iluminando o ensino de visão. **Ciência & Educação**, v. 5, n.1, p. 83-94, 1998.
- BICUDO, Maria Aparecida Viggiani. A análise fenomenológica estrutural e variações interpretativas. *In: BICUDO, Maria Aparecida Viggiani (Org.) **Pesquisa qualitativa: segundo a visão fenomenológica***. São Paulo: Cortez, 2011d, p. 53-74.
- BICUDO, Maria Aparecida Viggiani. A pesquisa qualitativa olhada para além dos seus procedimentos. *In: BICUDO, Maria Aparecida Viggiani (Org.) **Pesquisa qualitativa: segundo a visão fenomenológica***. São Paulo: Cortez: 2011a, p. 11-28.
- BICUDO, Maria Aparecida Viggiani. A Pesquisa qualitativa fenomenológica: interrogação, descrição e modalidades de análise. *In: BICUDO, Maria Aparecida Viggiani (Org.) **Pesquisa qualitativa: segundo a visão fenomenológica***. São Paulo: Cortez: 2011c, p. 41-52.
- BICUDO, Maria Aparecida Viggiani. Aspectos da pesquisa qualitativa efetuada em uma abordagem fenomenológica. *In: BICUDO, Maria Aparecida Viggiani (Org.) **Pesquisa qualitativa: segundo a visão fenomenológica***. São Paulo: Cortez: 2011b, p. 29-40.
- BICUDO, Maria Aparecida Viggiani. **Fenomenologia: Confronte e Avanços**. São Paulo: Cortez, 2000.
- BICUDO, Maria Aparecida Viggiani. Sobre a Fenomenologia. *In: BICUDO, Maria Aparecida Viggiani; ESPÓSITO, Vitória Helena Cunha (Org.) **Pesquisa Qualitativa em Educação***. Piracicaba: Unimep, 1997, p. 15-22.

BOSCOVICH, Roger Joseph. **A Theory of Natural Philosophy**. Latin-English Edition. Chicago/London: Open Court Publishing Company, 1922.

BOSS, Sérgio Luiz Bragatto *et al.* Contribuições da história da ciência para o ensino do conceito de carga elétrica - os princípios de Du Fay para eletricidade. *In: XVIII Simpósio Nacional de Ensino de Física*, 2009, Vitória (ES). **Anais...** Vitória, 2009.

BOSS, Sérgio Luiz Bragatto. **Tradução comentada de artigos de Stephen Gray (1666- 1736) e reprodução de experimentos históricos com materiais acessíveis: subsídios para o ensino da eletricidade.**, 2011. 349 f. Tese (Doutorado em Educação para a Ciência) – Faculdade de Ciências Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2011.

BOSS, Sérgio Luiz Bragatto; ASSIS, André Koch Torres; CALUZI, João José. **Stephen Gray e a descoberta dos condutores e isolantes:** tradução comentada de seus artigos sobre eletricidade e reprodução de seus principais experimentos. São Paulo: Cultura acadêmica, 2012.

BOSS, Sérgio Luiz Bragatto; CALUZI, João José. Os conceitos de eletricidade vítrea e eletricidade resinosa segundo Du Fay. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 29, n. 4, p.635-644, 2007.

BOSS, Sérgio Luiz Bragatto; CALUZI, João José. Uma breve biografia de Stephen Gray (1666-1736). **Revista Brasileira de Ensino de Física:** São Paulo, v. 32, n. 1, p. 1-9, 2010.

BUENO, Enilda Rodrigues de Almeida. Fenomenologia: a volta às coisas mesmas. *In: PEIXOTO, Adão José (Org).* **Interações entre fenomenologia & educação.** Campinas: Alínea, 2003.

BURTT, Edwin Arthur. **As Bases metafísicas da ciência moderna.** Brasília: Editora Universidade de Brasília, 1991.

CACHAPUZ, António *et al* (Org.) **A necessária renovação no ensino de ciências.** 3ª ed. São Paulo: Cortez, 2011.

Carta de Newton a Robert Boyle, 28 Fev.1679. Disponível em:<http://www.newtonproject.ox.ac.uk/view/texts/normalized/NATP00275>. Acesso em: 05/12/2017.

CARVALHO, Ana Maria Pessoa de. A influência das mudanças da legislação na formação dos professores: as 300 horas de estágio supervisionado. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 7, n. 1, p. 113-122, 2001.

CARVALHO, Ana Maria Pessoa de; SASSERON, Lucia Helena. Abordagens histórico-filosóficas em sala de aula: questões e propostas. *In: CARVALHO, A. M. P. de (Coord.).* **Ensino de Física.** São Paulo: Cengage Learning, 2010. p. 107-139.

CHALMERS, Alan Francis. **O que é a ciência afinal?** São Paulo: Brasiliense, 1993.

CHEVALLARD, Yves. **La transposición didáctica:** del saber sábio al saber enseñado. Buenos Aires: Aique, 1991.

CHIPMAN, Russell. A. The manuscript letters of Stephen Gray, F.R.S. (1666- 1736) **Isis**, v. 49, n. 4, p. 414-433, 1958.

COHEN, I. Bernard. “Quantun in Se Est”: Newton’s Concept of Inertia in Relation to Descartes and Lucretius. **Notes & Records of The Royal Society**, Londres, n. 19, p. 131-155, 1964.

COHEN, I. Bernard. **Introduction to Newton’s Principia**. Cambridge: Harvard University Press, 1971.

COHEN, I. Bernard. **O nascimento de uma nova física: de Copérnico a Newton**. São Paulo: Edusp, 1967.

COHEN, I. Bernard; WESTFALL, Richard S. **Newton: textos, antecedentes e comentários**. Rio de Janeiro: Contraponto, 2002.

CRUZ, Frederico Firmo de Souza. O conceito de força na Idade Média. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v.2, p. 64-73, 1985.

D’AMBRÓSIO, Ubiratan. Euler: um matemático multifacetado. **Revista Brasileira de História da Matemática**, v. 9, n. 17, p. 13-31, 2008.

DESCARTES, René. **O Mundo ou Tratado da Luz**. Campinas: Unicamp, 2009.

DESCARTES, René. **Princípios da filosofia**. São Paulo: Rideel, 2007.

DIAS, Penha Maria Cardoso.  $F=ma$ !!! O nascimento da lei dinâmica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 28, n. 2, p. 205-234, 2006.

DUARTE, Aparecida Rodrigues Silva. Cultura acadêmica e cultura escolar: relações entre matemáticos e professores de matemática. **Revista Diálogo Educação**, Curitiba, v. 8, n. 25, p. 647-662, 2008.

EULER, Leonhard Paul. Découverte d’un nouveau principe de Mécanique. **Mem. Acad. Roy. Sci.** Berlin, 1750 (data de apresentação), v.6, p. 185-217, 1752.

EULER, Leonhard Paul. Euler's mecânica, v.1, p.47-94, 1736. Disponível em <http://www.17centurymaths.com/contents/euler/mechvol1/ch2.pdf>. Acesso em: 17 abr. 2019.

EULER, Leonhard Paul. **Letters of Euler: on different subjects**. London. Second Edition, 1802.

EVANGELISTA, Luiz Roberto. **Perspectivas em História da Física Vol. 2**. São Paulo: Livraria da física, 2014.

EVANS, James. Sources, construction and reception of Le Sage’s Theory of Gravitation. In: EDWARDS, Matthew R. (Org.). **Pushing Gravity: new perspectives on Le Sage’s theory of gravitation**. Montreal: Apeiron, 2002.

FINI, Maria Inês. Sobre a pesquisa qualitativa em educação, que tem a fenomenologia como suporte. *In*: BICUDO, Maria Aparecida Viggiani; ESPÓSITO, Vitória Helena Cunha (Org.) **Pesquisa Qualitativa em Educação**. Piracicaba: Unimep, 1997, p. 23-34.

FITAS, Augusto J. Santos. Mach: o positivismo e as reformulações da mecânica no séc. XIX. *In*: 3º Encontro de Évora sobre História e Filosofia da Ciência, 1998. **Anais...Évora**, 1998, p. 115-134.

FITAS, Augusto J. Santos. Os Principia de Newton, alguns comentários (Primeira parte, a Axiomática). **Vértice**, Coimbra, n. 72, p. 1-43, 1996.

FORQUIN, Jean-Claude. **Escola e cultura**: as bases sociais e epistemológicas do conhecimento escolar. Porto Alegre: Artes Médicas, 1993.

FORQUIN, Jean-Claude. Saberes escolares, imperativos didáticos e dinâmicas sociais. **Teoria e Educação**, Porto Alegre, n. 5, p. 28-49, 1992.

FOX, Robert. The rise and fall of Laplacian Physics. **Historical Studies in the Physical Sciences**, v. 4, p. 89-136, 1974.

GARDELLI, Daniel. Antecedentes históricos ao surgimento do Eletromagnetismo. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 35, n. 1, p. 118-137, 2018.

GARDELLI, Daniel. **Concepções de interação física**: subsídios para uma abordagem histórica do assunto no Ensino Médio. 2004. 119 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências) – Instituto de Física, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

GARDELLI, Daniel. **Experimento de Orsted**: subsídios para uma abordagem histórica do assunto no ensino médio. 2014, 208f. Tese (Doutorado em Educação para a Ciência e a Matemática) – Programa de Pós-graduação em Educação para a Ciência e a Matemática, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2014.

GAUKROGER, Stephen. The Metaphysics of Impenetrability: Euler's Conception of Force. **British Society for History of Science**, v. 15, n. 2, p. 132-154, 1982.

GAUTHIER, Clermont. *et al.* **Por uma teoria da pedagogia**: pesquisas contemporâneas sobre o saber docente. 3.ed. Ijuí: Unijuí, 2013.

GOLDEMBERG, José. **Física geral e experimental Vol. 1**. 3 ed. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 1977.

GONÇALVES, Márcia Cristina Ferreira. Introdução. *In*: SCHELLING, Friedrich Wilhelm Joseph. **Aforismos para introdução à filosofia da natureza e Aforismos sobre filosofia da natureza**. São Paulo: Folha de São Paulo, 2015, p. 7-29.

GOUGH, J.B. LeSage, George-Louis. *In*: GILLISPIE, C. C. (Ed.). **Dictionary of Scientific Biography**. 16 vols. New York: Charles Scribner's Sons, v. 8, 1981. p. 259-260.

GOWER, Barry. Speculation in Physics: the history and practice of Naturphilosophie. **Studies in History and Philosophy of Science**, v.3, n.4, p. 301-356, 1973.

HALLIDAY, David; WALKER, Jearl; RESNICK, Robert. **Fundamentos de Física: mecânica**. v.1 .9 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

HESSE, Mary Brenda. **Forces and Fields: the concept of action at a distance in the history of physics**. New York: Philosophical Library, 1961.

JAMMER, Max. **Conceitos de força: estudos sobre os fundamentos da dinâmica**. Rio de Janeiro: Contraponto, 2011.

KANT, Immanuel. **Primeiros Princípios Metafísicos da Ciência da Natureza**. Lisboa: Edições 70, 1990.

KLUTH, Verilda Speridião. A rede de significação: um pensar metodológico de pesquisa. *In*: BICUDO, Maria Aparecida Viggiani (Org.) **Pesquisa qualitativa: segundo a visão fenomenológica**. São Paulo: Cortez: 2011, p. 75-98.

KOYRÉ, Alexandre. **Do mundo fechado ao Universo infinito**. Rio de Janeiro: Forense Universitária, 2006.

LAPLACE, Pierre-Simon. **Traité de Mécanique Céleste**, v. 5. Paris, 1825. Disponível em: <http://ia601203.us.archive.org/8/items/traitdemcanique05lapl/traitdemcanique05lapl.pdf>. Acesso em: 21/11/2019.

LAPLACE, Pierre-Simon. **Exposition du Système du Monde**, v. 2. Paris, 1796. Disponível em: <http://ia700500.us.archive.org/8/items/expositiondusyst02lapl/expositiondusyst02lapl.pdf>. Acesso em: 21/11/2019.

LENOIR, Timothy. The Gottingen Scholl and the Developmente of Transcendental Naturphilosophie in the Romantic Era. **Studies in History of Biology**, Baltimore. v.5 p. 111-205, 1981.

MACHADO, Juliana; MARMITT, Débora Beatriz Nass. Conceitos de força: significados em manuais didáticos. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, v. 15, n. 2, p. 281-296, 2016.

MACHADO, Ozeneide Venancio de Mello. Pesquisa qualitativa: modalidade fenômeno situado. *In*: BICUDO, Maria Aparecida Viggiani; ESPÓSITO, V.H.C (Org.) **Pesquisa Qualitativa em Educação**. Piracicaba: Unimep, 1997, p. 35-46.

MARKOVIC, Z. Boskovic, Rudjer J. *In*: GILLISPIE, Charles Coulston (ed.). **Dictionary of Scientific Biography**. New York: Charles Scribner's Sons, v. 2, 1981, p. 326-332.

MARTINS, Joel; BICUDO, Maria Aparecida Viggiani. **A pesquisa qualitativa em psicologia: fundamentos e recursos básicos**. São Paulo: Moraes, 1989.

MARTINS, Joel; BICUDO, Maria Aparecida Viggiani. **Estudos sobre existencialismo, fenomenologia e educação**. São Paulo: Moraes, 1983.

MARTINS, Roberto de Andrade. A maçã de Newton: história, lendas e tolices. *In: SILVA, Cibelle Celestino (Org.). Estudos de história e filosofia das ciências: subsídios para aplicação no ensino.* São Paulo: Livraria da Física, 2006, p. 167-189.

MARTINS, Roberto de Andrade. Descartes e a Impossibilidade de Ações a Distância. *In: FUKS, Saul (Org.). Descartes – Um Legado Científico e Filosófico.* Rio de Janeiro: Relume Dumará, 1998.

MARTINS, Roberto de Andrade. Estado de repouso e estado de movimento. *In: PEDUZZI, Luiz Orlando de Quadro; MARTINS, André Ferrer Pinto; FERREIRA, Juliana Mesquita Hidalgo (Org.). Temas de História e Filosofia da Ciência no Ensino.* Natal: EDUFRN, 2012, p. 291-309.

MARTINS, Roberto de Andrade. Introdução. A história das ciências e seus usos na educação. *In: SILVA, Cibele Celestino. (Org.). Estudos de história e filosofia das ciências: subsídios para aplicação no ensino.* São Paulo: Livraria da Física, 2006. p. xxi-xxxiv.

MARTINS, Roberto de Andrade. Sobre o papel da história da ciência no ensino. **Boletim da Sociedade Brasileira de História da Ciência**, Rio de Janeiro, v.9, p. 3-5, 1990.

MARTINS, Roberto de Andrade. **Universo: teorias sobre sua origem e evolução.** São Paulo: Moderna, 1994.

MARTINS, Milene Rodrigues; NEVES, Marcos Cesar Danhoni Neves; GARDELLI, Daniel. A concepção de força de Roger Boscovich. **Ensino & Pesquisa**, v. 17, n.2, p. 113-124, 2019.

MARTINS, Milene Rodrigues; NEVE, Marcos Cesar Danhoni; GARDELLI, Daniel. A teoria gravitacional de George-Louis Lesage. **Revista Valore**, v. 3 (edição especial), p. 735-743, 2018.

MATTHEWS, Michael. R. História, Filosofia e Ensino de Ciências: a Tendência Atual de Reaproximação. Tradução: Claudia Mesquita de Andrade. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 12, n. 3, p. 164-214, dez. 1995.

McGUIRE, J. E.; TAMNY, Martin. **Certain Philosophical Questions: Newton's Trinity Notebook.** Cambridge: Cambridge University Press, 1983.

NAUENBERG, Michael. Comment on 'Is Newton's second law really Newton's?' by Bruce Pourciau. **American Journal of Physics**. v. 80, p. 931-935, 2012.

NEVES, Késia Caroline Ramires. **Um exemplo de transposição didática: o caso das matrizes.** 2009. 164 f. Dissertação (Mestrado em Educação para as Ciência e o Ensino da Matemática) Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2009.

NEVES, Marcos Cesar Danhoni. A história da ciência no Ensino de Física. **Revista Ciência & Educação**, v, 5, n.1, p. 73-81, 1998.

NEVES, Marcos Cesar Danhoni. **O que é isto, a ciência?** Maringá: Eduem, 2005.



NEVES, Marcos Cesar Danhoni. Resenha Pushing Gravity: new perspectives on Le Sage's theory of gravitation. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 20, n. 3, p. 400-405, dez. 2003.

NEVES, Marcos Cesar Danhoni. Uma investigação sobre a natureza do movimento ou sobre uma história para a noção do conceito de força. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 22, n. 4, p. 543-556, 2000.

NEWTON, Isaac. **Óptica**. São Paulo: Edusp, 2002.

NEWTON, Isaac. **Principia**: Princípios Matemáticos de Filosofia Natural (Livro I). 1ed. São Paulo: Edusp, 1990.

NEWTON, Isaac. **Principia**: Princípios Matemáticos de Filosofia Natural (Livros II e III). São Paulo: Edusp, 2008.

NEWTON, Isaac. **Principia**: Princípios Matemáticos de Filosofia Natural (Livro I). 2.ed. São Paulo: Edusp, 2016.

PANZA, Marco. Mathematisation of the Science of Motion and the Birth of Analytical Mechanics: a Historiographical Note. *In*: CERRAI, P.; FREGUGLIA, P.; PELLEGRINI, C. (Eds.) **The Application of Mathematics to the Sciences of Nature**. Springer: Boston, MA, 2002.

PEDUZZI, Luiz Orlando de Quadro. **Da Física e da Cosmologia de Descartes à Gravitação Newtoniana**. Publicação interna. Departamento de Física, Universidade Federal de Santa Catarina, 2015.149 p.

PRETI D. (Org) **O discurso oral culto** 2 ed. São Paulo: Humanitas Publicações – FFLCH/USP, 1999 – (Projetos Paralelos. V.2) 224p.

PESSANHA, Eurize Caldas; DANIEL, Maria Emília Borges; MENEGAZZO, Maria Adélio. Da história das disciplinas escolares à história da cultura escolar: uma trajetória de pesquisa. **Revista Brasileira de Educação**, Rio de Janeiro, n.27, p. 57-69, 2004.

PIRES, Antonio. S. T. **Evolução das ideias da Física**. São Paulo: Livraria da Física, 2011.

PONCZEK, Roberto Leon. Da bíblia a Newton: uma visão crítica da Mecânica. *In*: José Fernando Rocha (Org.). **Origens e Evolução das ideias da Física**. Salvador: EDUFBA, 2015, p. 21-131.

POURCIAU, Bruce. Is Newton's second law really Newton's? **American Journal of Physics**. v. 79, p. 1015-1022, 2011.

POURCIAU, Bruce. Newton's Interpretation of Newton's Second Law. **Springer**, v.60, n.2, p. 157-207, 2006.

RAIČIK, Anabel Cardoso; PEDUZZI, Luiz Orlando de Quadro. Um resgate histórico e filosófico dos estudos de Charles Du Fay. **Revista Ensaio**, v. 17, n.1, p. 105-125, 2015.

RAIČIK, Anabel Cardoso; PEDUZZI, Luiz Orlando de Quadro. Uma análise da terminologia descoberta e sua contextualização nos livros didáticos: os estudos de Gray e Du Fay. *In: V Encontro Estadual de Ensino de Física*, 2013, Porto Alegre (RS). **Atas...** Porto Alegre, 2013, p. 1-13.

ROCHA, José Fernando *et al.* **Origens e Evolução das Ideias da Física**. Salvador: EDUFBA, 2011.

SCHELLING, Friedrich Wilhelm von. Vida e obra. Trad. Rubens Rodrigues Torres Filho. *In: SCHELLING, Friedrich Von. Obras escolhidas* (Coleção os pensadores). São Paulo: Abril, 1984, p. VIII- XIV.

SCHELLING, Friedrich Wilhelm von. **Schelling**: Aforismos para introdução à filosofia da natureza e aforismos sobre filosofia da natureza. São Paulo: Folha de São Paulo, 2015.

SERWAY, Raymond A; JEWETT, Jonh W.Jr. **Física I: mecânica clássica**. v.1. 3 ed. São Paulo: Cengage Learning, 2012.

SHARMA, Ajay. Isaac Newton, Leonhard Euler and  $F = ma$ . **Physics Essays**. v.27, n. 3, p. 503-509, 2014.

SILVA, Ana Paula Bispo; SILVA, Jamily Alves da. A influência da Naturphilosophie nas ciências do século XIX: eletromagnetismo e energia. **História, Ciências, Saúde**, v. 24, n.3, p. 687-705, jul.-set. 2017.

SITKO, Camila Maria. **O novo princípio de Euler e a emergência da Segunda Lei de Newton na forma  $F = ma$** . 2019. 177 f. Tese (Doutorado em Ensino de Ciências e Educação Matemática) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina. 2019.

SOKOLOWSKI, Robert. **Introdução à fenomenologia**. São Paulo: Edições Loyola, 2004.

SPENCER, J. Brookes. Boscovich's Theory and its Relation to Faraday's Researches: An Analytic Approach. **Archive for History of Exact Sciences**, v. 4, n. 3, p. 184-202, 1967.

TAKIMOTO, Elika. **O que há de metafísica na mecânica do século XVIII?** Tese de doutorado em Filosofia - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

TEIXEIRA, Eder Sales; PEDUZZI, Luiz Orlando de Quadro; FREIRE Jr, Olival. Os caminhos de Newton para a gravitação universal: uma revisão do debate historiográfico entre Cohen e Westfall. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**. Florianópolis, v. 27, n. 2, p. 215-254, ago. 2010.

TIPLER, Paul Allen; MOSCA, Gene. **Física: para cientistas e engenheiros**. v.1 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

WESTFALL, Richard S. **A vida de Isaac Newton**. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1995.

WESTFALL, Richard S. **La Rivoluzione Scientifica del XVII Secolo**. Bologna: Il Mulino, 1984.

YIN, Robert K. **Pesquisa qualitativa do início ao fim**. Porto Alegre: Penso, 2016.

YOUNG, Hugh. D.; FREEDMAN, Roger A. **Física I: mecânica**. 10 ed. São Paulo: Pearson Addison Wesley, 2003.

## APÊNDICE A - DISCURSO DOS SUJEITOS DA PESQUISA NA ÍNTEGRA<sup>99</sup>

### SUJEITO 1

(...)

P<sup>100</sup>: Professor, como o senhor ensinaria o conceito de força?

S<sup>101</sup>: Eu nunca trabalhei a disciplina teórica de Física, hã... História da Física também não é meu forte então, eu não... eu não sei te responder nesse momento como eu faria porque nas minhas disciplinas eu sempre trabalhei com a parte de formação dos professores, então minha preocupação não é no conteúdo, o conteúdo é assim, a princípio para o alunos chegarem já sabendo o conteúdo, têm as disciplinas pra isso, então minha preocupação não é... não é ensinar o conceito de nada e como eu nunca ministrei essas disciplinas teóricas de Física também nunca me preocupei com isso. E como eu falei, como eu nunca ministrei, eu não sei te dizer o como eu faria, explicaria... a evolução do conceito de força pros... alunos.

P: Professor, se o senhor fosse solicitado a ministrar a disciplina de Física básica ou alguma semelhante, o senhor teria uma ideia inicial de como abordaria o ou os conceitos de força?

S: [Silêncio] Provavelmente eu tentaria explicar para os alunos, mostrar para os alunos, hã... que, pra haver movimento, pra haver uma variação de movimento é necessário haver alguma coisa, é o:: têm professores que acabam falando que se há movimento, há força, mas não necessariamente, apesar que se-, numa situação bem fora da realidade, mas se não houver atrito você pode ter movimento e não ter força, a resultante das forças é zero, mas o importante talvez seria conversar com os alunos, entender que se houver uma variação de velocidade, há necessário-, é necessário que alguma coisa haja sobre esse corpo pra que ele ganhe-, pra que ele adquira essa variação de velocidade. Aí essa coisa... deveria levar ele a entender que é o que a gente chama de força, pelo menos pensando assim muito de cima da hora, eu talvez começaria por isso.

P: Quais seriam os tipos de força que o senhor pensaria em abordar nesse primeiro momento?

S: Ah... basicamente força mecânica né...coisa de você empurrar, puxar, ter o básico para ele entender essa-, essa relação da variação de velocidade com a existência de uma força, com uma resultante agindo sobre o corpo.

(...)

---

<sup>99</sup> Para a transcrição dos discursos foram utilizadas as normas de transcrição de entrevistas gravadas (PRETI, 1999).

<sup>100</sup> P = Pesquisador

<sup>101</sup> S = Sujeito

S: A importância é ele entender não a:: o modo de resolver as equações, que é o que infelizmente acontece hoje, a.. os alunos simplesmente decoram ou às vezes os professores colocam as equações para fazer uma prova e os alunos simplesmente pegam os valores e colocam ali e::/ aí é, questão/ resolução de exercícios, se eles entenderem o conceito de força por trás, eles entendem vários tipos de situações diferentes, que é, justamente o problema hoje: os alunos não entendem o conceito, seja de força ou se qualquer outra coisa, e na hora de fazer, de:: fazer, resolver exercícios só conseguem fazer exercícios igual ao que o professor fez, porque ele não consegue entender a situação que está envolvida ali. Então, se ele entende o conceito de força, ele vai entender os efeitos que as forças acabam gerando, as consequências, os diferentes tipos, etc., a força elástica, a força elétrica, a força mecânica, atrito e etc. Então, entender o conceito de força hã... faz com que ele entenda melhor situações nas quais as forças surgem, as forças aplicam e suas consequências. Esse, no meu modo de ver, esse é um dos grandes problemas que tem hoje, no Ensino Médio, né, não posso falar no Ensino Superior porque nunca dei aula, no Ensino Superior sobre isso. Mas, como eu trabalho muito com professores e com curso de formação continuada e pesquisa em Ensino de Física esse é um dos grandes problemas que a gente tem hoje, esse ensino muito pouco voltado para entender os conceitos e muito voltado para a resolução de exercícios.

P: Professor quando o senhor ministra cursos de formação continuada ou nas suas aulas de estágio, já aconteceu de seus alunos lhe apresentarem um plano de aula ou uma proposta de como eles ensinariam o conceito de força?

S: Não, não pelo seguinte: Hã... é:: a formação que eu ofereço para os meus alunos é:: eu me baseio numa metodologia pluralista, que é eles precisam aprender a trabalhar com vários tipos de recursos e metodologias, tá. Então, essa parte mais básica, de plano de aula, de fazer isso, tecnicamente eles deveriam fazer antes, na disciplina anterior, estágio I e II. É, eles não fazem, mas o:: problema é que isso, se eu pego pra fazer isso com eles, eu perco muito tempo da minha disciplina, hã..., então...eu falo o que é um plano de aula, discuto com eles, sequência didática, etc. mas eles não fazem atividade sobre isso. Então, as atividades que meus alunos fazem são bem diferentes de apresentar uma proposta de como trabalhar isso ou aquilo. Então meus alunos fazem tirinhas, meus alunos produzem jogos, meus alunos produzem cartas de:: relacionando a Física com o cotidiano.. e diversos outros tipos de trabalhos. É... eu não consigo e provavelmente nunca vou conseguir fazer uma atividade que envolva a história da Física, porque o tempo da disciplina não é grande, apesar da disciplina ser anual, a gente tem uma carga de trabalho muito grande, os alunos têm que ir pra escola.., não sei o quê. Pra trabalhar com a história da física é necessário muito conhecimento, muita leitura e a gente:: até hoje eu

não consegui incluir, é... realizar uma atividade de estágio envolvendo a história da física. Então eu nunca trabalhei com essa questão de eles discutirem algum tipo de conceito em si, somente algum recurso ou metodologia de como trabalhar aquele, aquele../, um conteúdo que normalmente eles são livres para escolher, mas nunca algo específico assim, um conceito de força, por exemplo, a noção de força, nunca algo tão específico.

(...)

S: Potencialidade existe, é... só que, eu já discuti isso com muita gente, até mesmo com os próprios alunos, é... Há...uma noção errada, no meu modo de ver, sobre a abordagem dessa questão histórica, ah tem que falar sobre a questão histórica, não sei o quê, é muito complicado fazer isso muitas vezes, como eu falei, é muita leitura, você tem determinados momentos que tem historiadores que têm visões diferentes, então você teria que discutir isso, porque senão você estaria só mostrando um lado, têm controvérsias, etc... É... eu vejo potencialidade no seguinte: de discutir em alguns pontos mais específicos, é... discutir numa abordagem histórica alguma coisa, só que eu recomendo e falo muito para os alunos de eles fazerem coisas diferentes ao longo do ano, para quando eles forem professores, é... trabalhar com a questão do lúdico, ciência e tecnologia, hã... a história da física, eles têm que trabalhar várias coisas, então não dá de fazer, não dá pra você fazer um ano inteiro de disciplina numa abordagem histórica, não dá pra fazer o ano inteiro numa abordagem lúdica. Então... eu sempre recomendo que se eles quiserem fazer uma abordagem histórica, que eles escolham um...momento específico que eles acham relevante dentro de um assunto que estão trabalhando e aí façam uma abordagem histórica, dentro daquilo, dentro desse ambiente que eles querem, mas eu sempre discuto com eles a dificuldade porque não é fácil, diria que... em tudo o que se pode fazer de diferente, de metodologia, de abordagens, etc. Eu considero a história da física muito mais difícil do que qualquer outra, por essa dificuldade de muita leitura, de diferentes visões sobre o mesmo ponto de vista do que aconteceu, controvérsias entre../. Se você quer fazer um ensino direito, você tem que propor discussões, fazer o aluno pensar. É... então, não dá pra fazer uma coisa muito simplificada, aí normalmente cai no que “ah... no ano sei lá... mil novecentos e não sei o que o fulano de tal fez isso ou fulano de tal nasceu no ano tal e fez isso, não sei o que, se formou?”. Então... fica aquela coisa muito simplificada que não... acaba sendo útil... que é a mesma coisa que o livro traz, às vezes tem lá o texto e tem um quadrinho lá do lado assim, com a biografia do autor e ele considera aquilo como abordagem é... abordagem histórica do negócio. É... por isso que, assim; eu já tentei várias vezes e eu nunca consegui fazer uma atividade que envolva, que conseguisse trabalhar com a questão histórica, porque o tempo que levaria para desenvolver essa atividade é muito grande em relação a tudo que eu preciso fazer na minha

disciplina. Então, é... uma, vamos dizer assim que é uma.. um quebra-cabeça que eu não consegui resolver ainda, talvez com mais experiência eu possa até conseguir chegar um dia a fazer isso né, hoje eu não consigo fazer.

P: Como você acredita que se deu a construção da noção do conceito de força?

S: Ah... Aí você me pegou, faz muito tempo que eu fiz o curso de história da física. Isso começa a tentar entender o:: movimento em si, não é, desde o::/ talvez de destaque é... comece a se pensar nisso mais pesadamente a partir dos estudos de Aristóteles, mas tudo se dá em relação ao estudo do movimento, lógico que, é... antigamente o conhecimento que eles tinham, os recursos que eles tinham era muito precários né, tanto que se demorou muito tempo até alguém realmente quiser fazer um experimento, desses imaginários de se falar () de tentar fazer e mostrar o que acontecia, então é... eu acho que a construção tem que se (), basicamente que se for trabalhar, especificamente o conceito de força, deveria se começar com o que os antigos pensavam e como isso foi evoluindo até chegar nas construções, vamos dizer assim, mais adequadas, a partir de Galileu, mas isso é algo que leva tempo, numa sala de aula, numa escola pública, o professor não tem tempo. É... primeiro porque é pouca aula, segundo que isso demandaria materiais, por exemplo, de leitura, né. Então, o professor teria que arrumar material e ele tem lá 30, 40 alunos na sala, várias salas, então é uma coisa muito difícil de se fazer no ensino de escola pública. Mas, se você for ver () que deveria acontecer, deveria haver essa construção desde como os antigos pensavam e como foram evoluindo estes pensamentos até chegar nas construções mais modernas que eu diria que acabaria ali mais ou menos em Newton, apesar de que a descrição que a gente tem hoje de força não é a mesma que Newton usava, né? Ele usava toda uma construção mais geométrica da coisa que se hoje se fizer um negócio desse ninguém vai entender. A raiz do pensamento moderno e do que é... a questão da força basicamente nasceu aí em Newton. Então, eu partiria nesse ponto, mas para fazer numa escola pública, normal assim de Física eu diria assim que seria bem complicado.

P: E na universidade, o senhor acha que seria viável?

S: Depende. Numa disciplina de Física básica não, não é o objetivo da... () não estou dizendo que não acho que deveria ser assim, é..., mas é que, como o que () normalmente o pessoal faz é o conteúdo básico e exercícios e vai seguindo o que tem nos livros. Então ali a maioria dos professores provavelmente não têm o menor interesse em fazer uma abordagem da história da física. Assim, eu sei que isso gera interesse, que o () ele já deu algumas disciplinas de Física teórica, não sei se foi a disciplina de Física III ou IV, para os cursos de alguma engenharia ou alguma coisa assim, há alguns anos atrás e ele fala e aí sim, como ele é da área da História da Física, ele tem muito mais conhecimento, ele ia falando, relacionando as coisas e eu sei que os

alunos gostavam muito, tanto que algumas vezes os alunos de engenharia pediam para colocar ele nas disciplinas, para dar as disciplinas teóricas né, por causa disso. Os alunos da Física eu também sei que já pediram para ele ministrar disciplinas, sem ser história da..., tinha, se não me engano, um curso de Mecânica Clássica, curso de verão, com ele fazendo este tipo de abordagem histórica. Que deveria acontecer, deveria, na prática não é o que acontece, não é.

P: O senhor acha que o conceito de força é intuitivo para os alunos?

S: Ah, como certeza não. A princípio eles nunca relacionam a questão de variação de movimento com a força, né. É lógico que se o professor souber fazer direito, ele vai começar a fazer o aluno a pensar que-, pensar nesse tipo de situação, mas instintivamente acho que não. Provavelmente não, lógico que provavelmente terá alguns que vão pensar, que vão relacionar isso, mas eu diria que a maioria não, no Ensino Médio não, pelo menos eu acho.

## SUJEITO 2

(...)

P: Professor, como o senhor ensina ou ensinaria o ou os conceitos de força?

S: Na realidade assim, é... o que você observa na natureza, que você tem dinâmica, os objetos se movimentam, eles não se movimentam por livre e espontânea vontade, tem que ter alguma coisa que induz esse movimento. Então para você descrever essa dinâmica, daí você usar várias formulações. Uma das formulações é você usar  $F = ma$ , daí você faz toda aquela descrição de quando você tem um desequilíbrio de força e isso automaticamente induz a uma aceleração no teu objeto. Essa é a descrição mais simples né, mas depois você pode introduzir isso como um gradiente do potencial né, então se você coloca um corpo sujeito a uma diferença de potencial, esse corpo vai tender a ir para uma região de menor potencial e isso equivale à força que ele sente, né. Então daria para descrever talvez de uma maneira diferente, que nem eu falei: fazer uma descrição usando uma formulação newtoniana, onde você tem o sistema newtoniano você tira as equações que vão descrever essa dinâmica via equação de Hamilton-Jacob ou () Lagrangiana, onde você tiraria a dinâmica via equação de () Lagrange, sem necessariamente escrever  $F = ma$ . () o que se precisa é, dada a dinâmica você descrever a evolução, como que ocorre essa evolução, de uma forma precisa. Mas, sempre lembrando que tanto a formulação newtoniana  $F = ma$  ou lagrangeana-newtoniana vai levar a mesma equação que vai descrever a dinâmica daquele corpo lá, isso é independente. São maneiras diferentes de formular um efeito físico, você observa um objeto que está em movimento e você pode matematicamente descrever de forma () diferente. O conceito de força ele é mais.. falar explicitamente em força é mais simples porque é uma coisa mais usual no dia a dia. A pessoa, mesmo sem conhecimento



nenhum significa o que é fazer força sobre um objeto, empurrar um objeto. Então, aparentemente fica mais simples para você tratar talvez a nível de segundo grau ou talvez pessoas que não tenham conhecimento matemático mais elaborado, mas quando você joga para a formulação matemática  $F = ma$ , no fundo vai gerar uma equação diferencial que descreve a dinâmica e essa mesma equação é ser obtida por outros métodos.

(...)

S: O conceito de força (...) até uma criança entende isso. Você fala, “dá uma força aqui”, que nem diz o outro, ou “faz uma força para movimentar aquele objeto”, a criança vai lá e faz. O que não é intuitivo é a notação vetorial que você precisa para descrever essa dinâmica né, porque força é um vetor, vetor é, como você adiciona vetor, subtrai vetor como você manipula vetores já é uma coisa que você precisa ter um embasamento, que já não é tão intuitivo, mas o conceito de força eu acho que é... qualquer criança consegue entender, você consegue explicar.

(...)

S: Assim, o conceito de força em si, que nem eu falei, ele é mais ou menos ele já é natural com o crescimento, agora como matematicamente você fazer a descrição correta, a importância é que se, tudo o que você quiser descrever, a evolução e prever a evolução do sistema, você tem que ter uma matemática que consiga descrever de uma maneira correta, então pra você fazer uma previsão do momento ou projetar algum tipo de movimento, você precisa fazer a descrição matemática correta, então a importância é-, uma coisa é você só entender o que que é força “ah se eu empurrar esse objeto, se eu fazer uma força sobre ele, ele vai se movimentar”, isso é quase que natural hoje, porque é uma experiência que a gente têm. Agora, você fala assim “como que eu faço para saber a... para conseguir fazer esse objeto se movimentar daqui até daqui com tal velocidade” e tal coisas assim, ou fazer uma determinada trajetória no espaço controlada, aí você precisa entender como você vai usar a formulação matemática, que... passa de você saber resolver essa dinâmica, essas... equações diferenciais que descrevem essa dinâmica fazer-, se for fazer, usar as decomposições de força, tem que saber fazer... certo, seguindo toda a álgebra vetorial que se precisa, né?

P: Como você acredita que se deu a construção da noção do conceito de força?

S: Eu acho que pela própria experiência diária que as pessoas tinham, isso... você vê que consegue fazer objetos se movimentar mais rápido ou mais devagar. Então eu acho que isso vem da própria experiência do ser humano. O conceito de força para mim é uma coisa que é natural desde os primórdios... O ser humano entende o que significa fazer uma força sobre um objeto e aquilo lá automaticamente resulte algum tipo de movimento. Agora, você fazer a descrição matemática, que é uma coisa que veio com o desenvolvimento da matemática e

peças que conseguiram fazer a formulação certa. O conceito em si de força, para mim, é uma coisa quase que natural, da experiência do dia a dia que a pessoa tem. Acho que uma criança entende o conceito de força em si, o que significa, se fazer força e a consequência disso.

### SUJEITO 3

(...)

P: Professor, como o senhor ensinou ou ensina o conceito de força?

S: Bom, o conceito de força, você sabe que é um conceito que tem uma longa história né, uma longa evolução conceitual, se a gente quiser, a gente começa é:: desde a física Aristotélica né, em que a força era um ingrediente necessário para manter o movimento, é:: normalmente, nas vezes em que eu tenho a chance de falar sobre isso e no curso de história da física, a gente discute muito a evolução deste conceito, a ideia é passar, mostrar antes de mais nada de que se trata de um conceito intuitivo em algum-, algum sentido, que depois foi sendo elaborado, né, ao longo da história, foi confundido muitas vezes com o conceito de *vis*, foi confundido muitas vezes com momento, com força mesmo, com energia né. Então quando eu estou ensinando eu começo com uma linguagem um pouco mais enxuta, operacional, quer dizer, se você pega como exemplo a:: lei da dinâmica fundamental  $F = ma$ , eu procuro enfatizar que a força é um agente físico responsável por aquele  $a$  que está ali, então eu detecto o  $a$  e atribuo à vizinhança do meu corpo a ação né, é:: de um agente físico que promove essa aceleração. Mas, depois é::, naturalmente eu caminho em direção ao conceito de campo, pra falar, porque surge naturalmente no contexto, mesmo quando você ensina em mecânica ou quando está dando aula de física quântica e que esse conceito, ele, ele muda completamente, quer dizer, a tendência da, da física moderna –moderníssima- é que o conceito de força se evapore, porque na relatividade/ a palavra é muito forte ‘evaporar’, ele não é mais necessário nos moldes antigos porque você, por exemplo; a interação a distância da:: da, digamos da gravitação da física newtoniana em primeiro lugar é substituída pela ação dos campos na eletrodinâmica e em seguida pelas deformações do espaço tempo na.. relatividade e na física quântica o conceito de força só pode ser olhado por uma analogia semi-clássica, a partir do teorema de Ehrenfest, porque a força clássica newtoniana, ela é aplicada num ponto do corpo e o princípio da incerteza na mecânica quântica não permite essa definição de maneira, né? então você vai para uma descrição de potencial, e aí adquire um significado mais profundo a::/ o ambiente do corpo, né, então, é uma resposta longa, mas num primeiro momento eu acho conveniente fazer uma definição de força quase que operacional para-, pra você introduzir, discuti-la em conexão com o conceito de massa e tal, tirar as representações anímicas né, força muscular, etc., pro aluno entender que

agora nós estamos falando é:: de um agente físico que atua no sentido de mudar o estado de movimento do corpo.

P: Como o senhor acredita que se deu a construção da noção do conceito de força?

S: Então, mas a história ela é-, ela é longa e ela é complicada porque num primeiro momento, por exemplo, vamos começar com Aristóteles, né, vamos pegar um grande tratado, a gente poderia fazer isso até antes, né, nos pré-socráticos, então, mas a coisa não é:: é muito difícil reconhecer é:: e é perigoso a gente é:: perigoso do ponto de vista metodológico, né; você colocar sua cabeça moderna ou pós-moderna lendo esses escritos, agora em Aristóteles, né, nos livros de física e sobretudo no livro de física mesmo é.. existe um conceito de força que não é o nosso, evidentemente, mas é um esforço pra associá-la ao movimento do corpo, mas ali a força e o movimento do corpo estão implicados né, então a evolução desse conceito, ela parte de algo que é inerente ao próprio corpo como se o corpo estivesse implicado no movimento até atingir a quase que não-necessidade, em Descartes, Descartes faz uma Física de precursão, quer dizer, toda a interação é basicamente por contato, né, -olha já estou usando um conceito moderno-, o conceito de interação, porque não é simples -pelo menos eu não acho- separar metodologicamente né, é:: o conceito de força mesmo, aí ele vai adquirir um caráter é:: realmente mais bem definido, digamos na, na síntese newtoniana, então todo esse período da revolução científica, pra depois finalmente adquirir um conceito relacional, né, se você quiser a gente pode, mas você não pode fazer isso num curso básico, chegar até a discussão de Mach e de uma mecânica onde a força possa aparecer realmente como algo relacional. A gente não faz isso porque... talvez não seja necessário para a formação do estudante num primeiro momento, quer dizer, é:: eu volto a insistir é:: você discute sim o conceito tentando dizer que é preciso desentranhá-lo desde a antiguidade, onde ele vinha confundido, como eu te disse: foi confundido com momento até se entender o momento e aí vê-lo como responsável pela variação do momento ou da quantidade de movimento com o tempo, mas eu vou/ até em Leibniz, por exemplo, algumas vezes esse conceito de *vis*, ele que usou muito o conceito de *vis viva*, a energia cinética, mas algumas vezes, dava a entender que era uma quantidade escalar, aí você pensava, “bom, deve ser energia, ele tá pensando em energia”, mas às vezes, era uma quantidade vetorial, aí dava a entender que estava pensando em uma variação de quantidade de movimento né. Então, a evolução é lenta, até termos a partir da segunda lei, das leis de Newton de modo geral né, é:: segunda e terceira, que tratam mais diretamente da/ é:: a possibilidade de introduzir definições com as quais você opera, então eu acho que fazer essa passagem de um conceito que é quase que animístico, implicado no corpo, para um conceito em torno do qual você pode operar, definir a partir de uma balança, comparar as ações dessas sobre dois corpos de massas

diferentes e as duas coisas vêm juntas de novo né, você sabe que esse conceito ali no *Princípios* eles estão é:: não é que eles estão implicados no sentido de que eles não são claros, mas é que eles se tornam claros na medida em que você introduz os dois né, essa ideia né, não sei se eu respondi... essa é minha ideia. E eu gosto sempre de trazer, mesmo nas poucas vezes que dei o curso de Física I e sobretudo nos de história da física mesmo de mecânica quântica, trazer a problemática para a física contemporânea porque a gente consegue olhar retrospectivamente como foi difícil fazer esse-, esse percurso para entender a interação entre dois corpos, porque, no fundo, é disso que se trata: dois corpos, um corpo pode ser o meu, um corpo  $m$  aqui e o resto () do universo né, o ambiente todo ou dois corpos mesmo que é suficiente, eu preciso ter duas instâncias, assim, que interajam, né? É depois () vai ter o conceito de auto-interação, que é uma coisa mais elaborada em eletrodinâmica quântica, é:: então para não confundir, quando você é.. explica é:: insistindo e explica para um estudante, pra gente mesmo, né, insistir em distingui-la de momento, de trabalho, de esforço né e tentar limpar esse conceito para dar a ele uma definição com a qual se opera, uma vez que você tem essa definição com a qual se opera você passa por um conceito de interação pro conceito de campo e aí eu acho que você consegue colocá-lo numa perspectiva mais ampla. É mais ou menos isso...

P: Professor o senhor poderia falar um pouco mais sobre as interações entre os corpos?

S: Sim, é:: então, esse eu acho que é todo o ponto é:: essencial pra:: como que eu vou dizer, pra que a gente chegasse, não é que tenhamos chegado a uma visão definitiva, longe disso, mas para que a gente chegasse a uma visão é:: atual, né, quer dizer, contemporânea a nós aqui, mas que já tem uma certa história de, de como se dá a.. estruturação das coisas materiais para a constituição do universo tangível, eu sei que parece uma resposta muito distante, mas é que é:: essa ideia de interação, ela existe desde que o mundo é mundo, mas os agentes de interação eram sempre buscados fora do mundo né, é:: e que a visão científica atrás é que, bom, eu preciso descrever racionalmente, de algum modo, eu preciso porque eu acredito na descrição racional do real, então eu preciso introduzir agentes a partir dos quais eu abra mão dessa ação externa. Então eu pego como símbolo para os estudantes, por exemplo, eu pego é:: o primeiro dos filósofos pré-socráticos que a gente trata, por exemplo, o Tales, é:: em Tales a gente saúda como fez o Nietzsche, como fez o Heisenberg, desculpa se estou indo tão distante, é que você me fez uma pergunta profunda, né, eu preciso elaborá-la um pouco mais, é:: o Nietzsche dizia e o Heisenberg repete isso entusiasticamente que quando o Tales afirma que a água é a causa material de todas as coisas, você tem uma baita de uma-, de uma revolução porque primeiro você pressupõe que exista uma causa para todas as coisas, segundo você pressupõe que existe uma possibilidade de achar racionalmente a causa para todas as coisas, deixando de lado o

conceito de causa que é outro problema, e terceiro você ainda dá uma resposta, que é a água. Pode até estar errada a causa, mas está é uma atitude filosófica muito boa, pois é, em Tales tem isso, mas aí você vê um outro fragmento atribuído a ele pela doxografia de que o ferro atrai o imã porque está cheio de deuses e isso ainda é uma visão, quer dizer, você celebra num pensador símbolo né, a fundação, digamos assim, de uma revolução, da primeira grande revolução científica, que faz parte de uma grande geração dos pré-socráticos, mas com a invenção de cosmos e tal, mas essa ideia de uma descrição racional do universo a ele você ainda atribui pensamento animista, então porque o conceito de interação, quer dizer, eu aproximar o objeto de ferro né de um imã é:: alguma coisa assim, e detectar o movimento é:: aí eu tenho uma questão de força, de interação, é:: e eu vou precisar procurar colocar isso num recurso reprodutivo e material, então a história do conceito passa por desentranhar dessa descrição que é anímica ainda, né, para uma descrição racional onde eu preciso na teoria introduzir o conceito para depois ir para o laboratório, porque é.. por exemplo, quando se discute isso a gente esbarra numa outra questão, que é a questão da.., vamos chamar assim; do primado, não vá me entender mal, “do primado ontológico da teoria”, é uma brincadeira que a gente faz com os colegas experimentais dizendo que eles fazem só um detalhe e a gente faz/ é porque na verdade se você vai ao laboratório já, já a própria ideia de laboratório, porque poderia existir a ideia de laboratório? Por que você pode laborar, né? Experimentar alguma coisa, mas você vai experimentar o quê? Então, você só vai ao laboratório se ontologicamente, se metafisicamente primeiro você tiver uma teoria, eu vou procurar um evento, mas qual evento, né? Quer dizer, quando eu digo para alguém procurar uma agulha no palheiro, há um pressuposto fundamental, é que exista um ente chamado agulha, né, que pode existir num outro ente, o palheiro, em que pode ser achado... Então, a experimentação da agulha no palheiro -desculpe a obviedade- pressupõe a existência da agulha e a localização do palheiro né, e:: isso é, ontologicamente, é:: o que foi difícil e aí está uma das grandes sacadas, digamos, -desculpa a expressão pouco vulgar-, da síntese newtoniana é que eu posso definir ainda que precariamente, eu posso definir esse-, esse ente de um jeito aceitável, esse conceito, né, essa quantidade física, e aí eu dou um jeito de medir ela, depois eu faço ao contrário: eu realimento o próprio conceito a partir do que eu consigo operar com ele, né, então essa passagem eu acho crucial e é dada no *Principia* e na física newtoniana, ela atinge um patamar, digamos assim, de clareza, né? pouco encontrável antes, tem todos os predecessores. Por favor, não é isso, não, é que a pessoa, quer dizer é um pouco de chegada de um esforço, numa geração é:: admirável né, de cientistas, de gente e filósofos né..

P: Professor, o senhor poderia falar um pouco mais sobre os cientistas antecessores à Newton?

S: Ah sim claro, você tem por exemplo, a gente começa então com Aristóteles, mas você tem um, um filósofo importante que foi citado por Simplício, o Philoponus né, porque é:: existe uma:: uma história é:: muito rica, com o problema do movimento que vai digamos de Aristóteles até a física galilaica, vamos colocar assim né, então é, predecessores a lista é longo, você teria o Philoponus e você teria é:: se você quiser Roger Bacon, os.. calculadores de Paris é, os... nominalistas franceses, perdão, os:: professores das escolas de França como Oresme, o Buridan, quer dizer a teoria do ímpetus né, é:: toda essa física pré galilaica até desembocar em Descartes que é o primeiro, o primeiro sabe? em história essas coisas... mas, assim, tem uma distinção é:: notável é:: parece que é um dos primeiros a entender que a força está imbricada na mudança de estado de movimento e não no movimento (), a teoria do ímpetus ainda acha que alguma coisa passe né e eu não mencionei, mas é fundamental todo o trabalho dos árabes né, Avicena, o conceito por exemplo, o conceito árabe de (), que ele chamava, que é essa inclinação que é passada para o corpo no momento que o agente o arremessa né, é:: então, assim; você tem toda uma história, precisaria ser revista, toda vez que você for olhar para o conceito de força até chegarmos nos modernos que fundam essa, essa dinâmica, dinâmica que a gente chama de newtoniana ou a dinâmica clássica é:: e começando com Descartes é:: e passando é:: por Kepler, por causa da importância que às vezes se dá uma importância menor ao Kepler e ele tá nesse, nesse time com, digamos assim, com as mesmas credenciais, né, aliás ela é fundamental porque ainda que atribuindo uma-, alguma coisa animística ao sol, ele sabia que era o sol o centro digamos, assim, dessa interação responsável pela, pela organização de um sistema de mundo e isso foi crucial para o Newton, quer dizer, sem essas descobertas do Kepler, que foram feitas meio () não teríamos provavelmente um sistema de mundo newtoniano da forma nós o conhecemos, então a lista dos predecessores é realmente longa e passa por toda a Idade Média, a questão é saber é.. se, não sei se você já acompanhou esse debate e é um debate em história da ciência, história das filosofias das ciências, se a visão de Galileu é uma revisão revolucionária, no sentido de uma ruptura complexa, certamente mente revolucionária no bom sentido da palavra de trazer novidade, mas ela é, é uma ruptura do anterior ou ela é continuada, então a visão, por exemplo, de Pierre Duhem e outros chamados continuístas é que esse movimento se prepara ao longo de toda a Idade Média, no édito de Paris ele coloca como unidade científica numa outra direção que não Aristóteles e nesse movimento de sair de Aristóteles surge uma-, um prelúdio a Galileu, e aí Galileu faz o trabalho importante de romper ou se Galileu de fato ignora a Idade Média, “ignora” né, entre aspas, ignora a Idade Média e diz “não é por ali”, volta a ideia Arquimediana de um ideal matemático para descrever isso e sobretudo da ideia é:: de desvincular a ação da força com o próprio corpo, então quer dizer é::

a estática Arquimediana funciona bem porque justamente ele consegue olhar o corpo é:: esse corpo tá numa vizinhança, mas ele está isolado, então eu consigo separá-lo da vizinhança e olho pra ele né, que foi uma coisa importante, né, tirar o:: conceito de força como se ele fosse uma tendência intrínseca, um ímpetus ou um, o que fosse né, é::, mas como ele sendo sujeito a uma ação externa, que nós depois vamos chegar, ação externa de um campo ou qualquer outra coisa, mas responsável por essa interação, é isso.

(...)

S: Ah bom, aí é:: esse é um conceito essencial para a gente construir uma descrição é.., por exemplo é o conceito central da dinâmica clássica né, simbolicamente você pode usar a forma escrita por Euler  $F = ma$  ou se quiser evitar, você volta para a ideia newtoniana de  $f = \frac{dp}{dt}$  é.. isso é importante para construir uma representação mecânica do universo, tá. É um conceito fundamental, basilar porque ele está nos fundamentos, e tanto é verdade que quando você abre o *Princípios* né, aparecem as definições antes dos axiomas das três leis de movimento, você tem as definições, então você começa com a definição de massa, de inércia etc., e tem um momento em que aparece a definição de força, inclusive é:: com toda a sua, perdão pela redundância, com toda a força do conceito porque é um conceito vetorial né, é:: e fica clara a necessidade de da introdução de um conceito vetorial para a força né, porque ela é um agente físico, mas é um agente físico que é direcional né, então o conceito de força é basilar para a construção da primeira descrição bem-sucedida da mecânica do universo, que é a dinâmica clássica.

P: Professor, o senhor poderia falar um pouco mais sobre o Euler?

S: Ah sim, o Euler é:: o Euler começa na estrada... o Euler era-, ele era um “discípulo”, entre aspas, de Descartes, mas ele entendeu, ele chama sempre nos escritos dele de O Inglês né, em letra maiúscula O Inglês porque como ele era amigo do Bernoulli (risos) e havia::/ e também era da escola do Leibniz, eles, eles é:: não gostavam muito do Newton por causa da::/ respeito é uma coisa, mas simpatia é outra né, por causa da de ter roubado o cálculo infinitesimal né, digamos assim, essa é outra controversa e eu não quero é:: mas um coisa que chama atenção no caso do Euler é o seguinte: quando eles está trabalhando naquilo que ele chama, ele acha a descoberta  $F = ma$  uma descoberta fundamental e de fato é porque não é assim que está em Newton, ele chama isso de lei da dinâmica né, mas ele ainda está procurando causas e há algumas passagens dele que nos primeiros escritos de mecânica, agora não lembro o título do primeiro grande, depois ele vai voltar no outro, tem um monte de escrito, mas dois, dois que são cruciais ao longo da própria carreira é.. ele tenta, como um cartesiano, procurar as causas das forças, até que em determinado momento, como um grande matemático que ele era, ele

percebe: “bom mas eu não preciso saber a causa, não para fazer física, não para fazer matemática” é:: aí começa a entender a ideia de *Hypotheses non fingo* de Newton, quer dizer, “ok, eu estou vendo essa ação sobre o corpo e a ação é a produção de uma aceleração, vou chamar isso de força” né “e eu não preciso, eu gostaria como filósofo, mas eu não preciso saber qual é a causa última dessa, então atribuo ao corpo vizinho, corpo vizinho age sobre o meu e produz uma aceleração”, então o Euler também faz esse caminho e ele mesmo chega um momento que (...) quando ele chega a essa equação da dinâmica, ele já renunciou a causa da força, mas ele está operando quase como um newtoniano, com a diferença de que agora ele consegue estabelecer é:: de um outro modo a vinculação entre a força e a massa do corpo, explicitando matematicamente a força como massa vezes a aceleração, essa é fórmula de Euler que ele chama de segundo princípio da dinâmica ou o primeiro, agora não lembro bem. Na dinâmica toda ele acha que é uma lei nova né.. e muita gente, muita gente hoje estudando historicamente essa questão também acha que ele estava certo, quer dizer, não invalida, é claro que a segunda lei de Newton é anunciada no seu modo geral, com uma variação temporal da quantidade de movimento e ela é, mas escrever  $F = ma$ , para um engenheiro é fundamental né, pra estática, etc. É fundamental, e isso foi feito pelo Euler, mas não mudou o conceito de força, é isso que é o ponto, quer dizer, ele tentou dar uma explicação que ele achou que faltava na do Newton, porque vindo de uma escola cartesiana e tal, as coisas não acontecem e se () então “quem é que tá agindo?; como é que é?; qual é a causa final?” mas ele entende que isso não é necessário para fazer a dinâmica não é necessário saber qual é a origem.

P: Professor, como que o Euler chegou nessa equação?

S: Bom, eu agora não me lembro dos detalhes, mas é:: eu tenho escrito isso num texto de história da física, que eu queria saber né e é o meu capítulo de história da mecânica analítica né, eu vou lá e revisito alguns dos escritos de Euler, alguns em latim, outros em francês, eu fui me dedicar a isso é::, mas a questão aí é eu acho que, por isso, não é só porque eu sou ignorante pra te dar a resposta, é porque é uma pergunta muito específica que precisa ter a resposta com a junção de vários é:: momentos, então você me pergunta como ele chegou, bom é:: ele sabia do princípio, evidentemente ele conhecia a dinâmica newtoniana então o que ele faz: ele vai aplicar essa dinâmica, sistematicamente ao estudo do movimento e:: digamos assim da:: das consequências, né, disso para o mundo material, agora para fazer isso, o objetivo dele era introduzir o cálculo de maneira:: completa, quer dizer então, introduzir a análise matemática para qual ele deu muitas contribuições no estudo, porque se você pensar é:: se você for olhar no detalhe, eu não quero ser impreciso aqui, mas é mais ou menos assim. Você pega os *Principia*, tá, estão lá as bases da dinâmica indubitavelmente, mas a gente se esquece que



precisa, existe um trabalho de colocar essa linguagem diferencial que a gente usa hoje na mecânica é:: na descrição de problemas específicos, então você tem é:: o Newton faz o primeiro livro do *Principia*, tem lá a base axiomática, depois ele vai para os meios materiais, sofre muito, sofre no sentido conceitual, não que ele fosse sofrer, quer dizer, então um trabalho insano pra entender como isso se aplica a um corpo rígido, tá, tem o conceito de força, mas () é uma partícula que eu tenho, digamos, na primeira parte, um ponto material, depois eu tenho dois objetos maciços em contato, colidindo, eu tenho esses objetos se movendo num meio resistente, como é que eu faço essa aplicação de força? O esclarecimento disso foi feito por Euler e aí depois o Newton trata do problema em linhas gerais e trata de (), o próprio conceito de centro de massa, tudo isso, mas a dinâmica mesma do corpo rígido vai ser feito por Euler e companhia, aí eu preciso colocar esse corpo em rotação no espaço, usando conservação de momento etc. e usando todo o poder matemático dessa física inaugurada por Newton e é aí que a gente chama de mecânica analítica por causa da introdução, ele impregnou e o principal nome desse período, embora haja tantas outras pessoas, é o próprio Euler né, ele impregnou essa mecânica na análise, ao longo da vida até 1865, quer dizer você tem/ 1765 você tem uma sucessão, uma série de trabalhos dele onde isso vai sendo feito até chegar basicamente aos primórdios do cálculo variacional, aí você tem Lagrange e outras pessoas, mas assim a:: passagem fundamental é, a gente acha que foi o Newton que fez tudo, mas por exemplo, todos os teoremas sobre movimento de corpos rígidos que foram enunciados, foram feitos por Euler, tem uma passagem que eu sempre quis entender antes e:: é:: acabei reproduzindo no meu, é:: no meu segundo volume lá:: mas era pra mim tá, não estou fazendo propaganda do texto, foi uma coisa, era uma coisa que eu queria entender, pelo menos como isso tinha surgido, por exemplo, quando ele introduz o conceito de momento de inercia e matematicamente como definir, mas tem uma hora que ele descreve para um corpo rígido, tensor de inercia e é uma triz, é uma coisa escabrosa e aí ele manda para um amigo dele que estudava, um outro matemático húngaro que estudava é:: furacões, essas coisas, movimentos oscilatórios desses e ele não sabia diagonalizar o tensor né, ele não sabia é:: e o amigo consegue, quer dizer, um homem como o Euler que inventa tensor, descreve a representação matricial não sabia diagonalizar, outro faz e ele imediatamente adota né, é:: então eu diria que o papel dele é transformar essas ideias que estão é.. na direção que nós aceitamos como corretas né, mas dá a prescrição matemática para a força, então a física matemática que surge do trabalho de Newton passa necessariamente por Euler e aí o refinamento de como operar com esse conceito do ponto de vista diferencial, a resposta é longa né, é complicado é, mas...

(...)

S: Num sentido último da palavra, a gente já comentou isso, é verdade né? Porque como que você vai atribuir precisamente quem fez o quê, mas quando você quer um olhar panorâmico é perfeitamente possível, mas se você diz “espera aí  $F = ma$  pra mim sempre foi a segunda lei de Newton”, sim, mas é uma forma de Euler, de exprimir a segunda lei de Newton e tem física aí no meio, não é, quer dizer, que precisamos de um novo princípio talvez, mas nós precisamos distinguir do ponto de vista da escritura na linguagem matemática uma coisa da outra, são sempre-, é a mesma dinâmica newtoniana, ninguém está reinventando, mas tem muito trabalho conceitual nessa/ então a contribuição de () de gigante, olha-la sob essa perspectiva né, então, sei lá, como eu sempre me encantei por essa-, essa é uma questão pessoal né, por essa física matemática do século XVIII, que é uma coisa maravilhosa que foi feita na história da humanidade né? e é um esforço gigantesco, é você fala “poxa, um homem como o Euler que não tinha dificuldade para entender nada”, esse pessoal sofreu, como Newton sofreu e sofreu porque esses conceitos e até:: eu vejo o esforço dos meus colegas que trabalham com a história da física e que vão mexer nos conceitos e tal, vão tentar entender porque esses conceitos da mecânica, eles são realmente muito difíceis para um homem comum e até para homens incomuns como esses que esses que a gente citou, quer dizer, muita gente tangenciou, você pega, vai estudar a Idade Média, onde você considera, por exemplo homens como Santo Tomás de Aquino () muitas questões religiosas, um pensador profundista, um dos homens mais capazes que o ocidente já produziu né, uma das mentes pensantes mais rapazes, ou pegue um árabe como Averróis ou Avicena, esses homens tinham um poder especulativo imenso, bom, eles:: tangenciavam o problema do movimento e chegavam perto, mas não conseguiam dar um passo porque precisava romper com uma certa tradição de pensamento Aristotélico, é verdade, mas precisava também de um passo abstrato, de uma coragem que talvez eles não tivessem, mas a coragem não é “coragem”... coragem assim, um arroubo de pensamento né, que eles não estavam dispostos a dar-, quer dizer, eu posso admitir um espaço porque a dinâmica para um filósofo da natureza, a dinâmica newtoniana e sobretudo a dinâmica de Euler colocada na forma grande da mecânica clássica, ela pressupõe um espaço infinito, homogêneo e isotrópico em todas as direções é:: nos quais o universo se constrói, né, digamos assim, e identificar esse espaço da mente, da geometria, com o espaço do universo é um passo filosófico tremendo, quer dizer, eu posso conceber mentalmente isso, mas eu talvez eu não possa admitir metafisicamente, porque tenho que abrir mão do próprio sentido das coisas que eu estou tratando né. E aí você vê em homens como o Newton, Huygens né, Huygens principalmente que também é supervalorizado aí antes de Newton é ele na verdade é que da esse espaço, esse espaço lá em Aristóteles o espaço e o coisa vinha tudo junto porque não existia o vazio e tal, o espaço, a

causa do movimento estava no próprio corpo, agora eu consigo, num cenário colocar um corpo isolado num espaço geométrico infinito de iguais propriedades em todas as direções e tal e eu só vou me dar conta que eu não estou isolado se eu tropeçar com alguma parede por exemplo né, estou exagerando, então o princípio de inércia, ela vai continuar como ele está nesse espaço vazio, o corpo não tem porquê mudar, se ele estiver parado, ele vai continuar parado, se ele estiver em movimento uniforme ele vai continuar em movimento uniforme, ele só vai se dar conta entre aspas de que não está quando ele trombar com uma parede, aí ele vai falar que aí tem uma força que mudou o estado de movimento dele, né. Agora, não é simples essa passagem, porque aí o espaço da geometria abstrata vira o espaço do universo em que essa mecânica é construída para descrever o universo mesmo, o universo físico e material, o mundo em que nós vivemos, bom não sei é isso ...

(...)

S: A dinâmica newtoniana à luz da análise foi feita por Euler e isso prepara de maneira cabal, digamos assim, é só possível a dinâmica Lagrangeana e dinâmica hamiltoniana em cima dessa mecânica analítica, que é essa passagem, essa matematização, a matematização que a gente sempre fala, da matematização do real, é um tema que sempre me interessei, é verdade, eu leio sempre aquela frase do *Saggiatore*<sup>102</sup> do Galileu que a natureza está escrita na linguagem objetiva, a gente adota aquilo como símbolo, é verdade (), todos os méritos a Galileu, aí vem Kepler, descobre irregularidades (), as leis de Kepler, aí vem Huygens com o conceito de força centrífuga, por exemplo de Newton é o de Huygens e ele ficava bravo porque o Huygens chegou antes dele e o Huygens só não deu mais contribuições porque o Huygens era perfeccionista, não publicou o que deveria, é:: se ele fosse um físico hoje ele já desovava tudo. Ele era muito cuidadoso e tal, então ele perdeu alguns, alguns primaz, aí vem Newton, mas na verdade a matemática que a gente usa nos cursos, até os elementares e tal, toda ela é euleriana, pra resumir a mecânica analítica numa pessoa, tem mais gente, mas ela é basicamente euleriana, então Euler sim, ele tá nesse mesmo grupo né, eu acho que Euler é um físico tão grande quanto Newton, é simples assim. Euler pega o bastão em Newton e entrega em Lagrange e Hamilton e esse trabalho é basicamente conduzido pelo Euler.

(...)

S: Ao escrever um texto para saber de onde que essas coisas surgiram é:: emocionante porque na verdade você quer passar a vida inteira fazendo isso, no meu caso, decidi fazer isso inclusive.

(...)

---

<sup>102</sup> Refere-se ao livro “O Ensaíador” de autoria de Galileu.

S: Pelo princípio, até eu acho, sim, até eu acho pela influência dessa física percussionista, cartesiana sobre ele, da qual ele se livrou assim, em última análise ele se livrou porque ele fez uma obra, uma obra completamente independente. Eu acho que tem um pouco dessa, quase como se fosse, você não consegue aquela paixão de juventude, digamos assim, não é o caso, mas assim, intelectual né, você é formado num ambiente mental, então por exemplo, uma coisa que o Huygens não consegue se desvencilhar com certa/, Descartes também o Euler, porque o Euler, quer dizer, esses homens eram filósofos naturais, quer dizer, eles eram formados na filosofia, não que existisse uma instancia chamada filosofia natural, mas eles achavam é:: natural -desculpe a redundância- fazer matemática e filosofia. Então, os conceitos de causa, por exemplo, que é:: de ação é:: do sujeito, esses conceitos vêm todos da filosofia, então eles fazem ciência num sistema filosófico que a gente não faz hoje, quer dizer, a gente tem sempre um arcabouço filosófico, mas por exemplo, a física como ela é feita hoje, ela é um empreendimento, uma fábrica coletiva mercantilista, as pessoas não se dão conta, alguns sim, mas a maioria são operários de uma engrenagem e não é nenhuma crítica, isso é um dado, quer dizer, isso é, você se forma operando e continua operando, mas você sabia que esse conceito aqui tem uma controvérsia de 400 anos? Não, não sabia, não me interessa porque eu consigo operar, eu vou no laboratório meço e tal e depois eu construo um dispositivo e ele tá funcionando, eu quando eu falo/ -eu vou voltar para a questão tá?-, eu me perdi, quando eu falo para os meus alunos que isso aqui [controle do ar condicionado], por exemplo, um display de cristal líquido mais simples, se eu te disser que as teorias que baseiam, me dediquei a isso nos últimos 30 anos, (...) toda a base conceitual que permite o funcionamento do display, assim como das, da tela do seu celular é baseada numa teoria fenomenológica que prevê a existência de constantes elásticas para um material como o cristal líquido que é um líquido, se você a noite as 3h da manhã acorda com pesadelo, você fala “meu Deus mas como é possível colocar constante elástica no líquido, isso é arte!”, é arte, só que como é feita dentro da linguagem científica reprodutiva, então no sentido pleno, não é arte, mas é mais imaginação do que realidade, mas as pessoas não precisam pensar nisso, um engenheiro da Apple não precisa pensar nisso, os engenheiros da Apple não estão preocupados se a teoria elástica é uma criação artística muito mais do que matemática, porque ela funciona, então aí é claro que nessa perspectiva da forma como a ciência vem empregada maciçamente na técnica, essa sua preocupação com a origem do conceito não digo irrelevante, mas...

#### SUJEITO 4

(...)

P: Professor, como o senhor ensinou ou ensina o conceito de força?

S: Bom, eu sempre sigo os livros básicos né, por exemplo, eu sempre adotei em Física I o livro do Tipler, então ele traz lá a:: o conceito de força baseado nas três leis de Newton, né. Então, ele sempre traz dessa maneira e dessa maneira que eu também abordo, seguindo a metodologia do livro.

P: Você poderia falar um pouco mais sobre a sequência que o livro adota?

S: Bom, eu sigo a sequência exatamente igual à do livro, assim, é uma aula que-, é uma aula padrão, é aquelas aulas que não têm nada extra assim. Eu dou uma aula só no quadro mesmo, também não uso slide e a gente segue sempre pela primeira lei né, aí a primeira lei é da lei da inércia e depois discute a segunda lei e aí explica porque que existe essa primeira lei, sendo que a segunda daria conta da primeira lei, aí é pelo fato de definição de referencial inercial e depois, depois discute a terceira lei, ação e reação. E depois faz um monte de exercícios, problemas, tenta resolver problemas com os alunos relacionados com essa, com essa metodologia aí. Com esses, esses conceitos que eles têm, né.

P: O senhor acha que o conceito de força é algo intuitivo?

S: Não, não é algo intui... Não (), eu acho, na verdade, que eles já vêm com uma concepção do que é força. Eu acho que, desde criança a gente aprende essa concepção do que é força, só que, eu não sei exatamente se a gente sabe esse conceito de maneira correta ou não. Mas eu acho que intuitivamente eles têm esse conceito na cabeça.

(...)

Ah aí é um problema que eu acho assim... eu acho que ele é tão importante como qualquer outro conceito de Física, né. Então:: estudar força ou.. deixar de estudar você deixa de aprender uma série de outras coisas, né. Assim, se você deixar de aprender o conceito de energia você vai deixar de aprender uma série de outras coisas. Então, assim, eu vejo que é importante, mas não é:: a mais importante, tem outras coisas que são tão importantes quanto. Por exemplo... como o..., o conceito de energia por exemplo, né. Se você não estudar, energia é um conceito de Física que é tão abstrato quanto o conceito de força e tão difícil de abordar também e tão importante quanto.

P: Como você acredita que se deu a construção da noção do conceito de força?

S: Ah... eu não faço ideia, assim, eu acho que aí você fala mais no sentido epistemológico?

S: Eu acho que a noção do conceito é o de movimentar coisas, assim, né, o quanto de:: força necessário para um objeto mudar seu estado de movimento. Eu acho que surgiu nesse aspecto assim, né. Você vê que a pessoa ela, ela precisava fazer uma certa atividade e essa atividade

demandava uma certa força que ela teria que ter para fazer. Então, eu acho que tá nesse conceito aí.

P: Professor, o senhor poderia falar um pouco sobre os tipos de força.

S: Bom, eu falo pra eles que têm quatro forças fundamentais, de acordo com livros que a gente adota, né: são a força forte, a força fraca, a eletromagnética e a gravitacional. Todas as outras forças que você diz, por exemplo, força de atrito são todas forças que são derivadas dessas quatro forças. Então eu tenho que dar uma pincelada pra eles nessas quatro forças né. É difícil falar sobre as forças é:: forte e fraca, mas é são mais abstratas. Mas a gravitacional e a eletromagnética eles tem mais o contato assim do::, desde antes de entrar na faculdade, então fica mais fácil um pouco de abordar.

## SUJEITO 5

(...)

P: Professor como você ensinou ou ensina o conceito de força?

S: Depois de muitas vezes ficando olhando pra esse tipo de coisa e tentando usar um argumento unificado, eu tento falar que força é o efeito do resto do universo sobre uma partícula. O que que eu quero dizer é assim: eu considero uma partícula, olhando pra uma partícula, o que que é força? É o efeito do resto do universo sobre a partícula. Esse efeito aí ele é definido meio quantitativo, né, aí se for definido dinâmico né, é:: massa vezes aceleração igual à força ( $F = ma$ ). Então, quer dizer, só fica definido quando escreve a expressão matemática, né, se a massa for constante como eu disse é massa vezes aceleração igual à força e qualitativamente representa o efeito do resto do universo sobre a partícula, do ponto de vista do movimento dela né, é só isso.

(...)

S: Óh faz parte de um/qualquer sistema quando a gente vai estudar o conhecimento máximo que a gente tem sobre ele em geral é dizer sobre a dinâmica detalhada do sistema, então, quando tem um conjunto de partículas, do ponto de vista macroscópico a importância de falar do conceito de força é fornecer a dinâmica do sistema não é, as equações que regem a dinâmica, então essa é a relevância né, a relevância pra saber como que descreve das partículas, do sistema de partículas.

P: O senhor poderia falar um pouco mais sobre as equações que regem essa dinâmica?

S: Então, quando a massa é constante, massa vezes aceleração, massa de uma partícula vezes a aceleração da partícula igual à força que atua sobre a partícula, aí se tiver várias partículas, esta equação, para cada uma das partículas, esta força eventualmente ou na maioria dos casos,

eventualmente envolve a interação/o efeito do resto do universo sobre a partícula pode envolver o efeito das outras partículas sobre uma particular e vice-versa.

P: Como o senhor acredita que se deu a construção do conceito de força?

S: Uma boa pergunta... É porque o conceito, aí tem duas maneiras né que por exemplo os livros-texto trazem que eu vejo a maioria, tem uns que vai direto para a dinâmica, por exemplo o livro do Halliday vai direto para a dinâmica, mas tem outros livros que vai primeiro pra estática né, vai para o conceito de estática e aí na estática o que que substitui a segunda de Newton é só jogar a aceleração igual a zero, a força total, ou seja a força resultante é igual a zero né. Agora se você me perguntar assim, “esqueça como que os livros apresentam isso” né, que a grande pergunta é qual... Aí eu volto lá, o que que eu disse antes: o efeito do resto do universo. Eu acredito que Newton pensou mais ou menos desse jeito, independente se usa massa constante ou não, derivada do momento igual à força, ele pensou assim -eu imagino que ele tenha pensado assim-, se escreveu ou não é outro problema, é que, “o que que faz o movimento do sistema, provoca o movimento do sistema?” Esse ente abstrato chama força, então eu acho que ele fez mais ou menos por aí, pensando o que que provocou, o que que provoca o movimento no sistema, () movimento, qualquer coisa. Então eu imagino que é assim, agora como que as pessoas escrevem ou não escrevem né essa expressão, falo, por exemplo, eu já vi pegando vários desses livros de assuntos de temas introdutórios de Física né, pra ver o que eles falam que é força, né, é quase uma enrolação, é muito difícil ver o que eles falam lá, assim alguma coisa assim bem clara, por isso que eu disse pra você que a maneira mais simples e mais imediata é:: ela está relacionada intimamente com o resto do universo sobre a partícula, quando se considera uma partícula para olhar, aí é uma visão toda dinâmica, né?

P: Professor, o senhor acha que o conceito de força é intuitivo?

S: Demorou muito tempo para ficar intuitivo pra mim (risos). Essas coisas de intuitivo eu acho meio curioso, o que que é intuitivo ou não, eu acredito que o conceito de força tem um alto conteúdo de intuitivo, mas quando mexe com Física, deve ficar quantitativo entre a intuição e a definição quantitativa tem uma distância fabulosa, assim por exemplo, é, vou dar exemplo pra você: vários povos indígenas, separados uns dos outros, eles têm uma noção sobre as constelações e muitas vezes, grandes partes das constelações são idênticas, mesmo não conhecendo um ou outro, então, por exemplo, hoje um monte de pessoas ficam falando de terra plana, né, eu acho que a ideia de terra plana é um dos primeiros conceitos que as pessoas pensam né e o conceito de força é em certo grau, aí depende muito de como que foi o meio que a pessoa né está imerso né, mas o conceito de força é em certo grau intuitivo, mas se você pensa por exemplo lá que os gregos ficaram um tempo imenso certo, sem ter uma definição mais clara do

que é força, você fala “é, não é tão intuitivo, né”, entendeu? Então é uma situação assim muito curiosa, o que que é intuitivo ou não né.

P: E para os alunos, é um conceito intuitivo?

S: Eu acho que, diferentemente dos gregos, eu acho que é muito mais intuitivo, é que:: o conceito/ uma coisa é:: que eu quero falar sobre intuição e costume, elas não são, no meu ponto de vista, elas não são separadas de maneira alguma, os alunos quando estão aprendendo, tem lá o Ensino Médio, o Ensino Fundamental e tem na a universidade, vou falar por exemplo da universidade: eles já viram um tempo falando de força, um tempo falando de força, então aquilo é um conceito, mesmo que não esteja tão perfeito, tão assim...é um conceito bem comum pra eles, então quer dizer que é uma coisa que está relativamente próxima, mesmo que não se tenha clareza e aí faz com que, o que eu quero dizer é assim, como eu disse pra você, intuição e familiaridade andam muito próximas, muito próximas, né, e então aí como eles já ouviram falar bastante sobre isso né, falam o tempo inteiro, então em certo sentido essa familiaridade confunde um pouco com intuição, entende? Então, eu acho que pra grande parte dos alunos hoje e mesmo também a sociedade é porque tem um monte de gente que trata força de maneira mais quantitativa, mas tem um monte de gente que não trata, mas mesmo os que não tratam, eles são bombardeados por pessoas que tratam de maneira mais quantitativa, então se você perguntar hoje assim para as pessoas que vivem aqui no nosso/ nessa cidade aqui eu acho que é bem.. razoavelmente assim, em um grau bem grande, acho que é intuitivo. Agora se pega uma pessoa que nunca usou, que não tem nem essa palavra, fica muito mais difícil, né?

S: Eu acho, eu acho que o conceito de força hoje é em alto grau intuitivo, tem dificuldades, mas, por exemplo, comparado com povos bem mais antigos eu acho que:: aí é bem diferente, eu acho que eles eram bem menos intuitivos, com um grau maior de abstração.

P: O senhor poderia falar um pouco mais sobre como os pensadores antigos pensavam esse conceito?

S: Ihh... eu não sei praticamente nada:: Por exemplo, o que que eu sinto disso, por exemplo é:: em particular () por exemplo, eu quero falar o que que eu acho que Newton pensou pra você entender. É:: como que Newton fala da lei, por exemplo, “quais são as forças possíveis que pode agir sobre um objeto” né, porque, quando Newton fala da segunda lei, ele tem que falar dos possíveis tipos de força. É:: pra mim Newton quase foi maquiavélico, né, ele pegou os movimentos conhecidos e introduziu, pensou na segunda lei, nas leis pra reproduzir os movimentos conhecidos, por exemplo, a força gravitacional, da gravitação de Newton, eu acho que foi fortemente baseado na estrutura matemática para reproduzir o movimento elíptico, tem problema de queda livre, então essas coisas devem ter norteado Newton em alta proporção, é::



aí o conceito de equilíbrio também, balança de prato né, coisas assim, então que já é do ponto de vista da estática, não do ponto de vista da dinâmica, mas aí com um pouco de raciocínio, vai da dinâmica para a estática razoavelmente. Agora, as pessoas mais antigamente, bem mais/por exemplo, quando era mais difícil de fazer experimentos, as pessoas não olhavam muito para o experimento, queria usar um argumento, né, eu acho que era muito difícil imaginar o que que é força, eu acho que é:: eu vejo assim com um grau de dificuldade, eu acho que a intuição que hoje as pessoas têm aí na rua porque acostumou com a linguagem, escuta as outras pessoas falando, pai, mãe e toda a sociedade falando né, mas eu acho que era, que era bem mais difícil, aí também tem um problema dos nomes que usavam pra força né, então já nem sei que nome que usava né, agora, por exemplo, pode falar assim, por exemplo você está tentando empurrar alguma coisa, seu esforço, como que usaria a palavra, né? então quando você pensa quase numa questão estática, meio estática, a noção de força é bem mais intuitiva, duas pessoas, por exemplo, você segura uma vara, né, você ajuda empurrar alguma coisa, ajuda erguer alguma coisa, aí eu acho que esse conceito de força era bem mais intuitivo, mas era, talvez, assim, em muitas vezes/é porque/por exemplo, a força peso né, eu acho que é uma dose de abstração imaginar que a Terra tá puxando alguma coisa, entende? Então, por exemplo, eu não sei se grande parte das pessoas pensavam, por exemplo, que o peso de alguma coisa fosse uma força, mas o que ele faz isso a gente dá o nome relacionado a esforço era força, entendeu? Então, tem um salto conceitual imaginar que o peso seria um força um tanto quanto é/o que a gente faz pra segurar o corpo, por exemplo, pra não cair, então, quer dizer eu acho que tinha uma dificuldade assim razoável, inclusive já que você está falando de força, mas falando pra qualquer coisa, por exemplo você olha a ciência ela evolui, agora ela assim em partes, em um ritmo muito mais rápido que antigamente, né, isto aí é justamente uma medida da dificuldade de formular conceito porque, por exemplo, até aparecerem as leis de Newton né, 1700... sei lá, anos mais ou menos, depois de Cristo né, imaginar as leis de Newton, depois de Newton a física, se falar, aumentou () o número de pessoas pesquisando, mas eu não sei se aumentou, se é por causa desse aumento, mas por exemplo, mais recentemente vários outros ramos da física vêm crescendo num ritmo fabuloso e pra formulá-la desde Newton foi uma infinidade de tempo, então, por mais que eu queira dizer que o conceito de força pode ter um grau de intuição né, mas é um grau de intuição combinado com outras coisas, não é só o conceito de força, várias coisas tinham que combinar né, por exemplo, a terceira lei de Newton, basicamente ela fala que um monte de coisa é força, por exemplo, é:: um objeto tá querendo cair e você segura, por exemplo, contrabalancear a força peso né, o efeito da força peso com o que que você faz, tá meio relacionado com a terceira lei de Newton, então quer dizer, provavelmente essa junção aí

né, o que eu quero dizer é assim: a terceira lei de Newton pressupõe conceitualmente outra né, mas que a gente, no costume diário, não imaginasse a outra, só imaginava bem uma coisa da gente fazendo né, por exemplo pessoa fala assim: “eu trabalhei bastante hoje, trabalhei, tive que fazer muita força”, estou supondo que as pessoas em qualquer época usavam palavras parecidas com a gente né, fiz bastante força né, ele nunca iria comparar esse esforço fabuloso dele né com uma coisa inerte, que nem a força peso né, você falou, tem lá ()- eu quero dizer, eu acho-, então eu quero dizer pra você, né: esse rompimento histórico aí até chegar às leis de Newton mostra que tem uma coisa que não é sutil assim né, e o esforço que a gente imagina que as pessoas naquelas épocas eram mais ou menos parecidas com as de hoje né, não eram mais inteligentes, nem menos do que de hoje, então parece que depois que chegou a uma certa noção conceitual, ou melhor, não sei o que, aí facilitou/vamos voltar a palavra da intuição, né, parece que aumentou, facilitou a intuição das pessoas, deu um guia pra intuição das pessoas, né: e antes eu acho que esse guia era muito mais tênue né, mais ou menos assim.

S: A única coisa que eu gostaria, que normalmente eu chamo atenção pros alunos é que demorou muito pra aparecer o conceito de força, então várias (), porque as três leis de Newton tiveram que ser juntadas, né, muita gente não fala muito da terceira lei, mas ela é essencial quando se pensa em força, vários livros-texto não ficam falando tanto, ficam falando como uma propriedade, mas na hora de formular e juntar tudo é muito importante, né, a terceira lei, mas então, voltando lá, naquela época foi trabalhoso, foi difícil, vou fazer um trocadilho, “teve que fazer muita força pra chegar ao conceito de força”, parece que depois que teve algum conceito assim com uma clareza com Newton, parece que já estava mais direcionado e que foi muito mais fácil outros desenvolvimentos e hoje a gente consegue resumir de alguma forma o conceito de força que foi aquele que eu comecei a conversa, em algum sentido, ele representa o efeito do resto do universo sobre uma partícula para um ponto de vista dinâmico e aí depois () porque é difícil né, porque é uma lei, é uma lei né, ela não sai de graça.

(...)

S: Aí depois eu falo das interações, só que as interações são bem mais complicadas né, porque as interações fundamentais, cada uma tem um tipo de força, quando é muito fundamental de partícula pequena é até difícil pensar que vale as leis de Newton. É que você não me perguntou mais coisas, por exemplo tem as questões ainda da:: como que:: se é interação instantânea, né. É que eu quero dizer assim: a física-, a física vai evoluindo só que:: resta sempre uma chance da gente consertar o que disse, né, ela funciona bem para um setor operacionalmente, tá funcionando bem, mas pode ter alguma coisa que precisa ser remodelada para reencaixar as coisas, né, não jogar fora tudo, mas alguma coisa remodelada que caia no limite, que dava

razoavelmente bem, é isso? Pois bem, já que você estuda com (...) tem aquela história da força de Weber né, na visão de Weber né, é:: tem a força, a força depende das partículas, só que, por exemplo, a massa que ele já deve ter falado pra você, a massa é o efeito do universo sobre a partícula dando a inércia, né, era como se fosse as coisas muito distante dando a inercia e as mais perto dá uma força né, tudo bem mas vou deixar de falar isso, não vou falar assim não, vou falar de outra coisa. É:: por exemplo, quando a gente fala que a força depende do quadrado da distância, pressupõe uma velocidade de interação infinita, porque dada uma posição, dada a outra já tem a força, então aí por exemplo, a mecânica newtoniana já pressupõe-se () desse jeito uma interação instantânea, já dá problema com a relatividade né, quando coloca a relatividade é um problema, fica mais difícil, né? Ainda acontece uma outra coisa muito curiosa é quando, -mas tudo bem, essa é só pra falar da instantaneidade das forças né-, uma outra coisa muito curiosa é quando:: para as interações elétricas e de outra natureza, não sabe porque que tem, mas tem, verificou que tem, também tem a questão de ser instantânea a interação eletrostática né, lei de Coulomb, aí depois tem toda a questão dinâmica que aparece no eletromagnetismo, né. Pois bem, mas aí o conceito de força agora fica-, vai ficar bagunçado agora, até então nós-, ele ficou com dificuldade na instantaneidade né, mas ele vai ficar bagunçado na existência da força mesmo, a força como a gente define, porque quando a gente vai para um mundo atômico, normalmente a equação que a gente escreve são as equações da mecânica quântica e lá fica muito mais difícil escrever o que que é força, normalmente as pessoas usam as equações de Schrodinger, mas poderia usar as equações de Heisenberg, que dá o análogo lá da massa vezes aceleração que dá uma força, né. Mas, lá por exemplo, fica difícil até imaginar o que que é posição, aqueles problemas de comutatividade né, se eu posso falar de força independente de outra grandeza e não posso medir a força simultaneamente né, mas aí eu quero dizer que as pessoas pra estudar, não que não seja útil, mas pra estudar, é, normalmente não fica falando de força, fala da energia potencial, não é? A equação de Schrodinger fala sobre energia potencial, aí você fica pensando: “Meu Deus como funciona ainda o conceito de força” né, aí você fica pensando “será que o efeito do resto do universo é representado pela energia potencial?” Só que aí muitas vezes ela não é univocamente definida. (Silêncio)...

S: Mas, ainda não acabou não, isso então quando a gente tem equação de Schrodinger, agora vamos supor que você tenha uma partícula elementar interagindo com outra, hoje como a gente faz as coisas, a gente define uma teoria mais geral, por exemplo: se for interação de elétrons com elétrons, chama eletrodinâmica quântica, lá pode colidir só carga conservável, mas pode sair elétrons, pósitron fóton né, a existência da partícula não é clara, você fala interação, antes eu falava que o efeito do resto do universo era a força, agora parece que pode ter um efeito que

eu não compreendo quanto e desaparece a partícula, aonde foi a força? O que a força atua em algum lugar né, você pensa: “Ai meu Deus!” É, fica perdido, sentiu que fica perdido, né? onde foi a força? Aí, mas lá se você falar, “não mas, mas enquanto existe a força, enquanto existe a partícula”, mas é uma teoria assim do jeito que formula hoje, uma teoria mais geral, e ela não formula, nem em termo de força, nem em termo de energia potencial, é um conjunto de equações que em determinadas circunstâncias, quando você especifica para uma partícula interagindo com outra, aquela equação mais geral vai dar alguma característica de algo que parece um pouco com força, entende como que fica complicado, né, então fica tudo assim mais complicado né, aí sobra no final da história é a questão lá de voltar lá àquela pra primeira coisa que eu disse é:: dá uma equação, um conjunto de equações, quando eu falar uma equação, eu quero dizer que pode ser um conjunto de equações, então uma equação que rege a dinâmica do sistema e aí o que que é força, o que que não é força fica um pouco meio vago, entendeu? E o que parece que ganha mais importância nisso tudo é as equações como um todo né, e se a cada termo a gente estudar o nome ou dar um nome ser meio mais particular fica mais-, fica mais sutil, entendeu como que é? Então fica-, fica assim:: é:: então são essas coisas que são, são.. vou dar assim só pra você entender, assim, como que fica curioso: vamos sair do ramo da física, mas parecendo com física, só pra você entender. A gente na física, a gente toma como entes primordiais as partículas, aí a gente estuda as partículas... a dinâmica entre elas, né, mas vamos supor que a gente olhe para objetos maiores que as partículas, olha pra moléculas, aí elas têm uma estrutura interna, então:: a gente pode falar numa força efetiva de uma molécula com outra, mas essa força pode depender do estado interno da molécula né, e ainda fica mais curioso ainda -só pra você entender-, normalmente todas as forças que a gente escreve elas são de duas partículas né, por exemplo, a força gravitacional e elétrica, mas quando a gente considera mais que duas partículas é:: tendo uma estrutura interna a força pode depender, por exemplo, não só de duas, porque a gente coloca, por exemplo, a gravitação, a eletricidade, a força de duas, depois se você tem terceira só soma vetorialmente né, mas se coloca mais ela pode colocar mais, essa propriedade que parecia boa para força, ela deixa de existir, vou te dar um exemplo: você pega uma partícula aqui e coloca uma outra aqui, carregada, ela tem um dipolo, não é isso? Então, a interação aqui é proporcional à magnitude do dipolo, não é? Que está aqui induziu, mas se eu coloco outra partícula carregada aqui, aí o dipolo aqui muda, mas se o dipolo muda () -só pra você entender- , se esse aqui tem um dipolo e esse aqui tem a interação no dipolo com esse dá uma força, agora se eu pego esse e aí interajo com esse dipolo dá outra força, mas se o dipolo mudou, aí a interação não fica mais de duas partículas, a outra interferiu de como a interação dessa com essa, você está percebendo como que fica assim curioso assim a força? Aí

antes parecia que era só de uma, era uma propriedade da força né, () superposição sobre a força em geral, mas eu quero dizer as mais que a gente mais usa é a gravitacional e a elétrica, antes eram satisfatórias, satisfaziam o princípio da superposição, agora elas não satisfazem, aí você pergunta assim: “Meu Deus, então será que quando a força não satisfaz, será que eu deveria olhar para uma mais fundamental? A exemplo aqui da molécula e imaginar que é constituído de várias particulazinhas e aí olhar para a interação entre elas e não entre essas outras”, não é tratando como um objeto mais elementar, entendeu como que fica?

S: Pensa-, pensa que, ainda bem que tem a ignorância, a gente tem chance de pensar que vai descobrir alguma coisa, se tivesse acabado né, então voltando aquela coisa inicial lá do conceito de força né, voltando ao conceito de força, você fala assim: “Meu Deus, o que que é o conceito de força?”, né:./ Aí eu volto a falar a primeira coisa que eu disse pra você: eu arrumei algumas coisas, algumas equações que dão a dinâmica do sistema e ela representa o efeito do resto do universo, se é simples ou complicado eu não sei, né, mas ele representa o efeito do resto do universo, parece o mais unificador. Lembra que eu falei que eu ia falar de outro sistema pra você? Imagina uma coisa complicada, por exemplo, um monte de pessoas interagindo, um monte de pessoas interagindo, aí você pode pensar como se as pessoas fossem partículas e aí você pode pensar que o movimento de uma de uma pessoa pode ser interferido pelo movimento de outro, aí você pode pensar que se pode empurrar com a mão e isso faz o efeito de uma força à moda mecânica, mas você pode falar assim pra pessoa: “vem aqui por favor?” Aí ele vem, isso pode fazer o papel de uma força também porque vai provocar a vinda dele, então, se você considera, assim generalizando, um sistema de coisas interagindo, o próprio nome partículas, partes interagindo por partículas, certo? Posso pensar que parece em algum sentido com/isso parece em algum sentido com as leis de Newton, não pode ser igual, mas pode parecer, não é? Você fala assim: “Meu Deus, ali será que faz sentido eu falar também de força, como que seria, certo?” Aí, se antes eu falo o efeito do resto sobre a parte, parece que combina mais do que tentar inventar uma coisa mais, assim detalhada, entende? O efeito do resto do universo sobre ela não sei como que é pra representar por alguma coisa que não entendo direito, não é? Aí fica uma situação desse jeito e é por causa desse tipo de raciocínio que eu falei pra você que eu apresento força constante e força  $-kx$  sem ficar falando muito do sistema, o que que gera, o que que não gera, mas a pessoa pode imaginar que chega a alguma expressão, o que eu quero dizer assim é, quantitativo que a pessoa pode trabalhar, pode mexer, né, mas pra resumir tudo... é um mistério porque que ela são assim, né?, tá intimamente ligada à segunda lei de Newton, se a segunda lei de Newton fosse de outra forma, seria diferente, então fica um mistério né, então, o que eu quero dizer, o que que eu tô querendo dizer que tô te enrolando é que fica parecendo

que é as leis de Newton, apesar de um monte de gente achar que é meio... em algum sentido um pouco mais intuitivo, mas não tem muita diferença do ponto de vista operacional de falar da equação de Schrodinger, o que eu quero dizer é simples: postula um, postula outro né, e aí com o costume que a gente tem no dia-a-dia vai juntando a intuição né, por exemplo, vou dar um exemplo aqui só pra parecer, pra ver como que engana agora que tem a intuição, como que engana a pessoa. Lembra da força constante? Se eu atuo constantemente sobre um objeto, ele estava movimentando, ela já estava de um certo tipo de movimento, aquele movimento aumenta, então já tá parecendo que a velocidade aumenta, tá vendo? Em algum sentido, aí a pessoa começa a se enganar achando “nossa olha como que resolveu quase a equação sem fazer”, né. Aí  $F = -kx$ , aí supõe que estou dando aula e o aluno lá do primeiro ano não sabe direito como resolver as equações, eu pergunto assim para os alunos. () “O movimento aqui é um movimento de vai e volta, não é? porque ele vai e volta, vocês têm essa experiência, um pêndulo por exemplo, uma molinha que vocês brincavam, eu pergunto: Qual é a função matemática que vocês estudaram que é periódica? Fala pra mim o nome delas”, aí eu falo seno, cosseno, tangente, tangente dá aqueles bicos imensos () não faz sentido, né, esses bico, então vou pensar em seno e cosseno, aí até já matou a solução, né, “então fala aí combina porque quando porque quando vai pra lá a força fica grande aí e volta”, o que eu quero dizer é que o círculo aí parece quase vicioso. Eu não sei o que que um monte de gente fala de força não, mas eu acho de uma dificuldade fabulofantástica, então o que eu quero dizer é assim: em algum sentido representa o comportamento do resto do universo, imagina que eu não sei direito quem é  $F$ , mas imagino que interfere na aceleração e aí tenta ver o quão bem isso se ajusta com a natureza, entendeu? Moral da história: jogue fora o conceito de força, quase jogue fora o conceito de força e fica mais operacional, você entendeu como que é difícil? Quer dizer, essa situação, mas eu falo isso mais ou menos pra eles que é um postulado né?

S: Só que eu acho uma tristeza os livros de mecânica não falarem, no meu ponto de vista, a verdade para os alunos, sei lá como que é, ele engana sabe? Eu já vi vários livros de mecânica, você não imagina quantos livros eu já li do início, livros de mecânica pra tentar ver/vou te contar um segredo, quando eu estudava, eu gostava de entender de onde surge a primeira equação, ou seja, o conceito fundamental daquilo, então, por exemplo várias coisas, vários livros de mecânica, pra mais de vinte livros já fiquei lendo o que que eles falavam, o que que era, como que aparece as leis de Newton né (), equação de Schrodinger, eu já fiquei olhando vários deles e aí é muito difícil não é, por exemplo, não sei você quando fez o curso de Física você estudou um negócio que chamava mecânica analítica, um negócio que chama lagrangeana, hamiltoniana, eu tô com um livro aqui, por exemplo, lá é diferente o jeito de falar, é muito

bonito, mas esse esse/ tem uma coleção, não sei se você ouviu falar do autor russo que chamava-se Landau? Então, você já ouviu falar de uma coleção de física que chama Feynman? As duas coleções de física mais famosas que têm, essa do Feynman que é o ensino introdutório né dos primeiros dois anos da universidade, Feynman () e tem outro que chama curso de física teórica de Landau e Lifshitz, só que esse é bem mais avançado, uma coleção imensa, não tenho nenhum aqui, escreve igual ao nome daquele carro que tinha antigamente no Brasil Landau, “lan” depois “dau”, e aí fala diferente, como que ele fala, ele fala assim, ó, olha como é que ele fala que quer achar a equação dinâmica (silêncio). Olha como é que ele fala, ele fala assim é... O movimento de uma partícula e o estado, vou falar assim, o estado de uma partícula fica determinado pela posição e a velocidade da partícula, a palavra estado pressupõe o conhecimento máximo sobre uma coisa, mecânica quântica dá aquela função de onda  $\varphi$  lá, função de onda e mecânica clássica aí você presta atenção do que ele fala, dando-se a posição e a velocidade, então vou chamar de  $x$  e a derivada de  $\dot{x}$  e  $\ddot{x}$ , olha o que que ele falou, falou só isso, porque é postulado né, aí ele fala, “então, a equação que descreve esse movimento é uma equação de segunda ordem, envolve  $x$ :  $x$ . e  $\dot{x}$  porque quando você resolve essa equação, equação diferencial de segunda ordem, só precisa duas condições iniciais, então”, viu o que que ele fez? A picaretagem que ele fez, ele falou assim, ele falou que o estado só precisa de dois, então a primeira aproximação que tem é só precisar de dois né, posição e velocidade, aí querem dizer que a equação é de segunda ordem, porque quando Newton propõem a segunda lei de Newton, ela fica uma equação de segunda ordem quando a massa é constante e quando não é constante também, quando é constante em particular é  $m\ddot{x} = F$  em direção de  $x$  por exemplo, entendeu como é que funciona? Então, aí ele começa desse jeito a situação, então ele postula/ quer dizer isso é postular que a equação vai ser de segunda ordem, entendeu? Quer dizer tinha que achar um argumento né, então tinha que limitar, agora por exemplo, equação de primeira ordem impulsiona né, vou te mostrar uma brincadeira aqui você vai gostar, vou escrever uma brincadeira pra você. Suponha que um corpo tenha uma:: força de atrito atuando sobre ele, então vou escrever assim, massa vezes aceleração, vou representar por  $x$ : igual a uma força, que a gente atua sobre ele e ele tá no meio e aí é uma constante vezes a velocidade, certo? Aí vamos supor que numa primeira aproximação que o corpo tá quase parando. Então, se a velocidade é pequena, a aceleração vai ser muito menor ainda, então você numa primeira aproximação desconsidera isso, quando você desconsidera isso, fica  $\dot{x} = f$  sobre algo e eu vou chamar isso aqui de um  $f$  minúsculo. Aí fica uma equação de primeira ordem, percebeu? Aí tem gente que brinca assim que isto aqui é um sistema Aristotélico, porque Aristóteles falava que a força era proporcional à velocidade, entendeu como é que é? Porque a constante multiplicando

vai (), então só pra brincar () aí é um conceito, só quero mostrar que cai numa coisa que funcionaria quase como se fosse matematicamente falando aristotélico. É curioso, é curioso... Resumindo, no dia que você for dar aula de... mecânica, você, depende da sua, do seu jeito didático, você vai matar os seus alunos por cansaço até eles aprenderem as leis de Newton ou senão, vou achar que não é um texto, um discurso escrito é falado, você usa as palavras... o resultado sensacional, o importantíssimo e aí assim, camufla a essência da discussão (risos). Mas, é que tem um detalhe aí, então a força não é intuitiva, é só intuitiva depois que conhece tudo na vida não é, parece intuitivo né. Você sabe que os livros de mecânica quântica, eu não sei porque que eles não falam da mecânica viu, eles falam assim -tem um livro que eu não tô com ele aqui, vários livros-, é comum vários livros, autores falarem assim, “mecânica quântica a gente não entende, a gente acostuma”, né? Então já que é assim eu vou começar direto com a equação de movimento né, mas eu acho que as leis de Newton a gente também não entende tão fácil, a gente acostuma. E eu digo mais, por exemplo, as pessoas falam a mecânica é intuitiva, mas mecânica quântica não é, por exemplo, vários movimentos da mecânica se perguntarem pra você e você pensar um pouquinho, você vai dizer qualitativamente como seriam os movimentos, mas é provavelmente que você tenha um monte de ficar olhando no dia-a-dia o que que acontece, você ficou estudando, mas só pra você ver como que a mecânica pode parecer intuitiva e pode acabar toda a intuição, aí você pega um corpo rígido, você já pegou aquela rodinha que você gira assim, por exemplo, pega aquilo e coloca na mão de uma criança ou de um aluno de física que ficou estudando corpo rígido, quando ele faz assim a força dá na outra direção né, dá o torque lá na outra direção, ele fica perplexo né e a intuição toda que você achava que tinha de mecânica foi se embora. É:: essa história, quer dizer, é muito difícil né, então resumindo você/você sabe que/vou aproveitar que está chovendo ali eu vou te contar outra coisa, você já pensou quando uma pessoa dá um seminário, qual a dificuldade, qual a diferença entre um bom seminário e um seminário não bom? Vamos supor que a pessoa, a pessoa que tá falando não tem problema de conhecimento né, porque você pode chegar lá e a pessoa começar a falar tudo errado pra você, vamos, esquecer esse detalhe técnico né, vamos supor que o problema não é com o conhecimento de quem fala, qualidade técnica de conhecimento de quem fala, quais as diferenças entre um bom seminário e um outro qualquer? Vou falar de outra forma, vou te questionar, não fica chateada não. Você e vários colegas vão e assistem um seminário, você já viu que tem vezes que sai um monte de gente falando “Puxa, que seminário legal, puxa que seminário...!” Eu vou, eu vou, eu vou falar agora de outra forma pra você, tem um monte de fatores, mas o principal seminário pra você gostar é se você entender! Aí eu vou dar/ aí suponha-se que eu vou falar um tópico muito avançado, tem gente



que fala um tópico muito avançado, você não consegue entrar no detalhe dele e o outro, mas aí se você gostou do seminário de uma pessoa e não gostou do outro, então num seminário você não tem muito tempo de refletir, então se você é banhada por entendimento, por exemplo quer falar de algo muito avançada e eu dou um exemplo bem simplificado de uma coisa que tem um paralelo com uma coisa avançada, aí eu faço aquele paralelo e você compreendeu claramente e aí em seguida eu “falo, pois bem, essa é uma situação bem simples, uma situação mais geral nesse mesmo aspecto qualitativo e funciona desse jeito”, você entende a primeira parte e você ficou tão feliz que entendeu que fosse fala “pode passar essa aqui que eu entendi” porque ninguém pensa que vai entender tudo no seminário e ele fica feliz com isso e vai pra segunda parte, entendeu?

(...)

S: Mas, o que que eu ia te falar, o seminário, então, se algum dia você quiser dar um seminário engane as pessoas, fale de uma coisa que elas entendam, sabe porque, por exemplo, quando eu comecei a dar aulas, eu lembro que tinha aluno meu, quando dei aula lá em São Paulo, na PUC, aluno meu que dava aula no Ensino Médio e aí ele ia dar aula e ele explicava alguma coisa e me contou que como ele explicava os alunos adoravam, na realidade era meio, era meio circular aquilo que ele explicava e aí é um pouco né, um pouquinho circular assim, mas os alunos gostavam, aí e aí eu passei a minha vida inteira, muito tempo perguntando o que que era um seminário legal, porque por exemplo, como que/porque o problema é assim, você se pergunta, “como que uma pessoa que não sabe mais que você pode falar melhor que você?”, não é, essa pergunta, você gostaria de te falar né, mas o que que faz ele-, as pessoas gostarem mais dele, tudo que ele falou também faria, mas as pessoas gostam muito mais, então foi aí que eu achei que as pessoas gostam de entender, então em determinados casos, então ela não precisa entender literalmente, ela tem que achar que entendeu, então se você fica falando coisas familiares para ela, ela... que faz sentido pra ela, ela fica inundada de felicidade e gosta, entendeu? Tem um monte de coisa, mas eu estou sendo simples, são hipersimplificações, coisas que influenciam, a pessoa pode ser meio chata, as pessoas vão achar ela sem empatia né, tem um monte de coisa que funciona né, certo, a pessoa... você já entendeu, um monte de coisa que pode influenciar né, a pessoa pode ter um tique nervoso, aquilo atrapalha você, um monte de coisa que pode atrapalhar, né. É:: mas esta parte é a que mais ajuda você conseguir fazer isso, aí eu percebi que por exemplo, é.. vou te dar um exemplo, se você normalmente-, a gente quando estuda um pouco mais de Física quer resgatar a Física da vertente histórica, não é, pensando ingenuamente, -deixa eu falar mal aqui-, pensando ingenuamente que aquilo vai fazer uma compreensão melhor, é ingênuo pensar isso, não faz. Vou te dar um exemplo, suponha que você vai falar de

alguma coisa de eletricidade e vai falar de eletrização por atrito com uma pessoa que nunca viu eletrização por atrito, você vai começar a falar de eletricidade, você fala “puxa, é isso é a primeira coisa que tenho que falar né”, vou te dar um exemplo como que a aula fica muito mais dinâmica e muito mais legal se você trocar a coisa que falta (joga o celular sobre a mesa), começa falando de, as pessoas têm muito mais, lembra que eu falei de intuição e costume? Tem muito mais intuição sobre isso, provavelmente elas vão prestar muito mais atenção se você for falar, começar falando do celular que é a apoteose da tecnologia hoje do que ficar falando por eletrização por atrito, então quando você disse que gostava lá da parte não sei o que, não sei o que, conceitual não sei o que, não é claro que as pessoas vão funcionar melhor, quando eu era mais novo, lá naquela época que eu comecei a dar aula, eu falava assim “tudo o que eu não entendi eu quero mostrar pros meus alunos, eu queria fazer todas as contas com o máximo possível de precisão e clareza, sem furo nenhum para que meus alunos entendessem”... acho que só que tem vezes que eles tem dificuldade no cálculo e é melhor não falar tanto o cálculo né, mas só pra concluir eu vou te falar qual é a coisa que mais me deixou chateado, não era a força, era a energia, passei o início da minha graduação inteira sem saber o que que era energia, passei o início da minha graduação inteira sem saber o que que era energia, entendeu?

Vou te contar uma coisa sobre aulas, sobre aula, é:: quando você tem clareza do que vai dizer, seus alunos vão achar aquilo fácil e quando você tem dificuldade no conceito você vai dar tanta volta pra falar, então vai ser tão cheia de/seus alunos vão ter dificuldade de entender, eles vão achar que é difícil, você pode fazer isso, é muito simples de fazer esse teste, você deu aula de uma coisa e patinou naquele dia da aula, os alunos vão ficar com dificuldade e você vai em outra turma dar a mesma aula, você vai falar, “agora eu resolvi esse problema”, os alunos vão ter facilidade, entendeu?

Então, quer dizer, o conceito de energia, não sei se você já leu sobre o conceito de energia, o conceito de energia eu não sei se ele demorou cerca de 100, 150 anos, esta reviravolta sobre energia, hoje eu tenho uma enganação sobre energia pra falar, né, por exemplo, a primeira que eu aprendi foi sem saber devido a Poincaré, só que Poincaré é matemático. É o seguinte, suponha/ vou voltar às equações de Newton, suponha que você tenha, queira resolver as equações de Newton, muito difícil, aquele monte de equação pra resolver e você faz a seguinte pergunta: “será que eu posso ter algum tantinho de informação sobre o sistema, algum tanto de informação sobre o sistema já que não posso resolver inteiro?”, porque o objetivo final é resolver todas essas equações, o objetivo final da mecânica é, dada a posição inicial saber a posição final, a evolução do sistema, esse é o objetivo final da mecânica conhecida as forças né, aquilo que se inventa lá no Ensino Médio de falar assim “ah, um corpo tá acelerada assim

não sei o que, qual é a força”, fica parecendo que a segunda lei de Newton é feita para achar a força, não é feita para achar a força, quando Newton fez isso não, dá a receita das forças do sistema, especifica o sistema, especifica as partículas e as forças que atuam e aí resolver, mas então tá. Então, você quer resolver as equações ou pelo menos em partes né? Então tem horas que você consegue resolver () equação diferencial usando a linguagem que é, integrar as equações pelo menos em parte, resolver pelo menos em parte, então a energia pode ser vista como uma primeira integral de movimento, momento linear, momento angular, todas elas e aí quando o sistema não depende explicitamente do tempo, por exemplo, tem hora que ele depende explicitamente o tempo, o que que/eu pego um sistema aqui e translado ele lá para (), se eu parto da mesma condição inicial, eu tenho que evoluir da mesma forma, para esses sistemas desse jeito aí se tira a conservação/aí você faz umas continhas e tira a conservação da energia porque vai dar uma suposição sobre a energia potencial e também você vai ter que excluir força de atrito, falar que as forças são só fundamentais né, tem a energia potencial, se tiver você chega lá, então dá pra falar, então, lá como Poincaré dizia, é uma primeira integral de movimento relacionada com esta invariância no tempo né, fazer experimento para agora e no futuro, então você fala: “Bonito, bonito!”. Mas, como que chegou a ideia de energia, né? por exemplo, Leibniz é:: ele chamava até de força, mas era energia, era  $mv^2$ , se você coloca  $1/2$  ou não né, falava disso, mas aí também se observa que a palavra (), por exemplo, quando você estudou o curso de termodinâmica, falava da conservação da energia, parecia quase um discurso sobre a imbecilidade né, era óbvia né, se conserve a energia se é complicado muitas partículas, conserva a energia, então não é, mas só que quando apareceu a termodinâmica, apareceu de uma maneira muito peculiar, né, porque a termodinâmica a primeira lei fala sobre conservação de energia, segunda lei sobre entropia, não é? Naquela época não tinha o conceito de energia, então o conceito de energia surge em alta proporção também pra dar suporte à termodinâmica, então surge naquela época né, aí vem a termodinâmica junto com as máquinas térmicas, isso aqui eu não sei se historicamente é assim, mas serve pra enganar os alunos, certo? Eles acreditam, essa maneira de conduzir, vem com as máquinas térmicas, quando você faz uma máquina térmica você pensa em trabalho que ela vai realizar porque eu quero dizer assim, ela vai fazer alguma coisa que substituía o ser humano, então se ela substitui o ser humano é razoável pensar no nome trabalho, né, porque o ser humano trabalha, a máquina trabalha por você, então o nome trabalho é sugestivo, aí vai servir lá, aí as pessoas ficavam pensando né, “oh quando, por exemplo eu segurar isso aqui em cima aqui parado na mesa, eu posso falar que eu tô morrendo de fazer trabalho, mas se eu chego aqui e escoro e coloco aqui meu trabalho, olha não tô fazendo nada certo?”, então, pensa que trabalho é uma coisa que tem que envolver

deslocamento e aí também trabalho depois pode pensar que tem que envolver força porque pensar primeiro só na força né, alguma coisa relacionada à força, mas aquela época força já era claro, balança de prato, já dava pra certo, já dava pra falar de força sim quantitativamente, acho que Newton, já estava claro o que era o conceito de força, então da... porque se observa que quando a gente aprende mecânica define trabalho e depois que definir trabalho, define que trabalho é uma variação da energia cinética, não é? então você definiu trabalho resolveu a vida. Parece que o conceito que emperrava era definir trabalho, quando você define trabalho, aí depois você definir trabalho faz uma-, você brinca com a energia cinética, então o trabalho é a variação da energia cinética, massa vezes aceleração igual à força, massa brinca com esse termo e do outro você brinca com a força né, daí o trabalho se relaciona com a energia potencial, aí se você relacionou aos dois, um fica igual ao outro, então dá conservação da energia né, mas, você já viu que um monte de livro fala assim que energia qualquer coisa é.. a capacidade de realizar trabalho, e ninguém gosta dessa definição, né? Certo, mas esta parece que está profundamente ligado com isto que te falei, porque vem da termodinâmica, entendeu? Aí fica ligado lá, então o que eu quero dizer é: um monte de gente que pensa que essas definições tá tudo errado, um monte de livro fala isso, é uma coisa meio circular, não é, pra ficar circular, então fica parecendo que eles estavam pegando da origem da termodinâmica, entendeu? Estavam pegando esse conceito da origem da termodinâmica, que aí quando você pensa com boa vontade, não querendo achar que o capítulo () errado, olha como que a pessoa erra, como que não tem cabimento, não, o que que acontece a pessoa não é boa, provavelmente ela errou, mas provavelmente tá misturado com esta porque lá depois ele pensa que a energia que conserva na máquina termodinâmica transforma essa energia em trabalho, né, então fica parecendo com isso entendeu? Mas, eu só quero dizer assim, então fica uma coisa complicada, mas eu quero dizer, mas o pior de tudo é que você faz até uma contextualização histórica, pseudohistórica do jeito que eu falei porque eu não sei se é verdade, mas faz sentido, um discurso que dá pra fazer sentido, que eu te falei que dá pra enganar né e aí o que que acontece nesse cenário todo/ mas se você ficar sabendo que que é energia né, dá pra ficar que nem Poincaré, primeira integral de movimento, uma parte fala sobre movimento, outra parte fala sobre configuracional e tal e potencial, potencial dá claro pra pra pensar que fica parado aqui quando você solta vira cinética, cinética dá pra usar pra alguma coisa, porque quando movimentada dá pra usar pra alguma coisa. Então, num potencial fica até claro, né? Porque que fica ali né, cinética fica obvio né, porque tá movendo, mas entendeu como que funciona? Então, dá pra falar de um monte de coisa, mas não é claro quando comecei minha graduação ficava/eu fui fazer, fui fazer disciplina de:: filosofia, de teoria da ciência, não sei o que, pra ver se eu entendia o que que era energia,

me atormentava o que era energia, força, por mais que eu não entendesse, dá pra imaginar qualquer coisa como esforço, era uma coisa palpável entendeu, oh empurra aqui faz uma força, mais força, quer dizer você tinha uma coisa ali que era falável, argumentável, sentia, poderia definir inteiramente por completo, mas que fazia parte de um pouco da intuição da possibilidade né? Mas energia não fazia parte de nada porque não dá pra pensar em quase nada, um argumento que eu achei, quer dizer, tem aquele de Poincaré que te falei, tem a definição de Poincaré, né, integrais de movimento esse puxando, que nem sei se é verdadeiro, puxando da termodinâmica pra fazer uma coisa que faz sentido no pensamento das pessoas né, entendeu como é que é? Então é, duro pensar que, aí tudo aí, o que que é carga, certo?

**APÊNDICE B – MODELO DO TERMO DE CONSENTIMENTO DE LIVRE ESCLARECIMENTO**

Ofício nº \_\_/\_\_\_\_-PCM

Maringá, \_\_ de \_\_\_\_ de \_\_\_\_.

Prezado professor,

Vimos, pelo presente, apresentar a pós-graduanda **Milene Rodrigues Martins**, bolsista Capes e doutoranda deste Programa de Pós-Graduação desde 2016. Ela possui Graduação em Licenciatura em Física no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul, Campus Bento Gonçalves e mestrado em Educação para a Ciência e Matemática neste programa de pós-graduação. Está realizando uma pesquisa que visa compreender como se deu a construção do conceito de força.

Essa proposta de pesquisa, concentra-se em estabelecer contato com os professores que ministram aulas para o curso de Física.

**Ao Departamento de Física**

.../



*/... Continuação do Ofício nº \_\_\_/\_\_\_\_-PCM*

O projeto da aluna irá analisar os dados qualitativamente. Esses procedimentos serão baseados nos princípios da pesquisa fenomenológica.

Cabe ressaltar que os dados da pesquisa serão mantidos com todo sigilo, respeitando a ética acadêmica, social e de pesquisas estatísticas; nenhum professor ou instituição de ensino será identificado em meios de divulgação acadêmica; as instituições de ensino terão nomes fictícios no texto da pesquisa e os dados serão usados apenas para fins acadêmicos.

Diante do exposto, peço a **autorização** para que a pesquisa seja realizada junto aos professores, iniciando o contato com os mesmos e aplicando os instrumentos de coleta de dados supracitados. Informamos, ainda, que a referida autorização será adicionada ao cadastro da Plataforma Brasil – banco de cadastramento de pesquisas acadêmicas – juntamente com outros documentos.

Segue em anexo a este Ofício o Termo de Consentimento Livre Esclarecido aprovado pelo COPEP-UEM.

No aguardo de uma manifestação.

Saudações cordiais,

*Marcos Cesar Danhoni Neves*

Coordenador do PCM

Anexo do Ofício nº \_\_\_/\_\_\_\_ - PCM.

### Termo de consentimento livre esclarecido

Gostaríamos de convidá-lo a participar da pesquisa intitulada “Uma abordagem histórica sobre alguns dos conceitos de força nos séculos XVII e XVIII” que faz parte do curso de Pós-graduação em Educação para a Ciência e a Matemática e é orientada pelo professor Dr. Marcos Cesar Danhoni Neves da Universidade Estadual de Maringá. O objetivo da pesquisa é compreender como se deu a construção do conceito de força. Para isto a sua participação é muito importante, e ela se daria da seguinte forma entrevista gravada em vídeo, com o objetivo de levantar informações sobre o que os docentes entendem e ensinam a respeito do conceito de força. Informamos que poderão ocorrer os riscos/desconfortos a seguir: emocionais e psicológicos caracterizados como mínimos. Gostaríamos de esclarecer que sua participação é totalmente voluntária, podendo você: recusar-se a participar, ou mesmo desistir a qualquer momento sem que isto acarrete qualquer ônus ou prejuízo à sua pessoa. Informamos ainda que as informações serão utilizadas somente para os fins desta pesquisa, e serão tratadas com o mais absoluto sigilo e confidencialidade, de modo a preservar a sua identidade. Os benefícios esperados são indiretos, ou seja, por meio da análise das entrevistas obteremos indicadores que nos auxiliarão a compreender questões que envolvem o conceito de força e o seu ensino.

Caso você tenha mais dúvidas ou necessite maiores esclarecimentos, pode nos contatar nos endereços abaixo ou procurar o Comitê de Ética em Pesquisa da UEM, cujo endereço consta deste documento. Este termo deverá ser preenchido em duas vias de igual teor, sendo uma delas, devidamente preenchida e assinada entregue a você.

Eu,.....  
 declaro que fui devidamente esclarecido e concordo em participar VOLUNTARIAMENTE da pesquisa coordenada pela Pesquisadora Alessandra Daniela Buffon

\_\_\_\_\_ Data:.....  
 Assinatura do pesquisado

Eu, Milene Rodrigues Martins, declaro que forneci todas as informações referentes ao projeto de pesquisa supra-nominado.

\_\_\_\_\_ Data:.....  
 Assinatura do pesquisador

Qualquer dúvida com relação à pesquisa poderá ser esclarecida com o pesquisador, conforme o endereço abaixo:  
 Nome: Milene Rodrigues Martins  
 (telefone/e-mail): milene\_r\_martins@hotmail.com

Qualquer dúvida com relação aos aspectos éticos da pesquisa poderá ser esclarecida com o Comitê Permanente de Ética em Pesquisa (COPEP) envolvendo Seres Humanos da UEM, no endereço abaixo:  
 COPEP/UEM  
 Universidade Estadual de Maringá.  
 Av. Colombo, 5790. UEM-PPG-sala 4.  
 CEP 87020-900. Maringá-Pr. Tel: (44) 3011-4444 E-mail: copep@uem.br