

Universidade de São Paulo
Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas
Departamento de Filosofia
Programa de Pós-Graduação em Filosofia da Ciência

Emerson Ferreira de Assis

AXIOMATA SIVE LEGES MOTUS:
*A mecânica racional newtoniana sob a ótica da metodologia dos
programas de pesquisa científica.*

São Paulo
2008

Emerson Ferreira de Assis

AXIOMATA SIVE LEGES MOTUS:
*A mecânica racional newtoniana sob a ótica da metodologia dos
programas de pesquisa científica.*

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Filosofia do Departamento de Filosofia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Mestre em Filosofia, sob a orientação do Prof. Dr. Caetano Ernesto Plastino.

São Paulo
2008

Os homens fazem sua própria história, mas não a fazem como querem; não a fazem sob circunstâncias de sua escolha e sim sob aquelas com que se defrontam diretamente, ligadas e transmitidas pelo passado. A tradição de todas as gerações mortas oprime como um pesadelo o cérebro dos vivos.

MARX, K. : **O 18 Brumário de Luís Bonaparte** in Obras Escolhidas, vol. 1, pág. 203.

Agradecimentos

A meu orientador, professor Doutor Caetano Ernesto Plastino, pela condução rigorosa da pesquisa, grande companheirismo e paciente compreensão de minhas limitações.

Aos professores Osvaldo Pessoa e Pablo R. Mariconda, pelas valiosas sugestões no momento do exame de qualificação e durante os cursos que ministraram no departamento.

Aos colegas do departamento, em particular aos da pós-graduação, pela oportunidade de discutir coletivamente os primeiros resultados e as dificuldades no desenvolvimento do projeto.

Aos funcionários do departamento de pós-graduação do departamento de Filosofia, da secretaria e da biblioteca, pela presteza nas inúmeras solicitações.

À Comissão Nacional de Pesquisa (CNPq), pela bolsa concedida durante o desenvolvimento do trabalho na pós-graduação.

À Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, pela oportunidade de realização do trabalho de mestrado.

Resumo

Assis, Emerson Ferreira de. **AXIOMATA SIVE LEGES MOTUS: A mecânica racional newtoniana sob a ótica da metodologia dos programas de pesquisa científica**. 2008.186f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

O objetivo deste trabalho é investigar o desenvolvimento da mecânica racional newtoniana, particularmente acompanhar sua inauguração com os *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* e a subsequente recepção do programa pela filosofia continental, no século XVIII, por alguns intelectuais e cientistas. Utiliza-se a metodologia dos programas de pesquisa científica como referencial epistemológico na caracterização e descrição do programa, e também a abordagem historiográfica que ela implica.

Epistemologicamente, procura-se escrutinar e precisar o sentido da noção de *núcleo duro*, em particular sua aplicação ao programa newtoniano de mecânica racional, mediante a análise detida do que Lakatos concebeu como o núcleo duro do mencionado programa, as leis dinâmicas e da gravitação apresentadas nos livros I e III dos *Principia*. O núcleo do programa da mecânica racional newtoniana é pensado por Newton como axiomas ou leis do movimento (*Axiomata sive leges motus*). Essa caracterização das hipóteses fundamentais da mecânica newtoniana aponta para sua centralidade, o que aparentemente confirma a idéia fundamental de Lakatos de que um programa de pesquisa é caracterizado pelo seu núcleo duro.

A questão que motiva este ensaio pode ser formulada nos seguintes termos: dado que, segundo Lakatos, o *núcleo duro* é o componente conceitual (caracterizado metodologicamente) que define os contornos da prática científica em determinado campo, primeiro, não seria o núcleo duro estruturado através da correlação com outros componentes da teoria de racionalidade de Lakatos, em particular da heurística positiva? Segundo, as suposições compartilhadas pelos partidários de um programa de pesquisa possuirão alguma característica distintiva (epistemológica) que legitime sua proteção em relação à refutação? Por fim, aplicada à história da ciência, esta noção metodológica resiste a um escrutínio historiográfico?

Palavras - chave: Programa de pesquisa. Núcleo duro. Leis de Newton. Lei da gravitação.

Abstract

Assis, Emerson Ferreira de. **AXIOMATA SIVE LEGES MOTUS: The Newtonian rational mechanics on the views of methodology of scientific research programmes.** 2008.186f.Dissertation (Master degree) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

The aim of this paper was to investigate the development of Newtonian rational mechanics, in special to analyze our rise with the publication of *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* and the consequent program reception by the continental philosophy. Was used the methodology of scientific research programs like epistemological framework in the program's characterization and description, and too the historiography approach entangled by it.

Epistemologically the aim is to scrutiny and to particularize the notion of hard core, specially in your application to Newtonian rational mechanics program, through the analyze of Lakatos conception of referred program's hard core: the dynamics laws of motion and the law of gravitation , presented in books I and III of *Principia*. To summarize, the question which motive this paper can be formulated in the following way: accepted the supposition that the hard core is the conceptual component which define the demarcation of the scientific practice in a established scope stability, first, the hard core will be not reducible to the others components of Lakatos' theory of scientific rationality, like a face of positive heuristics? Second, will have the shared suppositions in a scientific program any distinctive characters (epistemological) which legitimate the protection of them face the refutation? At last, applied to the History of Science, this epistemological notion resist against a historic scrutiny?

Key Words : Research Programs. Hard Core. Newton's laws of motion. Gravitation Law

Sumário

Resumo	05
Abstract.....	06
Introdução	09

Capítulo 1 Do método. Referencial epistemológico e suposições iniciais

1.1 Lakatos e a metodologia dos programas de pesquisa científica.....	19
1.2 Programas de Pesquisa.....	20
1.3 Racionalidade científica e História da Ciência.....	24
1.4 Revisão da literatura: A aproximação de Lakatos do programa newtoniano de mecânica racional.....	26
1.5 Indução versus método das hipóteses: refinamento epistemológico na interpretação historiográfica do programa de pesquisa da mecânica racional.....	32
1.6 Indução: lógica da descoberta, psicologia da invenção ou teoria da justificação?.....	38

Capítulo 2 Aspectos epistemológicos da investigação histórica

2.1 O conceito de núcleo duro e suas relações com a noção de lei científica.....	47
2.2 Caracterizando a noção de Lei Natural	50
2.3 O Núcleo duro de um programa e as leis naturais	54
2.4 A noção de lei natural no nascimento da modernidade.....	55
2.5 A matematização da filosofia natural como aspecto infra-estrutural da atividade científica no início da modernidade.....	58

Capítulo 3 Programas de Pesquisa

Uma visão geral do programa cartesiano de pesquisa.....	65
--	-----------

Capítulo 4	Ontogênese da mecânica racional newtoniana: as leis dinâmicas newtonianas como núcleo duro do programa.....	75
4.1	<i>Os Principia</i> como um programa.....	78
4.2	As leis do movimento: o núcleo duro da mecânica racional newtoniana.....	82
4.3	Lei da inércia	85
4.4	A segunda lei de Newton ou princípio dinâmico fundamental	92
4.5	A lei de ação e reação e sua relação com os dois primeiros axiomas do movimento.....	100
4.6	Das leis do movimento à gravitação universal: caracterizando o sub-programa da mecânica racional.....	110
4.7	Confirmação do núcleo do programa.....	119
Capítulo 5	O legado newtoniano e sua recepção no continente europeu no século XVIII: o “núcleo duro” da mecânica racional newtoniana nas obras de Euler e d’Alembert.....	125
	Considerações Finais.....	144
	Bibliografia.....	152
Anexo 1 :	Teorias relacionais e teorias absolutistas do espaço e do tempo nos primórdios da física clássica.....	157
Anexo 2 :	Uma análise externalista do programa newtoniano da mecânica racional newtoniana: Filogênese.....	172
Anexo 3 :	Das leis de Kepler à gravitação universal.....	185

Introdução

O estudo intenso dos pensadores clássicos ingleses logo me ensinou que não se pode esperar compreender as motivações subjacentes às suas obras sem reconhecer integralmente a filosofia de um inglês cuja autoridade e influência nos tempos modernos rivalizam com a que Aristóteles exercia no final da Idade Média – Isaac Newton.

BURTT, E. **As Bases Metafísicas da Ciência Moderna**; Prefácio.

As idéias de progresso e de revolução científica são centrais nos estudos metodológicos da prática científica, seja por adesão às mesmas ou por oposição a elas. Como conceito, a idéia de revolução científica é central à história e à filosofia da ciência, certamente a ponte que liga estas duas disciplinas e lhes permite trabalhar em conjunto. Em particular, a revolução científica que se processou entre os séculos XVI e XVII apresenta-se à história e à filosofia (geral e da ciência) como o episódio central no desenvolvimento da cultura e do pensamento modernos. O surgimento da ciência moderna tornou-se um ponto de referência que guia historiadores e filósofos na reflexão sobre os sentidos da modernidade, apresentando-lhes questões a respeito do que ela foi como movimento científico, histórico e social, o que exatamente aconteceu, e quais foram os seus determinantes (OSLER, M. J.: 2000; pág.3).

Por um lado, os comentadores da filosofia do século XVII são quase unânimes em apresentar a “matematização” da filosofia natural como o ponto de inflexão que caracterizou o pensamento científico (talvez todo o pensamento filosófico) no início da modernidade, fruto de uma reorganização ontológica fundamental e, em especial, uma reconfiguração da idéia de natureza em relação à tradição antiga e medieval. Essa reconfiguração tem sua representação na oposição entre a idéia de natureza como uma “cadeia do ser” e a idéia moderna de que a natureza pode ser reduzida, pelo menos em seus elementos fundamentais, ao peso e à medida.

Esse caráter inovador do pensamento do século XVII é assinalado há muito tempo, contudo, não é tão antiga a tentativa de sua explicação, articulando-se investigações no âmbito da filosofia geral e os elementos mais restritos da filosofia da ciência, dos fatores que condicionaram histórica e filosoficamente o processo de reestruturação da linguagem científica e a postulação da capacidade epistêmica da atividade científica de desvelar o mundo de maneira realista¹.

¹ O termo aqui obviamente não pretende apontar para o ‘realismo científico’ como escola filosófica, mas antes uma acepção bastante geral, relacionada com a crença de que a ciência pode atingir a verdadeira estrutura do mundo, em algum nível fundamental, para além da mera observação/experimentação ingênua por meio dos sentidos. Esta

Por outro lado, está estabelecida há alguns anos uma cerrada polêmica entre as interpretações tradicionais e aquelas mais próximas à sociologia da ciência (ou, se se quiser, uma historiografia menos ortodoxa, representada, no caso dos estudos newtonianos, pelo debate entre Betty DOBBS e Richard WESTFALL), que parece apoiar-se essencialmente em duas concepções radicalmente distintas da racionalidade científica.

A “nova” historiografia científica acusa os intérpretes ortodoxos de assumirem que o modelo de pensamento dos 'pais' da ciência moderna é essencialmente o mesmo daquele da ciência contemporânea (OSLER, M. J.: 2000; pág.5). Historiograficamente, tal tipo de afirmação guia invariavelmente a construção de quadros do desenvolvimento científico permeados por ‘heróis’ cuja imagem não raro dificulta a interpretação das motivações racionais que levaram homens como Newton a interessar-se pela alquimia ou o pitagorismo místico de Kepler. Em contraste, interpretações contemporâneas têm ressaltado que os autores do passado não articulavam suas concepções sobre o mundo como as do presente, sendo necessária a interpretação de suas obras nos termos pertinentes ao momento histórico particular que lhes deram origem.

É sobre este pano de fundo que se procura o filósofo e cientista Newton para além do mito que os séculos XVIII e XIX construíram (THUILLIER, P.:1988 [1994]). Seguramente Newton foi o autor de uma nova física, um programa de pesquisa que revolucionou como nunca antes visto a ciência tal o seu poder teórico, de previsão e resolução de problemas. Associada intimamente ao cálculo diferencial e integral (fluxões), por si só um avanço sem precedentes na matemática e, em consequência, na filosofia natural do período em seu esforço de matematização, a mecânica racional newtoniana realiza uma sistematização da dinâmica significativamente importante para o desenvolvimento da ciência na modernidade: unificando a física celeste e a física terrestre num único, simples e poderoso conjunto de leis - as três leis do movimento e a lei da gravitação, ela não só se torna o campo de atividade científica mais bem-sucedido de seu tempo, mas o modelo de prática científica a ser seguido.

Dadas as limitações deste ensaio, das muitas questões filosoficamente interessantes a serem discutidas da metodologia científica de Lakatos, nos propomos centrar a atenção apenas sobre o conceito estrutural desta perspectiva analítica do desenvolvimento científico, qual seja, a noção de *núcleo duro*. A filosofia da ciência de Lakatos, a partir do ensaio *Falseacionismo e a metodologia*

perspectiva será esclarecida no decorrer deste trabalho.

dos programas de pesquisa científica, claramente oscila entre o domínio historiográfico e o epistemológico. Mais precisamente, os conceitos da teoria de racionalidade corporificados pela M.P.P.C (Metodologia dos Programas de Pesquisa Científica), estabelecidos de um ponto de vista epistemológico, pretendem fornecer o substrato analítico para o historiador da ciência.

É bastante evidente, e ressaltado por Lakatos no ensaio *História da Ciência e suas reconstruções Racionais*, que a metodologia dos programas de pesquisa científica constitui um modelo de racionalidade científica com implicações historiográficas. Mais precisamente, o historiador (da ciência em particular) utiliza na análise dos fatos, aos quais procura estabelecer um nexo de inteligibilidade, um modelo de racionalidade que o orienta a julgar sobre o progresso das teorias científicas, sua justificação em relação ao conhecimento de fundo estabelecido e, em especial, da legitimidade de um corpo de conhecimento ser pensado como científico (Lakatos, 1974 (a) e (b)). Assim sendo, propondo Lakatos sua teoria de racionalidade (ou metodologia científica), especifica ele um âmbito de aplicação, qual seja, a (re)construção da história da ciência (que, segundo sua perspectiva, também seria o campo de teste das diferentes metodologias científicas).

É interessante lembrar que a metodologia lakatosiana inspira-se fundamentalmente na obra de Popper. Mesmo provindo de uma perspectiva geral popperiana, a metodologia de Lakatos entende ser necessária a reforma do critério de honestidade intelectual, ou melhor, dos critérios de racionalidade científica. Critica-se, sob a ótica da investigação histórica, o critério negativo da falseabilidade presente na obra popperiana, e elege-se um critério fundado no aspecto convencional, hipotético e falível da ciência, cuja demarcação coloca-se no progresso teórico (descoberta de fatos novos) associada a instâncias de corroboração, preferencialmente espetaculares (confirmação de previsões de fatos novos, o que se pode chamar critério positivo de cientificidade).

É importante compreender que tal deslocamento de critérios metodológicos deverá vir acompanhado de uma reconfiguração dos conceitos de análise; em especial, não serão teorias isoladas que devem ser avaliadas em sua cientificidade, mas antes séries de teorias nas quais cada uma suplanta teórica e empiricamente (num caso ideal) a anterior.

Essa perspectiva popperiana remodelada impõe que se explicitem as unidades de continuidade científica que permitem o progresso, seja isto dito de outro modo, as razões que

autorizam a inferência de que certo conjunto de n teorias corporificam uma unidade metodologicamente organizada de pesquisa.

Tais suposições aparentemente parecem captar a continuidade conceitual e a racionalidade presentes na prática científica de uma maneira razoavelmente adequada e é realizada, epistemológica e metodologicamente, pela noção de núcleo duro. Mais precisamente, um programa de pesquisa consiste essencialmente em duas regras (e logo da decisão de segui-las) metodológicas: uma heurística positiva, que indica os caminhos a serem trilhados pela pesquisa, e a heurística negativa, que proíbe dirigir o *modus tollens* para o núcleo do programa. Entretanto, uma decisão metodológica – que é tomada em vista de certos fins a serem alcançados – não se auto-justifica e, mais ainda, não explica o êxito alcançado na realização de seus fins.

No entanto, o conceito de núcleo duro, por assim dizer o elemento estrutural desta teoria de racionalidade, na medida em que estabelece os contornos da unidade básica de desenvolvimento científico, que Lakatos defende ser o *programa de pesquisa*, apresenta-se, segundo nossa interpretação, de uma maneira exógena em relação a este modelo de racionalidade, mais precisamente uma variável exógena corroborada pela informação historiográfica mais ou menos bruta o que, aparentemente, é uma inversão da ordem que o autor mesmo estabeleceu para a relação entre epistemologia e historiografia. Mais precisamente, a noção de núcleo duro é um conceito metodológico da dinâmica científica, que se correlaciona com a investigação da história da ciência na medida em que esta parece desenvolver-se por meio de estratégias de preservação de certos conceitos.

Entretanto, a caracterização puramente metodológica não explica o êxito da atividade científica, mais precisamente dos programas de pesquisa bem sucedidos. Sem avançar em direção à análise epistemológica da construção (ou surgimento) do núcleo duro dos programas de pesquisa, a afirmação (metodológica) de sua existência não indica as razões para a mesma, nem os critérios epistemológicos de identificação do núcleo duro, nem o critério de aceitação de um programa baseado na análise do núcleo do programa, o que motiva severas críticas à perspectiva da metodologia dos programas de pesquisa científica, em particular por Feyerabend. Lakatos afirma que o núcleo duro é um conjunto de proposições protegidas da refutação por decisão metodológica; no entanto por que não seriam protegidas da refutação – ou desqualificação – não proposições teóricas, mas métodos experimentais, conhecimento de fundo (proposições do cinto de proteção, na

metodologia de Lakatos), etc.. No contexto específico da investigação do programa da mecânica racional newtoniana essas questões apresentam maior determinação.

Philosophiae Naturalis Principia Mathematica justificadamente ocupa a posição de um dos mais influentes textos científicos da cultura ocidental. A filosofia natural de Newton apresentada nesse livro articulou, no final do século XVII, o horizonte de questões a partir do qual boa parte da filosofia e ciência modernas se constituiu (aliás, diga-se, não só na Grã Bretanha como afirma BURTT, mas em toda a Europa e América anglofônica). De fins do século XVII até o início do século XX, seja por oposição àquela filosofia e à metafísica geral que ela implicava (por exemplo, como Leibniz e os românticos alemães, em especial Goethe), seja por adesão a ela (como em Kant, ainda que essa adesão se dê a partir de reformulações e reinterpretações da obra que implicavam a recusa de certas teses centrais presentes na ‘ordem das razões’ newtoniana), a presença das idéias do professor lucasiano de matemática no desenvolvimento da modernidade (científica e filosófica) se fez sentir incontestável².

A principal justificação para investigar Newton e sua obra repousa essencialmente nesta posição central do pensamento newtoniano para a filosofia moderna e, em especial, o papel que os *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* (geralmente referido simplesmente como ‘*Principia*’) desempenharam para a consolidação da mecânica racional não só como ciência madura, mas como o modelo de prática científica, ultrapassando fronteiras disciplinares, permeando a filosofia, a religião e a literatura modernas. Talvez sobretudo, pela posição central da obra no desenvolvimento da filosofia e de vários setores da cultura a partir do século XVIII, percebe-se que, por diversas razões, a interpretação de seu significado, tal como idealizados pelo próprio autor, tenham sido distorcidos em vista das apropriações particularizadas do pensamento newtoniano (em especial pelos iluministas do século XVIII³).

Assim sendo, o objetivo deste ensaio será recuperar os fragmentos mais salientes da filosofia e da ciência de Newton, o sentido da mecânica racional em seu nascimento (via a leitura dos *Principia*) a partir da utilização das ferramentas epistemológicas e historiográficas propostas pela metodologia dos programas de pesquisa de Imre Lakatos. Seguindo Lakatos, a unidade básica de avaliação do desenvolvimento da ciência não é a teoria, mas séries de teorias compondo um programa de pesquisa.

² Somente para citar alguns autores cujas obras corroboram tal perspectiva: Hume, Kant, Berkeley, Voltaire, Diderot (epistemólogo), D’Alembert, Whewell, entre muitos outros.

³ P. ex, pode-se ver essas apropriações em VOLTAIRE: Letters on England, cartas XII e XIV; FONTENELLE: The life of Sir Isaac Newton.

Um programa de pesquisa é construído a partir da união entre um conjunto de suposições ou hipóteses compartilhadas pelos defensores de uma série de teorias, convencionalmente aceitas e por decisão metodológica (provisória) irrefutáveis, o que é nomeado 'núcleo duro' do programa, e uma 'heurística positiva' que define problemas, indica caminhos a serem trilhados para a construção do conjunto de hipóteses auxiliares, para afastar as anomalias e as converter em exemplos positivos de fenômenos explicados, tudo de acordo com um plano pré-concebido (LAKATOS in HOWSON: 1976, p.9). Investigar a mecânica racional com as ferramentas conceituais da metodologia dos programas de pesquisa científica significa, portanto, primeiramente aceitar que esta disciplina constitui não só uma especialidade teórica, mas um programa de pesquisa (programa newtoniano de pesquisa) bem caracterizado pelo 'núcleo duro' do mesmo e seu aparato heurístico.

É preciso atentar, no entanto, para o fato de que a noção de núcleo duro corporifica, por assim dizer, a 'essência' de um programa de pesquisa. Nos termos de Lakatos, o núcleo duro de um programa de pesquisa é um conjunto de suposições compartilhadas pelos defensores de certa perspectiva científica, tornadas irrefutáveis por decisão metodológica (temporária) e que articulam os conceitos fundamentais de um programa.

Não se encontra, contudo, formulado explicitamente nas obras de Lakatos e de seus seguidores uma justificação explícita, ou melhor, uma inferência baseada em critérios epistemológicos, para essa afirmação (pelo menos que tenha chamado a atenção do autor deste ensaio), qual seja, a de que epistemologicamente a estratégia de manutenção a todo custo de um conjunto de hipóteses organiza a pesquisa no decorrer do tempo, mediante os programas de pesquisa. Em particular, do ponto de vista filosófico, não há razão para supor que um programa de pesquisa deva ser caracterizado por um 'núcleo duro' e não pelo compartilhamento de outras suposições, tais como métodos experimentais, conhecimento de fundo, etc.⁴, como acima mencionado. Seguindo Lakatos:

Mas se a história da ciência – como parece ser o caso [*em relação ao falseacionismo popperiano*]- não confirma nossa teoria da racionalidade científica, temos duas alternativas. Uma delas é abandonar os esforços para dar uma explicação racional do êxito da ciência ...A outra alternativa é tentar, ao menos, *reduzir* o elemento convencional do falseacionismo e substituir as versões ingênuas do falseacionismo metodológico por uma versão sofisticada que

⁴A questão é obviamente bastante mais complexa na medida em que as suposições teóricas influenciam as teorias observacionais, os métodos, etc. A idéia central é de que não é inequívoca e inapelável, do ponto de vista lógico, epistemológico e historiográfico a afirmação deste componente conceitual estruturante da prática científica que Lakatos nomeia núcleo duro.

daria um novo fundamento lógico ao falseacionismo e, por esse modo, salvaria a metodologia e a idéia de progresso científico.

LAKATOS (1970[1979]): pp. 140-141.

A justificativa mais explicitamente elencada na defesa do conceito de núcleo duro geralmente recorre à informação historiográfica. Esse fato em particular não chega a ser espantoso, pois o autor pretendia construir uma filosofia da ciência pautada pela interação dialética entre a filosofia e a história, ideal desenhado desde suas primeiras obras (*Provas e Refutações*). No entanto, filosoficamente, mesmo que a observação de que uma série de autores e cientistas compartilham certas proposições possa justificar um conceito analítico historiográfico, ela não justifica epistemologicamente a afirmação do mesmo em uma teoria da racionalidade científica.

Em outros termos, a observação (ou se se quiser a prova empírica de existência) de que a prática científica se faz pelo trabalho colaborativo de indivíduos compartilhando um conjunto de suposições - protegidas de refutação – em séries de teorias ao longo do tempo não informa nada em relação às características epistemológicas destas suposições. A observação histórica não diz nada sobre o estatuto epistemológico e racional desta estratégia (pensada aqui, sob a ótica de uma teoria da racionalidade fundada nomologicamente, como parece ser o caso da metodologia de Lakatos), embora possa trazer indícios interessantes sobre sua gênese e desenvolvimento.

Assim sendo, mesmo que o conceito de núcleo duro apresente uma justificativa historiográfica razoavelmente pungente (embora a inalterabilidade do núcleo duro de um programa de pesquisa seja freqüentemente colocada em questão em ensaios historiográficos fora do programa lakatosiano, por exemplo por Laudan), pois, sob qualquer ótica de racionalidade, é possível facilmente estabelecer conexões entre o trabalho de diferentes cientistas atuando em um mesmo campo de investigação por meio da afirmação explícita de leis, princípios e métodos (o que se apresenta como o cerne da noção de núcleo duro de um programa tal como caracterizado por Lakatos), a questão filosófica ou, antes, epistemológica, permanece em aberto.

Essa distinção entre historiografia apoiada em uma teoria da racionalidade científica e a própria teoria da racionalidade é que motiva a seguinte questão : aceito o pressuposto de que o núcleo duro é o componente conceitual de um programa que estrutura a prática científica em determinado campo (ou seja, estabelece a identidade de um modelo de trabalho científico), terão as suposições compartilhadas pelos defensores de um programa de pesquisa alguma característica distintiva (epistemológica)? Esta noção metodológica, quando aplicada à historiografia, resiste a um

escrutínio historiográfico? ou, em outros termos, a teoria da racionalidade na qual ela aparece representa satisfatoriamente a racionalidade científica atual, reconstruindo coerentemente a história da ciência?

Sucintamente, o objetivo deste ensaio é tornar endógena a noção de núcleo duro, o que significa a tentativa de que ela decorra de suposições epistemológicas já presentes na filosofia da ciência de Lakatos. Mais precisamente, pensamos que a análise epistemológica do surgimento do núcleo duro do programa da mecânica racional pode indicar uma estrutura para este conceito, que é metodológico e historiográfico, mostrando que o núcleo de um programa não se justifica apenas metodologicamente (o compartilhamento de certas hipóteses por convenção), mas epistemologicamente, o que indicaria as razões de porque tais proposições que caracterizam o núcleo foram escolhidas e porque estas proposições levam ao progresso do programa. Notavelmente conceitos como de 'heurística positiva' e 'progresso' destacam-se na filosofia e nos ensaios historiográficos patrocinados pela metodologia lakatosiana. Correlacionar a noção de núcleo duro e estes conceitos claramente epistemológicos (além de outros já sedimentados, como suporte empírico) parece ser uma alternativa filosófica interessante na manutenção e no desenvolvimento deste modelo de racionalidade, daí o interesse em abordar o tema.

Do ponto de vista do método de tratamento do tema neste trabalho, supondo que a noção de núcleo duro permite identificar um programa de pesquisa, no caso o programa newtoniano de mecânica racional, investigaremos atentamente a gênese do programa nos *Principia* (através de sua ontogênese – a lógica particular de funcionamento dos conceitos produzidos e incorporados no programa) e sua recepção no século XVIII por filósofos e cientistas no continente europeu, em particular Euler e d'Alembert. Infelizmente, as limitações inerentes a este ensaio permitem apenas tocar as questões mais relevantes no que diz respeito a esta recepção, sendo impossível um escrutínio pormenorizado de todos os autores, ou pelo menos o conjunto dos mais relevantes.

Assim, seguindo a interpretação de uns poucos autores, procurar-se-á identificar as questões mais salientes e o debate suscitado entre os maiores intelectuais e cientistas do Iluminismo francês. Este tema também aparece neste ensaio como consequência necessária do modelo de racionalidade que orienta a investigação histórica. Um programa de pesquisa é feito pelo compartilhamento de certas suposições (hipóteses) no decorrer do tempo. Se a mecânica racional newtoniana constituiu um programa de pesquisa, ela deve ter sido recepcionada e aceita por cientistas além do próprio Newton. Em particular, os autores acima mencionados parecem

candidatos interessantes a partidários da mecânica racional newtoniana, dado que contribuíram fundamentalmente para o desenvolvimento da dinâmica e não raro mencionam a obra máxima do professor lucasiano, os *Principia*.

A perspectiva é de que o tipo de análise proposto, fortemente relacionado à história, possa apontar certas características epistemológicas das proposições compartilhadas, componentes do núcleo duro do programa newtoniano de mecânica racional, características estas que deverão ser posteriormente discutidas sob a ótica epistemológica, com o objetivo último de correlacionar a noção de núcleo duro com elementos epistemológicos. Nesse sentido, a atenção despendida na análise (histórica e filosófica) dos *Principia* será predominante, sendo seguida pela avaliação epistemológica. Após a análise da recepção do programa por cientistas do continente, tentaremos articular e estruturar os resultados sob a ótica dos objetivos acima mencionados.

Um primeiro aspecto filosófico interessante a ser notado é de que a investigação da mecânica racional newtoniana (aqui proposta) e de outros estudos já realizados sob o patrocínio da perspectiva lakatosiana (HOWSON: 1976) parece indicar a existência de uma associação íntima entre a noção de núcleo duro e de lei científica. Isto implica a necessidade de uma incursão prévia ao debate que procura estabelecer o sentido deste último conceito (em particular a concepção corrente no século XVII, já que a semântica do termo sofreu profundas alterações frente às ideologias científicas que se sucederam na modernidade (CANGUILHEM: 1970)) para estabelecer as correlações possíveis entre as noções de núcleo duro e lei natural e como estas podem auxiliar na compreensão histórica do programa newtoniano e, em particular, do significado de explicação científica dentro da mecânica racional. Tais questões serão discutidas em maior pormenor nos capítulos 2 e 3.

Após a breve incursão à temática do conceito de lei científica e sua construção no início da ciência moderna (em particular no âmbito da mecânica racional newtoniana durante sua constituição), apresentaram-se na monografia os aspectos mais salientes do que se poderia nomear o “programa cartesiano de pesquisa”, antecessor e rival no século XVII do programa newtoniano. Procurou-se explicitar as razões que levaram a mecânica racional newtoniana a superar o programa cartesiano (sob a ótica da metodologia dos programas de pesquisa científica e portanto, tendo como parâmetros os critérios estabelecidos pela mesma).

Incursionou-se posteriormente sobre o programa newtoniano de pesquisa, sob a ótica do funcionamento particular dos conceitos (incorporados e criados) no sistema de Newton, para a

explicação do movimento dos corpos sob quaisquer condições dadas (que é por assim dizer a própria definição de mecânica racional segundo Newton). Destaca-se sua primeira e mais bem-sucedida aplicação, a teoria da gravitação. Tais questões serão discutidas nos capítulos 3 e 4 da monografia e são o cerne deste ensaio, além de algumas questões epistêmicas preliminares, como o papel e o sentido da “filosofia indutiva” (e sua correlação com o conceito de 'análise') na construção e justificação da mecânica de Newton.

Como já mencionado, uma implicação natural de um estudo historiográfico baseado na metodologia dos programas de pesquisa científica, será investigar a continuidade de um programa de pesquisa mediante a recepção do mesmo por cientistas externos ao núcleo criativo (admite-se a possibilidade de criação de um programa por mais de um cientista, por exemplo, uma escola). Assim, uma questão que está sempre no horizonte da investigação é se efetivamente os autores que trabalharam no âmbito da mecânica racional pensavam (e constituíam) sua prática científica tomando as leis do movimento como 'núcleo duro' de seu programa de pesquisa, tal como supunha Lakatos.

Mais precisamente, se procura com esta investigação avaliar em que medida as leis do movimento e da gravitação funcionam como o componente conceitual estrutural da prática científica no âmbito das investigações dinâmicas e, portanto, em que medida as leis do movimento e da gravitação funcionam como um elemento estrutural (em algum sentido) que possibilite apoiar a explicação da continuidade (mas também da inovação, que é representada pelos fatos novos descobertos pelo programa) científica sob algum quadro de inteligibilidade racional. No capítulo 1 retomaremos os conceitos da metodologia dos programas de pesquisa científica com maior atenção para, só então, a partir do esclarecimento do modo como estão sendo interpretados os mesmos pelo autor desta monografia, proceder à reconstrução do programa da mecânica racional newtoniana.

Capítulo 1

Do método. Referencial epistemológico e suposições iniciais

1.1 Lakatos e a metodologia dos programas de pesquisa científica

É um ponto pacífico entre historiadores e filósofos contemporâneos que, seja a história da ciência ou outra atividade humana qualquer, é indispensável a utilização de um quadro geral de conceitos (sincrônica ou previamente estabelecidos) que oriente a investigação e a construção do quadro explicativo filosófico ou historiográfico de uma certa realidade. Seja isto, o investigador da história e da filosofia não pode operar sem pré-concepções a respeito do que é essencial ao “fato” analisado, se objetiva dar alguma inteligibilidade racional ao mesmo. O papel de uma reflexão consciente sobre tal referencial é de suma importância no âmbito da filosofia e da história da ciência, pois estas pré-concepções irão determinar aquilo que, na análise histórica será “interno” ou “externo”, em um sentido lakatosiano⁵ (KUHN: 1970[1979]; pág. 138) o que corresponde indiretamente ao que será ‘racional’ ou puramente ‘ideológico’ para a filosofia.

A metodologia da ciência de Imre LAKATOS (que pode ser entendida como uma teoria da racionalidade científica) provém de uma orientação epistemológica geral popperiana. São centrais a esta tradição (e ao trabalho de Lakatos em particular) a convicção de que todas as pretensões ao conhecimento são falíveis, de que a atividade científica como empreendimento cognitivo é distinta das pretensões cognitivas de outros setores de atividade intelectual e de que o problema central da

⁵ A história interna, especificamente da ciência, é aquela associada ao desenvolvimento das teorias normativamente entendidas como científicas, isto é, aquelas teorias que satisfazem certos requisitos de racionalidade impostos pela metodologia sobre a qual o historiador assenta sua investigação. Como complemento desta, história externa é a história dos fatos extra-científicos que influenciaram os rumos da atividade científica, isto é, os fatos que, desprezando os valores (cognitivos, sociais, etc.) e objetivos (auto-regulamentados de direito) desta prática, cercearam-lhe o desenvolvimento, como é o caso da submissão da genética mendeliana na União Soviética nos anos 50. Sucintamente, a história interna é a reconstrução racional da história do desenvolvimento científico, orientada pela filosofia da ciência que providencia os critérios metodológicos (isto é, os critérios de racionalidade) que explicam (racionalmente) o avanço do conhecimento objetivo. Quanto mais interna for a reconstrução da história promovida por uma metodologia científica, isto é, quanto mais eventos pensados pelos cientistas como racionais forem incorporados pelos critérios metodológicos de uma filosofia da ciência, tanto maior será o seu valor como teoria da racionalidade científica (segunda a perspectiva de Lakatos). A história externa, nesse sentido, é um complemento necessário às reconstruções racionais, face à dimensão multifacetada e complexa da atividade científica, onde os passos criativos não podem remeter inequivocamente aos planos racionais pré-concebidos.

epistemologia é a investigação objetiva do crescimento do conhecimento (LAUDAN: 1993; pág. 63).

Um resultado largamente reconhecido das investigações de Kuhn e Lakatos é que o critério de honestidade intelectual proposto pelo falseacionismo popperiano (recusar teorias vítimas de falsificações), em confronto com a historiografia científica, parece implicar que muitas decisões de cientistas reconhecidos por seus trabalhos e mesmo teorias inteiras foram (e são) irracionais (dado o não estabelecimento imediato ou em qualquer tempo de falseadores potenciais, da contínua defesa de um corpo teórico mesmo após um dito experimento crucial negativo - ou seja, domínios científicos refutados - etc.).

A perspectiva geral da epistemologia (e da historiografia) corporificada pela metodologia dos programas de pesquisa científica resume-se nas seguintes características gerais: adota-se um referencial epistemológico que informa essencialmente o que constitui o progresso científico e as condições em que a afirmação de que uma teoria científica é mais adequada que uma rival é racionalmente justificável. Estes critérios, que corporificam o essencial da racionalidade da ciência, permitem a constituição de uma história interna da mudança científica⁶.

1.2 Programas de Pesquisa

A unidade organizada de pesquisa na metodologia de Lakatos deixa de ser a teoria e passa a ser o programa de pesquisa. Um programa de pesquisa se constitui em uma série de teorias sucessivas que se ligam umas às outras pelo compartilhamento de proposições ou hipóteses, o núcleo duro do programa que, por decisão metodológica dos seus defensores, são tornadas irrefutáveis (pelo menos por um período). Tal decisão determina a heurística negativa do programa e se traduz no imperativo de não apontar o *modus tollens* para as suposições nucleares a partir das quais se erige o programa, durante seu desenvolvimento. Estes são os componentes conceituais que garantem a

⁶ A defesa filosófica da idéia de que a mudança científica se dá por motivos (tipicamente) racionais demandaria uma investigação particular e sua ausência nesta monografia certamente enfraquece o desencadeamento filosófico do trabalho, mas que se aceitará como um ônus intangenciável dadas as limitações inerentes deste ensaio.

unidade teórica e que permitem a delimitação e o desencadeamento de articulações e rearticulações progressivas de um programa de pesquisa.

Estas articulações e rearticulações, que constituem a pesquisa propriamente dita⁷, dependem de teorias auxiliares, dados observacionais, etc. (tomadas em conjunto como “cinto de proteção” do programa) e indicações metodológicas. Esse conjunto e suas inter-relações é chamado por Lakatos de heurística positiva. A heurística positiva é somente um conjunto parcialmente articulado de sugestões ou palpites sobre como mudar e desenvolver as variantes refutáveis do programa, e sobre como modificar e sofisticar o cinto de proteção “refutável”⁸.

Quadro Resumo dos conceitos da metodologia dos programas de pesquisa científica

a) <i>Programa de Pesquisa</i> : série de teorias ligadas conceitualmente pela aceitação comum de proposições tornadas irrefutáveis por decisão metodológica.

b) <i>Núcleo duro</i> : Conjunto de proposições irrefutáveis por decisão metodológica. A <i>heurística negativa</i> consiste no imperativo de não apontar o <i>modus tollens</i> para as proposições do núcleo duro, o que equivale a dizer que estas proposições são tomadas como irrefutáveis.
--

⁷ Sob esta ótica, o conceito de núcleo duro se aparenta um pouco com a idéia kuhniana de paradigma ou exemplar, na medida em que é, por fim, uma ferramenta para solução de enigmas (embora exemplar não se reduza à um conjunto de leis, mas seja constituído pelas leis e métodos de resolução, que em Lakatos são elementos distintos). Note-se, no entanto, que este processo de resolução no caso kuhniano não tem maiores implicações para a ciência, já para Lakatos eles devem se submeter a certos padrões de validade e justificação que imporão a marcha progressiva da ciência, como se verá adiante.

⁸ Algumas considerações devem ser tecidas em vista de uma melhor compreensão da proposta metodológica lakatosiana. Em primeiro lugar, o núcleo duro de um programa de pesquisa não surge pronto e acabado como Atenas armada da cabeça de Zeus. Como se vê mencionado na nota 163 de Lakatos: 1970[1979], o núcleo duro possui um processo de formação. Como este aspecto nunca foi muito atentado pelos críticos e Lakatos não se dedicou explicitamente ao assunto nas obras posteriores (também seus seguidores não o fizeram), esta é uma das grandes lacunas da sua proposta. Pode-se é claro estabelecer certas conjecturas pautados no ensaio “Provas e Refutações” onde é apontado, por meio da idéia de método de anti-monstro e anti-exceção, um interessante caminho de manutenção, no âmbito da matemática, de proposições frente à crítica. Mais ainda, no escrito observa-se que é no ensaio e erro cotidiano que certos lemas e proposições se apresentam mais fecundos, que apresentam menos casos de incongruência (ou mesmo de refutação) e estas proposições e lemas passam a adquirir “status” de núcleo duro de um programa – nesse caso matemático. É preciso lembrar que se trata antes de uma hipótese de leitura, mas não parece tão ilegítimo imaginar que proposições simples, instrumentalmente adequadas e conceitualmente produtivas ao longo do tempo acabem por afigurarem-se como núcleo duro de um programa, mesmo que não seja apontado desde o início do mesmo. De algum modo nos parece que no caso dos *Principia* de Newton as três leis do movimento foram sendo formuladas pelos estudos e de ensaios preliminares de Newton (por exemplo em *De motu corporum*) e só passaram a se constituir em núcleo duro do programa nos *Principia*, onde a mecânica racional alcançou maturidade científica. De certo modo o que se percebe é que a metodologia científica de Lakatos tem como objetivo a reconstrução racional dos episódios históricos e, portanto, a racionalização destes em vistas de seu critério de progresso. Não é particularmente central a este objetivo a análise detida do que pode-se chamar o ‘contexto da descoberta’. Por outro lado, o conceito de núcleo duro, central à análise histórica que é implicada pela metodologia dos programas de pesquisa científica, perde sua ‘concretude histórica’ se desconsiderada sua formação. Seja isto, as reconstruções racionais da história da ciência que desconsideram a formação dos conceitos apresentam-se de maneira bastante artificial, mais como um exercício de imaginação em vez de uma análise histórica. Para exemplos concretos da historiografia baseada na metodologia dos programas de pesquisa científica, conf. HOWSON 1976.

c) *Heurística positiva*: Conjunto parcialmente articulado de sugestões ou palpites sobre como mudar e desenvolver as variantes do programa, e sobre como modificar e sofisticar o cinto de proteção refutável. São estas indicações que impedem que o cientista particular se confunda no mar interminável de casos recalcitrantes. A heurística positiva se liga essencialmente ao *Cinto de proteção* do programa, que é um conjunto de teorias auxiliares, conhecimento de fundo, instrumentação, grandezas e constantes, aparato matemático que, em articulação com o núcleo duro, permite a previsão (explicação) de fatos novos ou a conversão de um problema recalcitrante em instância confirmadora. O progresso do programa de pesquisa deve necessariamente ser acompanhado pelo refinamento das teorias auxiliares e outros elementos do cinto de proteção, para permitir a previsão de fatos novos e surpreendentes. O refinamento das proposições do cinto de proteção e de suas indicações metodológicas constitui o *progresso heurístico do programa*.

Parte fundamental do desenvolvimento de um programa de pesquisa são os seus modelos. Os modelos articulam seus elementos em um movimento dinâmico cujo resultado é o desenvolvimento efetivo do programa (e constitui propriamente o motor do progresso científico). Um modelo é um conjunto de condições iniciais (possivelmente junto com algumas teorias observacionais e o que se poderia chamar de “concepção metafísica influente” – idéias como a de simetria, elegância teórica, etc.) que apresenta uma realidade “concreta” para o exercício investigativo (a maioria dos modelos de uma teoria, no início, é bastante abstrato ou, mais freqüentemente, toscos o bastante para não se aproximarem significativamente da realidade). Com o passar do tempo e com o desenvolvimento teórico (cinto de proteção e heurística positiva) os modelos se refinam e passam a se aproximar cada vez mais dos fatos analisados (interpretados pelo programa), correspondendo progressivamente à fenômenos que exemplificam as hipóteses que compõe o núcleo duro.

No entanto, segundo Lakatos, dado o modo próprio de efetivação e concretização da pesquisa científica, todo modelo sabe-se de antemão condenado a ser substituído durante o subsequente desenvolvimento do programa. Um exemplo historicamente interessante são os sucessivos modelos aos quais Newton aplica suas leis dinâmicas para a construção da teoria da gravitação. Passando de um modelo simples (basicamente matemático) de encarar o movimento de um ponto sob ação de uma força central até os sofisticados modelos planetários geodésicos afetados por perturbações interplanetárias, muitos outros foram construídos e derrubados, além é claro do imenso esforço matemático (que constitui progresso heurístico) levado à frente como desdobramento necessário a essa evolução (sem falar obviamente na ampliação do conhecimento de fundo

disponível, substancializado pelas sucessivas correções dos dados empíricos disponíveis – LAKATOS:1974, p.167).

Estas observações indicam que a refutação de qualquer variante específica de um programa de pesquisa é irrelevante, aliás é antes a continuidade da pesquisa sob um conjunto único de suposições diretivas o motor do progresso. Sobretudo, isso aponta para a impossibilidade de avaliar-se o progresso científico tomando como unidade conceptual teorias isoladas. São os programas de pesquisa, por meio da articulação sucessiva de seu núcleo duro com o cinto de proteção (alterado constantemente), os componentes indispensáveis e mínimos do progresso científico.

A refutação de variantes específicas de um programa de pesquisa não implica problema maior ao próprio programa, sendo até mesmo desejável tal refutação, na medida em que ela catalisa a mudança da variante do programa, seja em direção ao seu progresso heurístico, teórico e empírico, ou para a exposição do mesmo à crítica pelos programas rivais. Isto significa também que o núcleo duro nunca será afetado pelo desacordo entre experimento e expectativa teórica; somente as proposições do cinto de proteção serão afetadas e deverão se conformar ao caso recalcitrante.

Entretanto, essa conformação não pode ser ad-hoc, deve ser ela permeada por valores epistêmico-pragmáticos tais como adequação ao núcleo do programa, possibilidade de articulação em vista de previsões (explicações) de fatos anteriormente desconhecidos ou inexplicados etc. A reconfiguração constante do cinto de proteção deve vir acompanhada de corroborações tanto das proposições eventualmente introduzidas em vista da adequação empírica do programa quanto dos casos recalcitrantes que visam solucionar.

Entre outros aspectos, esta perspectiva questiona um conceito importante para a proposta epistemológica kuhniana: o de ciência normal. Esta se caracterizaria, sobretudo, pelo amplo acordo entre a comunidade científica sobre o paradigma vigente (métodos, soluções aceitáveis, objetos de pesquisa, etc.). A noção de ciência normal orientada por um paradigma implica o predomínio mono-teórico através de amplos períodos (paradigma aristotélico, ptolemaico, newtoniano, etc.). Embora não seja diretamente implicado pelo modelo epistemológico de Lakatos tal como apresentado acima, uma das idéias chave em sua metodologia é o de pluralismo teórico.

Esse pluralismo, que sob a ótica de Lakatos caracteriza a empreitada científica, torna-a uma atividade cognitiva essencialmente crítica, em que a competição entre programas de pesquisa demanda um constante jogo de afastamento e aproximação entre as unidades teóricas presentes em

cada tempo, visto que a competição é efetivada pela crítica –construtiva, pois supõe, se real, mútua compreensão - de métodos, soluções, objetos de pesquisa relevantes, prioridade de descoberta, etc. entre os programas rivais. Essa concepção de pluralismo teórico é admitida por Lakatos como uma observação direta da história da ciência e uma mostra cabal do destacado papel que a história da ciência desempenha na produção de uma teoria da racionalidade científica⁹.

1.3 Racionalidade Científica e História da Ciência

A abordagem metodológica de Lakatos nos oferece uma concepção da atividade científica orientada pelo falseacionismo cujo critério de cientificidade é porém deslocado do caráter negativo da falseabilidade para o critério positivo do progresso. A atividade científica, segundo a metodologia dos programas de pesquisa, é desenrolada não só sob o estigma da lógica (coerência, consistência, proficuidade, etc.), mas também da história (diacronia dos conceitos, métodos, base experimental, etc.). Seja isto, a metodologia lakatosiana abandona uma peça do “folclore” das interpretações metodológicas da atividade científica; a idéia de racionalidade *instantânea* (a-temporal):

a racionalidade trabalha muito mais devagar do que a maioria das pessoas tende a pensar e, mesmo assim, falivelmente. A coruja de Minerva somente voa ao cair da noite.

LAKATOS:1970[1979], p. 216.

A observação do caráter histórico do pensamento científico permite divisar a continuidade estabelecida entre o ensaio “*O falseacionismo e a metodologia dos programas de Pesquisa Científica*” (1970) e “*A história da Ciência e suas reconstruções racionais*” (1971). O intuito deste último era aclarar as posições defendidas no artigo anterior e explicitar quais os modos de inter-relação entre a história e a filosofia da ciência.

Isso significa que a teoria da racionalidade científica de Lakatos pretende constituir-se a partir de um movimento dialético entre a investigação empírica (historiográfica) da ciência tal como

⁹ Sobre as relações entre a metodologia científica e história da ciência nos trabalhos de Lakatos, cabe indicar aqui, a título de evocação, o importante texto “*A história da ciência e suas reconstruções racionais*”.

foi desenvolvida, mas consolidando-se sob o patrocínio de uma ordenação hierárquica e estrutural dos conceitos meta-teóricos (e historiográficos, pois se pretendem aplicar à reconstrução racional da história da ciência), seus métodos e objetivos (o que se poderia chamar 'componentes conceituais' de sua metodologia científica, expressos pelas idéias de heurística, núcleo duro, cinto de proteção, etc.) apresentados pela filosofia.

Em termos gerais, a filosofia da ciência proporcionaria metodologias normativas cujos critérios de racionalidade constituem instrumentos conceituais para o historiador que permitirão (re) construir a “história interna” do desenvolvimento científico, ou seja, uma explicação racional (a construção de um quadro organizado dos eventos “conceituais” e “históricos” a partir de intenções “programáticas” dirigidas a certos fins), do conhecimento científico como realizado na história.

Desdobra-se de tal posição que duas metodologias (filosóficas) rivais poderiam ser avaliadas com a ajuda da história da ciência, na medida em que esta história, normativamente interpretada, apresentará mudanças “legítimas” ou “ilegítimas”, segundo a definição de ciência e progresso propostos. Quanto mais “interna” for a história promovida pela metodologia (ou seja, quanto mais propostas teóricas que foram admitidas como tais pelos cientistas de uma época possam ser normativamente incorporadas pela teoria de racionalidade que constitui o arcabouço do historiador), tanto mais adequada ela será.

Por outro lado, é óbvio que qualquer história reconstruída pelos elementos normativos de uma metodologia (reconstrução racional) necessitará ser complementada por uma “história externa”, empírica, sócio-psicológica. A razão é evidente: nem todas as mudanças teóricas são motivadas por razões internas à ciência, e seguramente nem todas as ações humanas são racionais, mesmo entre os cientistas. Nesse sentido, privilegia-se na historiografia orientada pela metodologia dos programas de pesquisa científica o contexto da justificação, sendo atribuído ao contexto da descoberta um papel secundário, idealmente dispensável para a compreensão da atividade científica como empreendimento cognitivo racional.

Nesse sentido, uma metodologia seria simplesmente um conjunto de regras (ainda que não necessariamente inter-relacionadas de maneira dedutiva, muito menos mecânicas) para a aceitação e organização historiográfica de teorias já elaboradas¹⁰, sendo os critérios normativos

¹⁰ Vários autores criticarão esta posição, entre eles Kuhn, Feyerabend, Chalmers e Popper. A razão é que, assim colocada, a metodologia de Lakatos não fornece critérios objetivos que auxiliem o cientista ou a sociedade a escolher racionalmente entre programas rivais atualmente disponíveis e logo tal metodologia se querendo racionalista é por fim um anarquismo metodológico, pois se não são fornecidos os critérios objetivos de escolha teórica, permitem-se quaisquer que sejam, afinal quem cala deve consentir (Feyerabend : 1975 [1977]). Efetivamente, esta é uma leitura deveras severa das perspectivas lakatosianas.

metodológicos aplicados apenas retrospectivamente. Assim sendo, as definições de ciência e os critérios de aceitação e refutação de teorias (entendidas, sob a ótica de Lakatos, como programas de pesquisa) propostos pelas diferentes metodologias devem explicitar o “código de honestidade científica”, isto é, as ações que legitimamente devem ser incorporadas historicamente como representativas da prática científica e, em particular, constituem-se como o núcleo duro de programas de investigação historiográfica, núcleo que, como é obvio, se identifica aos critérios normativos da metodologia.

Como um instrumento epistemológico e historiográfico bastante sofisticado, a metodologia dos programas de pesquisa parece apresentar as fundações de uma historiografia ao mesmo tempo contextualizada e precisa, dados os elementos conceituais que a orientam. Como dístico desta perspectiva epistemológica se poderia afirmar que:

Devemos investigar quais são suas metas [*da prática científica*], os métodos empregados para alcançá-las, a extensão na qual essas metas foram alcançadas e as forças ou fatores que determinaram o seu desenvolvimento.¹¹

Assim sendo, estão postos os substratos mínimos para a avaliação do desenvolvimento histórico de um programa particular, neste caso, a mecânica racional newtoniana. É necessário salientar, entretanto, que a metodologia dos programas de pesquisa científica produz, enquanto programa de pesquisa historiográfico, reconstruções racionais da história da ciência, seja isto, histórias “internalistas” (no sentido acima evocado) pautadas no critério de racionalidade da teoria metodológica. Antes de avançar, passe-se à revisão da literatura disponível sobre o tema, em particular as posições de Lakatos sobre o programa da mecânica racional newtoniana.

1.4 Revisão da literatura: A abordagem de Lakatos do programa newtoniano de mecânica racional

As reflexões de Lakatos mais diretamente relacionadas ao programa newtoniano da mecânica racional, objeto de investigação deste ensaio, encontram-se no artigo “*Newton’s effect on scientific standards*”, publicado postumamente no volume 1 de seus *Philosophical Papers*.

¹¹ Chalmers : 1976 [2000].

Não há aí uma tentativa sistemática de caracterizar e investigar o núcleo duro do programa de pesquisa newtoniano (uma das preocupações centrais da análise a seguir proposta), sendo seu alvo contrapor os padrões de avaliação metodológica cartesianos e o impulso de Newton e seus seguidores em constituir novos referenciais epistemológicos que permitiriam o desenvolvimento do programa nascente (programa da mecânica racional). Indiretamente, contudo, as partes mais salientes de sua interpretação do programa newtoniano de pesquisa podem ser captadas, o que, em conjunção com os elementos dispersos pela obra, permite compor as linhas gerais de sua interpretação do programa de pesquisa da mecânica racional newtoniana.

Já na segunda metade do século XVII, a filosofia cartesiana era o maior referencial não escolástico no campo do pensamento e, em particular, no âmbito da teoria do método científico, este se constituindo em um assunto de grande interesse e debate então. As contribuições de outros autores do século XVII, as obras já difundidas de Grosseteste (1168-1253), J. Buridan (1300-1358) e Francis Bacon (1561-1626) notavelmente enriqueciam as discussões em torno do que se poderia chamar “lógicas da descoberta”.

A teoria do método cartesiana era intimamente soldada à sua filosofia mecanicista. A idéia fundamental desta filosofia era a de que o mundo poderia ser explicado pelas relações de choques entre partículas materiais simples e fundamentais (corpuscularismo), relações estas descritíveis a partir dos primeiros princípios de sua mecânica.

A metáfora fundamental que capta a essência da teoria da racionalidade científica do programa de pesquisa cartesiano de pesquisa poderia ser nomeada “metáfora do relógio” : a relação do filósofo com a natureza no que concerne à investigação é a mesma de um engenhoso artesão e um relógio o qual ele não pode abrir para verificar o mecanismo. A curiosidade o impele a imaginar mecanismos que dêem conta dos movimentos externos dos ponteiros sem ser possível, contudo, que ele possa abrir o relógio para conferir se sua hipótese corresponde ao mecanismo real. É a própria natureza da investigação, que lida com partículas e movimentos para além da observação (pelo menos momentânea)¹², que impõe a restrição ao cientista de nunca conferir por observação direta se as teorias que propõe sobre o mundo de fato correspondem à “máquina do mundo”.

¹² Conf. Chalmers, A. A fabricação da ciência. Cap. 4. A expansão do campo do observacional, por exemplo, se deu de maneira notável com o estabelecimento das observações com telescópios como válidas, ampliando em muito o campo de investigações possíveis na astronomia e a precisão alcançável.

Fica claro que esta perspectiva metodológica, configurada em sua riqueza de detalhes no período final da produção filosófica cartesiana (mais precisamente nos *Princípios da Filosofia*) constitui-se num sofisticado “hipotético-dedutivismo”, em que o valor de uma teoria se auferre pela sua capacidade de explicar fenômenos.

De maneira mais precisa, a teoria do método da última fase da produção filosófica e científica de Descartes constitui-se num hipotético-dedutivismo que implica uma avaliação de teorias de maneira *post hoc*, no sentido que é a capacidade de explicar os fenômenos que legitima uma maior ou menor confiança nas hipóteses científicas. Hipóteses, em primeiro lugar, dado seu caráter não elementar, isto é, as hipóteses não são verdades absolutamente simples, apreensíveis por intuição, tal como são os primeiros princípios (no entanto as hipóteses devem ser compatíveis com os primeiros princípios); em segundo lugar, pela impossibilidade de comprovação direta (ou seja, pela experiência ou observação, dado que as entidades em questão são postuladas inobserváveis). Exemplo interessante encontra-se em *Os princípios da Filosofia*, artigo 24 da terceira parte:

(...) pensamos que a matéria do céu é líquida, tanto quanto aquela que compõe o Sol e as estrelas fixas. É uma opinião que é agora em geral aceita pelos astrônomos, porque eles vêem que é quase impossível sem isto bem explicar os fenômenos.”

Descartes, R.: **Les Principes de la Philosophie** in Oeuvres philosophiques, tomo III, edição de F. Alquié; pág. 233. (tradução nossa).

A introdução de hipóteses na ciência cartesiana se dá de uma maneira essencial nesse sentido, pois os primeiros princípios, fundamentos de toda filosofia natural, são tão gerais que não conseguem dar explicações concretas de fenômenos como o magnetismo ou o movimento dos planetas. Só se conseguem explicações para tais fenômenos com a introdução de hipóteses, menos gerais e que, se conseguirem explicar os fenômenos e estiverem de acordo com os primeiros princípios conseguem, por assim dizer, um grau de corroboração tanto maior quanto maior for o número de fenômenos explicados (LAUDAN:1981).

O método hipotético-dedutivo cartesiano migra para a Grã-Bretanha na segunda metade do século XVII e influencia fortemente os cientistas da região. Boyle, por exemplo, adota e divulga vivamente tal metodologia nos círculos intelectuais ingleses e sua famosa lei dos gases parece justificar-se metodológica e epistemologicamente a partir de tal perspectiva.

É sobre este pano de fundo que se coloca uma questão proeminente para a investigação do surgimento e consolidação do programa newtoniano de pesquisa, segundo a interpretação de Lakatos no mencionado artigo. Mesmo sendo Newton inicialmente um partidário do cartesianismo, e mesmo após longos anos de trabalho dedicados a adequar sua mecânica celeste às concepções metodológicas cartesianas então dominantes (COHEN: 1980[1983], em particular entre a primeira e segunda edição dos *Principia*), o fato óbvio era que a física proposta era irreduzível (porque mais completa e complexa) aos referenciais metodológicos e teóricos do cartesianismo. Uma razão é a introdução do conceito de força que não se submetia a uma explicação causal mecanicista (isto é, baseada no choque entre partículas elementares) que ao mesmo tempo fosse mecanicamente satisfatória e numericamente condizente com os resultados obtidos pelos modelos matemáticos newtonianos.

Isto essencialmente quer dizer que a física newtoniana não se enquadrava estritamente aos primeiros princípios cartesianos, em primeiro lugar por não se submeter de antemão a nenhum sistema metafísico, isto é, os modelos matemáticos dos fenômenos tinham precedência frente às considerações ontológicas e, em segundo lugar, as divergências conceituais (em particular, introduzia-se com clareza a noção de massa, logo tornando impossível a redução da matéria somente à extensão e, do ponto de vista da dinâmica celeste, parecia ser necessária a violação da preservação da quantidade de movimento, face às perturbações interplanetárias que deveriam fazer colapsar o sistema solar, isto não acontecendo face à intervenção da “providência divina”). Logo as teorias newtonianas, metodológica e cientificamente, não poderiam constituir-se em ciência verdadeira, segundo os padrões metodológicos cartesianos¹³. Os partidários do cartesianismo muito cedo perceberam tal inadequação (por assim dizer de fato em relação às teorias e de direito em relação à precedência da metafísica) e criticaram duramente as teorias newtonianas, tal como se observa na correspondência entre Newton e o padre Ignace Gaston Pardies¹⁴, ainda por volta de 1670-1675, por ocasião da publicação das primeiras especulações do professor lucasiano no âmbito da ótica.

¹³ A física newtoniana opera em vários níveis epistêmicos e seguramente Newton imaginava, por exemplo, com a idéia de força gravitacional, oferecer a causa verdadeira (*causa verae*) do movimento planetário, que era um dos imperativos da ciência do século XVII (seja isto, o de apresentar explicações causais dos fenômenos). A questão é que não se apresentava uma explicação causal da força gravitacional e logo se produziu a clivagem que sustentou o debate entre cartesianos e Newton por longos anos: os cartesianos afirmavam que Newton propunha “hipóteses” (sobre o movimento planetário); Newton por seu turno afirmava veementemente que não “imaginava” hipóteses (sobre o movimento planetário). O que os cartesianos não compreendiam era que o “estilo newtoniano” implicava aceitar, ainda que sem o que poderíamos chamar arcabouço metafísico e epistêmico, proposições matematicamente impecáveis e experimentalmente (observacionalmente) “comprovadas” (Cohen: 1980[1983]; cap. 1 e 3).

¹⁴ COHEN, I.B & WESTFALL, R.S: NEWTON: Textos, Antecedentes, Comentários; uerj/contraponto, Rio 2002 pág. 147

É nesse momento que se inicia um intenso debate sobre a teoria do método que Lakatos imagina fundamental no desenvolvimento posterior da filosofia e da história da ciência: em vista da defesa de sua mecânica (e a física por ela implicada), Newton cria um novo referencial metodológico e, por assim dizer, uma metodologia científica que converge velhos e novos imperativos científicos¹⁵ que, legitimando sua física, ao mesmo tempo anula os referenciais metodológicos dos cartesianos como instrumento crítico, em particular, o predomínio de críticas metafísicas às teorias científicas (LAUDAN:1981).

Esse “giro” metodológico desempenha uma função ímpar para a história da metodologia científica pois, em grande parte, é devido a ele (acompanhado pelo sucesso empírico do programa) que a mecânica newtoniana consegue alcançar status de teoria científica “ortodoxa” (ou seja, modelo de prática científica legítima) já a partir da primeira metade do século XVIII.

A metodologia cartesiana, quando da publicação dos *Principia*, se espelhava na análise grega e na geometria euclidiana. Era um modelo metodológico bastante sofisticado, cujo padrão de justificação (post-hoc) de teorias era seu poder explicativo e sua adequação à raiz metafísica do conhecimento, isto é, uma teoria seria justificável se explicasse adequadamente os fenômenos (exemplo clássico é a explicação do fenômeno do arco-íris, fornecida pelo próprio Descartes) sem recusar os primeiros princípios da filosofia (no caso da mecânica, a “raiz metafísica” das *Meditações* e as leis do choque) . No entanto, para Descartes, conhecimento verdadeiro (ou seja , científico) é somente aquele apoiado nos primeiros princípios do conhecimento, o qual ele imaginava serem, no caso da física (mecânica), suas leis do choque.

Constituído esse pano de fundo, Newton, também um profundo admirador da geometria grega, valendo-se dos mesmos referenciais conceituais cartesianos (do próprio cartesianismo), institui uma metodologia crítica cujo objetivo último será legitimar sua mecânica como prática científica adequada, ou seja, garantir a possibilidade de sobrevivência de seu programa de pesquisa. O giro metodológico newtoniano pretendia não só neutralizar os ataques dos cartesianos, mas inverter a localização dos primeiros princípios, tirando-os da “raiz metafísica” cartesiana e colocando-os nas observações.

Tal reorganização da metodologia faz convergir assim duas tradições de investigação científica: uma, a do tratamento matemático dos fenômenos físicos, que remonta às matemáticas mistas da Antiguidade, recuperada modernamente por Galileu e sem dúvida a grande inspiração de

¹⁵ KUHN, T.: The Essential Tension ; cap. 3.

Descartes; outra, já no âmbito da modernidade propriamente dita (em especial na Grã-Bretanha), a do empirismo de inspiração baconiana (KUHN: 1982), centrada na observação.

Face à inadequação do modelo de racionalidade operando nos *Principia* em relação à metodologia cartesiana, em particular aos primeiros princípios cartesianos, Newton aloca em sua metodologia os primeiros princípios na ponta oposta do tradicional circuito da análise - síntese¹⁶: os primeiros princípios são as experiências, são os fenômenos mesmos, matematicamente interpretados, e a indução, a partir destes fenômenos, é que pode levar aos primeiros princípios e às causas verdadeiras dos fenômenos (COHEN: 1980 [1983])¹⁷. Há certamente uma tensão entre estes dois programas em relação ao conhecimento de fundo e a transformação e incorporação de conceitos cartesianos no programa da mecânica racional, em especial o conceito de inércia. Discutir-se-á adiante essas relações.

Assim sendo, a “virada” metodológica newtoniana pode ser pensado como um momento fundamental da radicalização do papel da experimentação matematicamente controlada e da construção de modelos matematicamente coerentes de mapeamento da realidade física (princípio heurístico fundamental do programa newtoniano) na prática científica. Seguramente este movimento de priorizar modelos matemáticos em relação a modelos ontológicos e metafísicos da realidade se vinha processando desde Galileu, alcançando um estágio bastante desenvolvido na obra de Huygens. Entretanto, a proposta metodológica newtoniana veio acompanhada da aplicação bem sucedida dos modelos matemáticos dos *Principia* na resolução de problemas e na obtenção de explicações para fenômenos recalcitrantes do programa cartesiano.

Em particular, suas restrições em relação à criação de modelos matemáticos da realidade física são mais limitadas do que a metodologia cartesiana impunha; ela não pressupõe a criação de hipóteses (ou modelos matemáticos) compatíveis com os primeiros princípios estabelecidos metafisicamente (e portanto limitadas por eles) para a explicação de fenômenos, nem mesmo o requisito de clareza e distinção tal como pensados por Descartes (corporificados em modelo de explicação bastante particular, qual seja, o de defender que uma explicação científica é a construção

¹⁶ Tradicionalmente, no âmbito da matemática, a análise era o processo por meio do qual as proposições mais gerais eram obtidas a partir das menos gerais, e a síntese era o movimento inverso, onde as proposições particulares eram obtidas dedutivamente a partir das mais gerais. Pappus tratou sobre o tema da análise e síntese em sua obra, que se tornou referência no início da modernidade para os filósofos naturais, onde os termos análise e síntese foram adaptados para a ciência natural. Os princípios, segundo o método de análise e síntese, eram as proposições gerais obtidas. Newton, em particular, pensava que a análise e a síntese nestes termos, entretanto os princípios, imaginava o autor dos *Principia*, seriam os fenômenos, ou as proposições que seriam recuperadas, no final do circuito, pela síntese.

¹⁷ Isso obviamente implica que uma das tarefas a que se terá de ater-se profundamente é a elucidação do conceito de *indução* na obra newtoniana, tema que, aliás, é um dos mais controvertidos na história da metodologia científica.

de um quadro pictórico de partículas em movimento, cujos mútuos choques devam produzir causalmente os fenômenos analisados).

A mecânica newtoniana, recusando a fundação metafísica do conhecimento sobre a natureza, se pretende fundar nos fenômenos mesmos. Isso quer dizer: os fenômenos, matematicamente interpretados, constituem o elemento que deve, de direito, fundar o conhecimento físico e é somente ele que pode impor restrições ou até mesmo impor o abandono de uma teoria. As hipóteses físicas¹⁸, que do ponto de vista metodológico a princípio não devem fazer parte da ciência (ao contrário do cartesianismo que não sobreviveria sem elas), se têm algum papel é aquele de eventualmente sugerir experimentos para que as leis gerais, por indução, sejam descobertas, e os fenômenos, depois explicados por dedução (síntese ou composição)¹⁹.

1.5 Indução versus método das hipóteses: refinamento epistemológico na interpretação historiográfica do programa de pesquisa da mecânica racional

Uma das questões mais polêmicas relacionadas aos *Principia* diz respeito a este pretensão papel desempenhado pela indução na constituição das representações matemáticas das leis gerais da natureza, em particular no caso de sua mecânica racional dos axiomas ou leis do movimento e, em particular, da lei da gravitação. POPPER (1982) pretendeu ter mostrado que não se poderia inferir de nenhum modo ou, em termos mais gerais, “saltar”, por meio de raciocínios indutivos, do conhecimento de fundo disponível para Newton (essencialmente a teoria dos movimentos locais de Galileu²⁰ e as leis planetárias keplerianas) para a lei da gravitação universal. Popper defendeu uma

¹⁸ É útil ter em mente uma distinção importante na abordagem epistemológica newtoniana. De um lado, Newton recusa veementemente hipóteses físicas, isto é, hipóteses que contenham alguma suposição ontológica. As teorias construídas a partir da aceitação de hipóteses físicas dependem da validade das mesmas para que os mecanismos asseverados correspondam à realidade, mas em geral essas hipóteses falam sobre entidades não observadas ou inobserváveis. Newton recusa tais hipóteses pois elas são, em sua perspectiva, pouco críveis e incertas. Esta interpretação se infere do prefácio crítico de Cotes à segunda edição dos *Principia*. Por outro lado, o professor lucasiano admite total liberdade às hipóteses matemáticas, como fica claro no escólio da seção XI do livro 1.

¹⁹ Conf. Optics: questão 31.

²⁰ Admite-se atualmente que, embora as formulações de Galileu e de Kepler estejam incorretas frente à teoria da gravitação de Newton, são ambas as aproximações relevantes para a descrição dos respectivos fenômenos a que se referem. Em particular, a lei de Galileu para corpos em queda livre com altura de queda pequena quando comparada com o raio terrestre descreve e quantifica razoavelmente bem o movimento em questão, e as leis de Kepler são encaradas como uma boa primeira aproximação da descrição das órbitas planetárias, embora segundo a teoria newtoniana, devido às perturbações, não sejam verificadas com exatidão.

posição que se chocava diretamente com os pronunciamentos de cientistas e filósofos de peso, e em especial os pronunciamentos do próprio Newton.

Embora as considerações filosóficas e metodológicas não sejam tão simples quando analisadas com mais vagar, até meados dos anos 1950, uma longa tradição de cientistas importantes, notadamente aqueles ligados às correntes ditas “empiristas”, acreditou que o método da ciência fosse o indutivo, isto é, de que, por exemplo, as leis da física seriam concluídas a partir de um grande número, ou pelo menos, de um número satisfatoriamente grande de resultados experimentais que, coligidos ordenadamente, implicariam de maneira mais ou menos mecânica as leis gerais descritivas dos fenômenos.

Ainda que este seja um quadro caricatural, pois se pode-se afirmar algum prestígio das abordagens filosóficas “indutivistas” no período (prestígio significativamente maior do que aquele que circula atualmente nas interpretações filosóficas da atividade científica), o debate do que seria propriamente a indução era (e é) intenso e, ainda, deveriam lidar com abordagens hipotético-dedutivistas, que certamente sobreviveram à ortodoxia newtoniana, em particular nos séculos XVIII e XIX. Esse quadro esquemático serve apenas como pano de fundo para compreender o peso da crítica popperiana à indução.

Popper caracteriza a indução da seguinte maneira:

Por indução quero dizer uma argumentação tal que, dadas algumas premissas empíricas (singulares ou particulares), leva a uma teoria universal, seja com certeza lógica, seja ‘probabilisticamente’ (no sentido em que esse termo é utilizado no cálculo de probabilidades).

POPPER: 1982; pág. 23.

A argumentação crítica de Popper em relação à indução da teoria da gravitação newtoniana poderia ser resumida nos seguintes termos: não haveria condição de indutivamente (segundo a caracterização acima apresentada) passar dos resultados disponíveis (teoria dos movimentos locais de Galileu e as leis das órbitas de Kepler) para a teoria da gravitação pois, em primeiro lugar, a teoria de Galileu afirma que a aceleração durante a queda é constante; já a teoria de Newton afirma que (i) a força é o agente causal da aceleração e, do ponto de vista gravitacional (e logo da teoria relevante na explicação da queda de um corpo), também uma (ii) função da distância entre os centros de massa dos corpos inter-atuantes, conclui-se que a aceleração (força dividida pela massa) durante a

queda é variável (segundo a teoria gravitacional newtoniana), uma patente contradição entre as teorias ou, mais precisamente, entre o que se quer provar e uma das premissas (indutivas) da prova.

Portanto, conclui Popper, a teoria da gravitação de Newton não pode ser concluída por uma inferência indutiva tendo como base a teoria dos movimentos locais de Galileu. Evidentemente, a teoria de Galileu admite inteira inteligibilidade, se considerarmos a teoria de Newton como lhe sendo logicamente anterior e a mesma como uma aproximação, tendo restrições bem definidas para sua validade aproximada (altura da queda pequena em face do raio terrestre, etc.).

Analogamente, pode-se aplicar o mesmo gênero de raciocínio em relação às leis de Kepler (o movimento de um planeta sob ação de várias forças gravitacionais – Sol e outros planetas do sistema solar – implica que a órbita não seja uma elipse perfeita ou, mais precisamente, que o planeta repita a mesma órbita duas vezes). Logo, não seria possível logicamente inferir indutivamente a teoria gravitacional de Newton a partir da astronomia kepleriana. Evidentemente, como no caso da teoria de Galileu, assumida a precedência das leis newtonianas, a teoria de Kepler admite inteligibilidade e validade como aproximação.

Essa interpretação tem freqüentado a obra de diversos autores em termos mais ou menos semelhantes, em particular, parece Lakatos aceitá-la sem indicar maiores pressuposições ou preocupações. De fato Popper foi suficientemente enfático a respeito de sua negação da idéia de indução como método científico. Sua obra é baseada na idéia de que o verdadeiro método é sim o das conjecturas e refutações. Segundo Popper, o salto conjectural é guiado pela intuição e, muitas vezes não apoiado por uma base empírica satisfatória (sob qualquer ótica, ainda que bastante liberal). O controle empírico segundo as metodologias falseacionistas se dá por meio das refutações.

Assim sendo, dada a universalidade da “conjectura” da gravitação universal (pois relaciona sob uma mesma lei fenômenos tão díspares como a queda de uma pedra, o movimento de um pêndulo, o movimento das marés e o movimento lunar), Lakatos e Popper são unânimes em dizer que a afirmação de que ela foi inferida das leis de Kepler e Galileu não se sustenta no contexto da justificação da teoria newtoniana, contexto esse que é o relevante para a análise filosófica da ciência segundo estes autores.

Mais fundamental ainda, tal conjectura não poderia de nenhum modo ter sido concluída indutivamente, pois não somente contradiz as premissas de partida (mostrando que são, a bem dizer, incorretas), mas também porque nenhuma classe de leis de baixo nível, descrevendo fenômenos tão

dísparos, permitiria um salto de tal envergadura, simplesmente porque tais leis se atêm ao catálogo sistemático (e eventualmente descrição e simbolização matemáticas) de fenômenos empíricos.

A conjectura de Newton, relativa à gravitação universal, poderia ser entendida, segundo a interpretação de Popper e Lakatos, por meio da seguinte interrogação teórica: qual seria a forma matemática de uma força universal (ou princípio explicativo) a partir da qual se poderia descrever o movimento de queda livre de uma altura tal como Galileu o determinou (em seus caracteres gerais) e ao mesmo tempo manter a Lua em seu movimento ao redor da Terra (o mesmo se poderia perguntar para as luas de Saturno e em geral dos planetas em torno do Sol)? Essa reconstrução da situação problema que motivou Newton se justifica, pois o problema do movimento lunar teve um papel central na construção dos *Principia*, como se depreende do próprio texto (livro 3), das correspondências e das versões preliminares da obra.

O que permite relacionar estes eventos, o elemento que está presente na reconstrução da situação problema que deu origem ao programa newtoniano, será um princípio explicativo universal. Essa busca por um princípio explicativo universal, que abrangesse fenômenos tão díspares como as revoluções celestes e os movimentos locais (próximos a superfície terrestre), demandou a construção de todo o edifício teórico que se estabeleceu com os *Principia*.

Em primeiro lugar, foi necessário simbolizar abstratamente os corpos físicos nas investigações dinâmicas. Isso foi realizado pelo conceito de massa. Mais ainda, foi necessário demonstrar que as massas, no âmbito das investigações mecânicas (celeste ou terrestre), tinham a mesma natureza, isto é, as massas inercial e gravitacional eram equivalentes (igualdade que foi posta pela mecânica newtoniana com base em experimentos com pêndulos – prop. VI e VII do livro III dos *Principia*, e que depois foi recuperada pela relatividade geral, em outros termos). Tratou-se, segundo a interpretação de Popper e de Lakatos, de um salto intuitivo, transcendendo, em muito, a chamada base empírica disponível.

A interpretação que proporemos no decorrer deste ensaio não admite integralmente tal reconstrução do surgimento do programa newtoniano de pesquisa, nem as relações que são propostas entre a chamada base empírica disponível e a teoria consolidada, embora reconheça a reconstrução da situação problema que motivou o programa.

De fato, segundo a caracterização do processo indutivo de Popper, não poderia haver um salto indutivo que levasse das leis disponíveis (Kepler e Galileu) para a gravitação universal. No entanto, a caracterização popperiana é bastante superficial e, aparentemente, foi aceita por Lakatos,

pelo menos em seus traços mais salientes, sem levar em conta os pronunciamentos newtonianos e de seus defensores. O escrutínio historiográfico e a leitura dos *Principia* parecem apontar que outra caracterização do processo indutivo operava na obra newtoniana. Traduzida nos termos epistemológicos contemporâneos, o processo indutivo, segundo Newton, tem as mesmas feições do conceito de “abdução” de PEIRCE. Este autor afirma que:

A indução determina o valor de uma quantidade. Acompanha uma teoria e mede o grau de concordância dessa teoria com os fatos. Não poderá nunca dar origem a uma nova idéia. Nem a dedução. Todas as idéias da ciência vêm através da abdução. Abdução consiste em estudar fatos e inventar teorias para explicá-los. Sua única justificação é que, se for para entender as coisas, deve fazer-se assim.

PEIRCE, C. S (1989): Fragmentos in Os Pensadores, pág. 9 .

Seguindo DUHEM (1906[1981] e 1989), podemos inferir algumas conseqüências interessantes da discussão acima suscitada que poderão auxiliar como componentes conceituais na leitura do texto dos *Principia*. Em primeiro lugar, a distinção entre hipóteses físicas e hipóteses matemáticas no contexto da mecânica racional newtoniana. Como afirmamos acima, Newton recusa o uso de hipóteses físicas no desenvolvimento da ciência. Essas hipóteses físicas se caracterizam, por assim dizer, por afirmações de cunho ontológico, associadas a sistemas metafísicos particulares. A pretensão cartesiana de que os céus sejam compostos de uma matéria fluída e, mais ainda, a constituição de um sistema de mundo baseado em tal suposição (tal é o caso da cosmologia cartesiana, em seus determinantes fundamentais) não é aceita pelo autor dos *Principia* em primeiro lugar pela inadequação metodológica de antepor uma perspectiva metafísica aos modelos matemáticos e, em segundo, pela incongruência nos resultados obtidos (a crítica de Newton ao modelo cosmológico cartesiano se dá, essencialmente, a partir dos resultados obtidos no livro 2 dos *Principia*, que trata do movimento dos corpos em meios fluídos).

A recusa em aceitar a intromissão de críticas metafísicas no âmbito da ciência resulta na perspectiva de que os fenômenos devem ser o fundamento do conhecimento. Esses fenômenos, certamente não são os fenômenos brutos, mas suas representações matemáticas. Essas representações, pensadas como modelos matemáticos dos fenômenos, por outro lado, são aceitas como hipóteses indispensáveis ao progresso da ciência. Em suma, enquanto as hipóteses físicas são recusadas metodologicamente (servindo somente como indicativos, quando pertinentes, à investigações cujo valor de verdade deverá ser determinado com o progresso da ciência), as

hipóteses matemáticas são tomadas como condições necessárias ao desenvolvimento científico e não restringíveis por questões metafísicas.

Há entretanto uma passagem a ser realizada entre a experiência física, representativa dos fenômenos investigados, e as suas representações matemáticas. O mundo não é dado imediatamente em suas representações, deve haver um esforço criativo na submissão da natureza às representações da matemática (seguindo Duhem, “Entre um símbolo abstrato e um fato pode existir correspondência, não pode haver inteira paridade”, obra citada, pág. 100). Esse esforço de representação envolve naturalmente o conceito de aproximação. Aproximação é tomada na obra newtoniana como a construção de um modelo, em particular geométrico, dos fenômenos analisados, tendo clareza de que o fenômeno em si não é um fenômeno geométrico, mais físico. O prefácio crítico de Cotes é bastante claro a esse respeito:

“[A filosofia experimental] deriva as causas de todas as coisas dos princípios mais simples possíveis, porém não se assume nada como princípio, que não seja provado pelos fenômenos. Não se imaginam hipóteses, nem se as recebem na filosofia senão como questões cuja verdade pode ser disputada. Procedese por meio de um método de duas vias, sintética e analítica. De alguns fenômenos selecionados deduzem-se por análise as forças da natureza e as mais simples leis de força, e a partir delas por síntese se mostra a constituição do resto. Este é o incomparável melhor método de filosofar...”

Mas, além disso, no escólio da seção XI Newton afirma:

“Em matemática, devemos investigar as quantidades de forças com suas proporções conseqüentes sob quaisquer condições supostas; então, quando considerarmos a física, comparamos essas proporções com os fenômenos da Natureza, através do que pudemos conhecer que condições dessas forças correspondem aos vários tipos de corpos atrativos [Newton já visava, no livro 1, a construção de modelos matemáticos aplicáveis à sua teoria gravitacional]. Tendo feito esse preâmbulo [a investigação de modelos matemáticos aplicáveis a realidade física], argumentaremos com maior segurança no que se referem às naturezas físicas, causas e proporções das forças.”

A linguagem abstrata da teoria representa o mundo e sua constituição passa pelo processo criativo de imaginar modelos (matemáticos) para essas realidades. Esses modelos são limitados somente pelo interesse e poder criativo do cientista. No entanto, a metafísica (diríamos nem mesmo objeções empíricas nos momentos iniciais do processo de criação) não deve intrometer-se na

construção dos modelos, que se sujeitarão posteriormente à experiência, sendo aceitos os mais aproximados. Só então pode entrar em jogo a especulação ontológica.

1.6 Indução: lógica da descoberta, psicologia da invenção ou teoria da justificação?

Pretendendo “deduzir” todas as leis a partir dos fenômenos, Newton aparentemente recusou o método hipotético cartesiano (*Hypotesis non fingo*) e deu origem a um novo estilo de fazer filosofia natural. Esse giro metodológico implicou a criação de uma nova axiologia científica e, em especial, parece ter implicado na afirmação do processo indutivo como método científico último. Naturalmente isso não esclarece em que sentido nem sob que formas funciona o método indutivo, sobretudo na obra de Newton. Aceite-se a distinção já estabelecida entre o contexto da descoberta e contexto da justificação de um corpo de conhecimento. Utilizando tal distinção como ferramenta conceitual para uma análise da indução como método científico subjacente à dinâmica newtoniana como codificada nos *Principia*, divisam-se dois aspectos (epistemológicos):

Primeiro, derivação dos axiomas do movimento a partir das condições teóricas prévias (contexto da descoberta): Seguindo as concepções de LAUDAN (1977), é bastante plausível para uma leitura do texto newtoniano a idéia desenvolvida na obra evocada de que os problemas resolvidos constituem-se a unidade básica do progresso científico (pág. 66). Isso coloca a pergunta, essencialmente, nos seguintes termos: as leis de Kepler, a obra de Galileu sobre o movimento local e os estudos de choques e queda dos corpos nas imediações da superfície terrestre de Huygens, Wren e Wallis constituíam peças fundamentais para a solução de problemas na mecânica nascente? Como se relacionam aquelas soluções (e seus modelos de racionalidade) com a construção do sistema newtoniano? Estas relações envolvem, como acima afirmado, a investigação do conceito de indução (tal como pensado por Newton) como método científico.

A suposta derivação dos axiomas do movimento nos *Principia*, portanto, pressupõe, nos termos epistemológicos afirmados pelo autor, que a mesma relaciona-se intimamente com o conceito de indução como método. Por outro lado, a interpretação de Popper e Lakatos recusa a possibilidade de uma tal correlação. Talvez seja instrutivo, portanto, evocar preliminarmente as investigações clássicas a respeito do conceito de indução na tentativa de, estabelecendo a genealogia dos elementos

centrais da interpretação popperiana-lakatosiana, divisar-lhe mais claramente os fundamentos filosóficos e historiográficos. Tal tarefa sobrepassa em muito as limitações inerentes a este ensaio e obriga, portanto, a uma incursão panorâmica sobre os pontos mais salientes, em nosso entender presentes na obra de HUME (em relação à idéia de afirmação da causalidade) e contemporaneamente em GOODMAN (em relação ao conceito de projetabilidade das leis científicas, particularmente).

A segunda face do tema da indução trata da avaliação da justificação dos axiomas do movimento (contexto da justificação). Se se encaram as leis newtonianas do movimento e da gravitação como proposições que contêm algum conhecimento sobre o mundo, parece imprescindível esclarecer o duplo movimento, de utilização das teorias que lhe são anteriores - de Galileu, Kepler, Huygens, etc.- como suporte para a geração dos axiomas do movimento (derivação, que pode ser pensada no contexto da descoberta mas também como importante para a justificação da teoria newtoniana, pois essas leis desconexas são submetidas à síntese por meio da mecânica racional newtoniana) e indiretamente contarem como suporte preditivo, pois a partir dos axiomas do movimento, se derivam todas as leis mencionadas e apresentam-se soluções para o problema do movimento dos cometas, da Lua e das marés, entre outros.

A mecânica racional se liga à sujeição dos fenômenos da natureza às leis da matemática (prefácio à segunda edição, evocado acima). Nesse sentido, Newton compartilha de uma perspectiva corrente do critério básico de aceitação de uma solução científica para os problemas do movimento, que é, essencialmente, a recusa da explicação em termos de formas substanciais em benefício de proposições geométrico-matemáticas (em certo sentido, funcionais).

Tal perspectiva implica um primeiro princípio metodológico explícito que, sob a ótica da metodologia dos programas de pesquisa, se converte em um princípio heurístico:

Eu ofereço este trabalho como os princípios matemáticos da filosofia, pois toda a filosofia parece consistir nisto – dos fenômenos do movimento investigar as forças da natureza e a partir das forças demonstrar os outros fenômenos.

Nesse sentido, a mecânica racional será a ciência dos movimentos que resultam de quaisquer forças, e das forças exigidas para produzir estes movimentos propostos e demonstradas com exatidão.

Newton (1996): **Prefácio à primeira edição.**

O passo fundamental de Newton em relação a seus predecessores foi não só o estabelecimento do conceito de força como causa eficiente na produção do movimento (que já

circulava, desde o final da idade média e em particular na obra de Galileu, mas ainda de uma forma essencialmente qualitativa), mas a determinação das formas funcionais (matemáticas) deste conceito, que se codifica nos axiomas do movimento e nas investigações do problema inverso da astronomia, isto é, dadas as órbitas, estabelecer a leis de força que as gerariam (em particular Newton mostrou que pontos-massa movendo-se em órbitas no formato de seções cônicas seguiriam uma lei de força proporcional ao inverso do quadrado da distância centro-ponto).

A ontologia da natureza ganha uma nova entidade (corporificada na força de gravidade), mas que deve ser discutida em relação a pelo menos dois aspectos : força como princípio explicativo, isto é, como construto matemático que permite soluções dos problemas mecânicos correntes e, em complemento, força como uma entidade da natureza (tal como a força gravitacional) que não exclui a possibilidade de uma composição mais elementar (eventualmente mecânica).

A perspectiva epistemológica de Newton parece afirmar que as forças da natureza possuem existência objetiva, mesmo que possivelmente sejam “compostas” de relações e entidades ainda mais fundamentais, desconhecidas (eventualmente incognoscíveis), mas que não invalidam as leis encontradas (parciais, sob a ótica cartesiana) e as entidades por elas implicadas. Pronunciamentos que parecem centrais na corroboração de tal afirmação se encontram em:

Porém, como obter os verdadeiros movimentos de suas causas, efeitos e diferenças aparentes, e a recíproca, será explicado com mais detalhes no seguinte tratado. Para este fim eu o compus.

Newton (1686[1960]): **Prefácio à Primeira edição** (tradução nossa).

Nós não devemos admitir mais causas das coisas naturais além daquelas que são ambas verdadeiras e suficientes para explicar suas aparências.

Newton (1686[1960]): **Primeira regra do raciocínio em filosofia** (tradução nossa).

E esta preparação sendo realizada [construção matemática dos conceitos físicos, tal como realizada nos livros 1 e 2 dos *Principia*], nós argumentamos mais seguramente em relação às espécies físicas, causas e proporções das forças.

Newton (1686[1960]): **Escólio da seção XI**, livro I dos *Principia*. (tradução nossa).

Fundamentalmente, utilizando uma distinção proposta por HACKING (1983[1996]), pode-se divisar Newton como uma realista com relação às teorias, mas não (necessariamente) com

relação às entidades. A gravitação, enquanto teoria, explicando com precisão os fenômenos conhecidos e (qualitativamente) o desvio em relação a suas próprias previsões (perturbações) capta a estrutura e funcionamento da máquina do mundo, embora não haja elementos suficientes para a defesa de que se conheçam suas entidades fundamentais.

Como perspectiva epistêmica trata-se de uma forma elementar de realismo composta pela crença nas teorias criadas pela ciência matemática, a partir da constatação de sua efetividade como instrumento de predição (o que, em linhas gerais, é uma forma de apresentar o argumento do milagre, isto é, seria um milagre que uma teoria ampla e bem sucedida preditivamente não fosse pelo menos aproximadamente verdadeira. Recusa-se, em essência, a tese da subdeterminação teórica em nome da afirmação da capacidade epistêmica da ciência). A afirmação de que o espaço e o tempo são entidades absolutas são frutos de tal concepção epistêmica, visto serem necessários à validade das leis dinâmicas do movimento tal como asseveradas por Newton (anexo 1).

Um segundo aspecto do conceito de força é sua codificação matemática propriamente dita; em particular, a discussão sobre a axiomatização newtoniana da dinâmica a partir desse conceito e suas relações com os conceitos de força das teorias precedentes como as apresentadas por Descartes, Galileu e Huygens. As definições e o escólio às definições são um ponto importante da obra onde se procura esclarecer o conceito de forças, em primeiro lugar como causa dos movimentos e em seguida a categorização das forças (propriamente em sentido matemático).

É a partir desta distinção entre as forças físicas reais e seus conceitos matemáticos expressos (que poderia ser qualificada como a oposição entre a força gravitacional e o conceito de força centrípeta- tendendo a um centro) e também da passagem do construto matemático à afirmação da força natural que se constitui o componente fundamental do “estilo newtoniano”: a racionalização dos fenômenos mediante sua reconstrução matemática.

A construção metodológica que se associa a este aspecto da noção de força, já evocada acima, é apresentada com clareza por Newton: “Nas matemáticas nós devemos investigar as quantidades das forças em suas respectivas proporções sob quaisquer condições supostas, então, quando entramos na física, comparamos aquelas proporções com os fenômenos da Natureza, então nós podemos conhecer quais condições daquelas forças respondem aos vários gêneros de corpos atrativos”. Escólio da seção XI, livro I dos *Principia* (tradução nossa).

O que foi exposto até o momento parece permitir uma primeira afirmação: os princípios ou leis (na ciência dinâmica em particular) são as condições matematicamente expressas dos

movimentos. São a partir destas condições que se podem construir os raciocínios em filosofia natural (ou mais precisamente, em mecânica racional) e a partir de sua adequação, teórica e empírica, a afirmação da validade das teorias como um todo. Este “estilo” de prática científica concatena um modelo de transferência “ascensional” de verdade – a verdade flui das proposições de baixo nível, derivadas da teoria e comprovadas por observações, para os elementos superiores da cadeia, as leis dinâmicas e da gravitação. Sobre o último ponto, pode-se com facilidade divisá-lo no escólio geral e prefácio de Cotes à segunda edição.

Textualmente, o método assumido por Newton é a indução, o que nos obriga a tentar esclarecer na economia da obra seu significado. O pronunciamento mais explícito sobre o método indutivo como preceito para a prática científica encontra-se na quarta regra do raciocínio em filosofia:

Na filosofia experimental procuramos proposições inferidas por indução geral dos fenômenos tão acuradamente quanto possível ou muito aproximadamente verdadeira, não importando qualquer hipótese contrária que possa ser imaginada, até o tempo em que outro fenômeno ocorra, por meio do qual ela possa ou tornar-se mais acurada, ou passível de exceção.

Aparentemente a indução em Newton segue um processo recursivo mas não enumerativo, isto é, existe uma cadeia de proposições em que em cada nível se inferem causas para os fenômenos. Seja isto, a ciência começa com leis gerais de baixo nível, isto é, leis empíricas de domínio restrito, como a lei de queda livre de Galileu e as leis de Kepler, inferidas por cômputo direto de proporções (ou se se quiser, uma formulação funcional).

Essas proposições em conjunto constituem um nível a partir do qual a lei da gravitação pode ser inferida como uma indução geral, ou seja, tal proposição mais geral implica as proposições do nível inferior, sujeitas a aproximações (e ainda um excesso de conteúdo empírico, com as explicações do movimento dos cometas e das marés). Supondo os axiomas do movimento (entendidos como condições do movimento) e outras proposições eminentemente matemáticas (fisicamente plausíveis), deduzem-se os movimentos dos planetas, dos cometas, da Lua e do mar e dos corpos nas imediações da superfície terrestre. Logo, a força proposta e sua ‘proporção’ (função) devem ser corretas e verdadeiras e portanto, correspondem a entidades da natureza.

A aproximação dos termos filosofia experimental e indução remete diretamente ao prefácio crítico e polêmico de Cotes à segunda edição. O prefácio tem o objetivo bastante claro de

explicar o método de Newton e de defender a validade da mecânica newtoniana (frente aos ataques dos cartesianos) não só como investigação puramente matemática, mas ‘filosófica’ (isto é, física). O componente central na defesa de Cotes é que a filosofia experimental ‘deriva as causas de todas as coisas dos princípios mais simples possíveis, e os princípios devem ser provados pelos fenômenos’. Essencialmente, é a afirmação do modelo acima evocado.

Isso indica que o método indutivo newtoniano reconhece a forma clássica de indução “por enumeração” apenas em um estágio muito elementar da pesquisa científica. O modelo indutivo newtoniano é composto de uma tratamento matemático de proposições e um sistema de derivação - tratado a partir dos conceitos de análise e síntese na obra, correntes no século XVII - com a posterior comparação com os fenômenos que parece, em suas linhas gerais, estruturar-se de maneira análoga com o que URBACH (1987) nomeou ‘método hipotético-indutivo’ ou, como acima evocou-se, o conceito de abdução de PEIRCE.

Embora as linhas gerais da discussão sejam uma ferramenta interessante para compreender o sentido newtoniano de indução, cotejada a obra, o termo parece inadequado frente à atual semântica do conceito de indução, que não raro está impregnado com a idéia de que trata-se de um processo mecânico de, coligindo observações, encontrar uma lei geral para o fenômeno analisado. A indução, utilizada em sentido lato, tal como parece ser o caso do uso newtoniano do conceito, engloba a noção de abdução que, nos termos epistemológicos contemporâneos, corresponde à perspectiva de Newton, em linhas gerais ao menos.

Filosoficamente, o que é fundamental neste debate é que as hipóteses no sistema cartesiano não se comprometem, de antemão, com o conhecimento matematicamente formalizado de restrições representadas, no caso da mecânica newtoniana, pelas leis de Kepler do movimento planetário e pela teoria do movimento local de Galileu, ampliada pelos resultados de HUYGENS, WREN e WALLIS. Tal comprometimento e tratamento, sobretudo formal, das proposições estabelecidas em busca de leis mais gerais parece consistir o núcleo do método indutivo newtoniano e sua contribuição fundamental para a prática científica posterior.

Apresentados estes elementos gerais, pode-se sugerir uma interpretação nos termos da metodologia dos programas de pesquisa para o método indutivo na mecânica racional newtoniana e suas relações com a base empírica existente: considerando que a heurística positiva é motor da resolução dos problemas pertinentes a um programa de pesquisa e que ela dá sugestões de como

tratar os fenômenos, pode-se afirmar que a heurística do programa newtoniano se compõe do imperativo de tratar os fenômenos através do conceito de força, encontrando, quando necessário, instanciações do mesmo para diferentes tipos de problemas.

O progresso do programa se dá pela previsão de fatos novos e pela adequação cada vez maior das soluções aos problemas enfrentados, realizando-se por meio dos sucessivos modelos presentes no programa de pesquisa. Isto é facilmente notado no caso do programa newtoniano, em particular em sua teoria da gravitação: partindo de um modelo de um ponto-massa sob a ação de uma força central, Newton avança para um modelo de interação entre dois pontos-massa; dois corpos esféricos rígidos, dois corpos deformáveis e por fim três corpos inter-atuantes. Entretanto, nenhum modelo pode ser instrutivo sem a presença de limitantes (ou restrições), que são representadas pela base empírica. Os primeiros modelos do programa utilizaram as leis conhecidas (Kepler e Galileu). As versões mais sofisticadas demandaram a obtenção (e correção) de dados específicos (geralmente fornecidos por Flamsteed). Somente os modelos sofisticados recusavam as limitações impostas pela base empírica inicial, corrigindo-a inclusive (ou melhor, mostrando porque e o quanto se afastavam das previsões teóricas).

A indução como método, na obra newtoniana, pode ser pensada como a associação do estilo newtoniano de construção progressiva de modelos matemáticos para os fenômenos baseados no conceito de força (heurística positiva) e da constante formulação e reformulação de restrições (prévias) à validade do modelo que, superando-as (ou a elas se adequando), mostravam-se satisfatórios, isto é, apresentavam-se como explicações para os fenômenos em questão. Assim formulado, aproxima-se de abdução (no sentido de PEIRCE).

Sob esta ótica, a crítica cerrada de Popper e Lakatos não se sustenta, pois o sentido de indução que se utiliza em suas interpretações não é o mesmo que sustenta a prática newtoniana. Mais ainda, nos termos postos pela metodologia dos programas de pesquisa, essa relação com a base empírica não é só esperada mas desejável, pois um modelo sem restrições não pode ser interpretado. É necessária uma semântica mais ou menos clara associada a um modelo e condições de contorno para que ele seja científica e epistemologicamente legítimo, além de funcional enquanto instrumento de investigação. As restrições, que no caso newtoniano são associadas à base empírica disponível (e que depois será construída com a ajuda da própria teoria, como inclusive prevê Lakatos), são elementos indispensáveis à mensuração (qualitativa) do poder heurístico de um programa de pesquisa.

A faceta a ser destacada na concepção de método indutivo na mecânica racional se liga à sujeição dos fenômenos da natureza à leis matemáticas centradas na noção de força. Componente heurístico fundamental da mecânica, implica a interpretação de que os axiomas do movimento devam ser entendidos como condições do movimento possível e a base empírica como limitante à teorização sem os quais a filosofia natural poderia degenerar em um belo romance apenas, como afirma Cotes no prefácio da segunda edição dos *Principia*, e de certo modo é o argumento desenvolvido por DUHEM na sua interpretação sobre aproximação na ciência matemática desenvolvida em DUHEM (1906[1981] e 1989).

Nesse sentido, a idéia de indução não é somente uma figura do contexto da descoberta, sugerindo as leis que devem ser organizadas em uma síntese mais abrangente, mas sobretudo no contexto da justificação. O circuito metodológico proposto por Newton implica a ascensão indutiva das leis gerais, que compõem o núcleo duro do programa da mecânica racional mediante a modelagem matemática de condições para o movimento dos corpos a partir das quais simbolizações matemáticas (aproximadas, no mais das vezes) das leis do nível inferior são produzidas. A indução justifica a crença na linguagem abstrata da teoria, é a âncora que liga a modelagem matemática à realidade física, objeto da filosofia natural.

Sumariamente, o que fizemos nesta seção foi uma primeira abordagem da mecânica racional utilizando alguns termos chave da filosofia de Lakatos, em especial sob uma perspectiva epistemológica. Alguns resultados podem ser divisados em relação ao modelo lakatosiano, como por exemplo a constatação na obra de Newton de um princípio heurístico claro (tratar os fenômenos da natureza a partir do conceito de força). Note-se que o princípio heurístico implica a afirmação de que as leis do movimento constituem o fundamento conceitual do programa; pois descrevem as relações fundamentais que viabilizam o tratamento do conceito em casos concretos.

Mais ainda, os valores axiológicos e epistemológicos motivaram os debates científicos entre cartesianos e newtonianos, apresentando com clareza a importância destes elementos na consolidação de um programa de pesquisa. Divisa-se, ainda que panoramicamente, uma rede de relações entre axiologia (em particular a idéia de progresso), heurística e metodologia na constituição e justificação do núcleo duro de um programa de pesquisa. A seguir será investigado com maior detalhe as leis de Newton sob a suposição de que constituem o núcleo duro do programa da mecânica racional e, a partir desta investigação, propor essas extrapolações sobre as

características destas suposições que epistemologicamente justificam sua alocação como núcleo duro do programa.

Capítulo 2

Aspectos epistemológicos da investigação histórica

2.1 O conceito de núcleo duro e suas relações com a noção de lei científica

Uma das características notáveis da metodologia dos programas de pesquisa científica, que a distingue decisivamente de outras abordagens metodológicas, é sua aplicabilidade, ou melhor, sua correlação intrínseca com o estudo da história da ciência.

A metodologia dos programas de pesquisa científica não examina teorias, mas programas de pesquisa, que são séries de teorias conectadas por um núcleo duro comum. Ainda que a metodologia da ciência de Lakatos seja derivada do horizonte epistemológico popperiano, abordando a mudança científica a partir de uma entidade estrutural distinta, ela avança mais profundamente em direção a uma compreensão abrangente da racionalidade científica, pois dá conta tanto da continuidade como das reformulações presentes na história de um corpo teórico (ou seja, os conceitos são pensados diacronicamente, pelo menos aqueles presentes no cinto de proteção do programa).

Também característico da metodologia lakatosiana é a avaliação comparativa entre teorias rivais a partir de um critério declarado de progresso, seja este, a predição de fatos novos. Isto por seu turno obriga ao historiador e ao filósofo que atente para a relação entre os fatos novos e os “fatos aceitos”, ou o corpo de conhecimento de fundo no julgamento do progresso de um programa. Lakatos sumariza este ponto nos seguintes termos:

O programa consiste em regras metodológicas; algumas nos dizem quais são os caminhos de pesquisa que devem ser evitados (heurística negativa), outras nos dizem quais são os caminhos que devem ser palmilhados (heurística positiva).

LAKATOS (1970[1979]) ; pág. 162.

A caracterização da mecânica racional newtoniana como um programa de pesquisa implica que se assumam certas afirmações sobre seu desenvolvimento, se avaliado a partir da metodologia dos programas de pesquisa. A primeira é de que exista um núcleo duro que caracterize

o programa. Este, aparentemente (e Lakatos inclusive o afirma - LAKATOS : 1978, cap. 1, vol.1), é composto pelas leis dinâmicas e da gravitação tal como expressas nos *Principia*²¹ (ver capítulo 1, obra citada). Em segundo lugar, deve ser possível divisar uma heurística positiva e um cinto de proteção do programa. A heurística positiva parece estar associada ao imperativo de descrever os fenômenos naturais, recorrendo ao conceito de força (atrativa ou impulsiva) agindo entre as partículas da matéria, como mencionado no capítulo 1.

Parece necessário, portanto, o escrutínio do conceito epistemológico de núcleo duro na aplicação ao estudo historiográfico da mecânica racional, pois, se este é o componente que caracteriza um programa de pesquisa, deve a mecânica racional newtoniana possuir um núcleo duro bem estabelecido e este deverá ser (conceitualmente) encontrado nas sucessivas teorias que compõem o programa. Segundo Lakatos:

Todos os programas de pesquisa científica podem ser caracterizados pelo “núcleo”. A heurística negativa do programa nos proíbe de dirigir o modus tolles para esse “núcleo.”

LAKATOS: (1970[1979]); pág. 163.

Mais ainda, sendo este o componente de identificação do programa, aparentemente sua semântica deve ser constante ou pelo menos bastante estável (não necessariamente sua sintaxe pois, no caso da mecânica racional, o desenvolvimento do programa foi marcado pela tradução da linguagem essencialmente geométrica utilizada por Newton na linguagem do cálculo diferencial e integral leibnitziano, sendo esta ‘tradutibilidade’ fruto das diferentes possibilidades de expressão matemática dos conceitos envolvidos na formulação das leis dinâmicas e da gravitação, sem a mudança da semântica das leis).

Logo, no âmbito da investigação da mecânica racional, o desenvolvimento do programa newtoniano deve vir assinalado pela permanência (semântica) das leis do movimento e da gravitação, em particular quando da recepção do programa no continente europeu, no século XVIII, por grandes intelectuais e cientistas, como Voltaire, Euler e d’Alembert. Esta caracterização da questão da estabilidade conceitual da prática científica, formulada em termos do conceito de núcleo duro de um programa de pesquisa, é ainda superficial, contudo. Quando aplicada a idéia de um núcleo duro (seja este as leis do movimento e da gravitação) como unidade estrutural do programa

²¹ “Estas quatro leis [três leis da mecânica e a lei da gravitação] constituem somente o ‘núcleo duro’ do programa newtoniano”. Pág. 4, (tradução nossa).

de pesquisa da mecânica racional, infere-se, segundo a metodologia dos programas de pesquisa científica, que:

No programa de Newton a heurística negativa nos sugere que desviemos o *modus tollens* das três leis da dinâmica e da lei da gravitação de Newton. Esse “núcleo”²² é “irrefutável” por decisão metodológica de seus protagonistas.

LAKATOS: (1970[1979]); pág. 166.

Cabe ressaltar que o núcleo duro não é um modelo (tal como caracterizamos, no capítulo 1, a idéia de modelo no caso dos *Principia*), particular da teoria, mas um conjunto de suposições consideradas irrefutáveis por decisão metodológica. Os textos do próprio Lakatos não especificam com maiores detalhes a noção, geralmente contentando-se em apontar indicações vagas como as acima evocadas. ZAHAR, um dos mais bem sucedidos promotores da metodologia dos programas de pesquisa científica, em seu famoso ensaio “*Programmes of Einstein and Lorentz*” limita-se a dizer que:

Um programa de pesquisa é caracterizado por um núcleo duro e uma heurística. O núcleo duro consiste em suposições que, por decisão metodológica, são mantidas como não falseáveis. Cada teoria no programa é a conjunção de, por um lado, o núcleo duro, e por outro, de hipóteses auxiliares para as quais o *modus tollens* é direcionado se aparecem anomalias. Um programa tem também uma heurística que consiste em um conjunto de sugestões e dicas que governam a construção ou modificação de hipóteses. (...) Seu núcleo duro [do programa de Lorentz, aqui para exemplificar] consiste nas equações de Maxwell para o campo eletromagnético, nas leis do movimento de Newton e nas transformações galileanas, às quais Lorentz adiciona esta equação:

$$F = e(D + \frac{1}{c} v \wedge H)$$

Para a assim chamada força de Lorentz.

ZAHAR, E. (1976) in HOWSON, pág. 216, (tradução nossa).

Essa abordagem, filosoficamente, não esclarece o conceito de núcleo duro, nem do ponto de vista epistemológico, nem do ponto de vista de seu uso como conceito analítico

²²Nota 163 do artigo mencionado – “o núcleo real de um programa não emerge, na realidade, completamente armado – como Atenas da cabeça de Zeus. Desenvolve-se aos poucos, por um longo processo preliminar de ensaio e erro. Neste ensaio, não se discute o citado processo.” Fundamentalmente, este trabalho foi imaginado a partir da questão colocada por esta nota, que se não salienta, parece permitir colocar a questão, no âmbito da metodologia lakatosiana, da formação do núcleo duro de um programa, avaliado epistemologicamente, ou mais precisamente, a avaliação epistemológica do contexto da descoberta.

historiográfico. A existência de um núcleo duro caracterizando um programa de pesquisa é afirmada mas não inferida de outros supostos epistemológicos, quase como um axioma (sem o ser afirmado como tal). Filosófica e conceitualmente, é uma questão natural perguntar-se em que sentido certo conjunto de proposições pode figurar como núcleo duro de um programa de pesquisa e, em particular, como as leis do movimento e da gravitação apresentadas nos *Principia* são pensadas como elementos estruturais fundamentais do programa da mecânica racional por Newton e pelos autores que lhe seguiram nos séculos XVIII e XIX.

Partindo da revisão da literatura pertinente (HOWSON: 1976), que divisa-se nos estudos historiográficos realizados com base na teoria da racionalidade científica subjacente à metodologia dos programas de pesquisa, de modo geral, parece haver uma associação íntima entre a noção de núcleo duro e de lei científica. Essa correlação não é explicitamente afirmada mas, é um tanto óbvio, os partidários de um programa, em sua prática concreta da atividade científica, geralmente não interpretam sua prática como baseada na suposição compartilhada de um conjunto de proposições, mas na aceitação comum de certas leis, que estruturam a ontologia comum partilhada, as relações aceitas, etc. Assim sendo, parece relevante analisar os resultados das investigações históricas já estabelecidas com algum pormenor, buscando conseqüências desta correlação como indicativos na compreensão do nascimento e desenvolvimento da mecânica racional newtoniana.

2.2 Caracterizando a noção de Lei Natural

A tentativa de caracterização (lógica e epistemológica) da noção de lei natural, circula no pensamento filosófico desde a Antiguidade e foi particularmente discutida no início da Modernidade pelos grandes filósofos-cientistas (Galileu, Descartes, Boyle, Newton etc.), e é de complexidade patente. Há, entretanto, certas características gerais que se esperam serem satisfeitas para a qualificação do predicado “lei científica” a certo enunciado (embora a discussão das questões lógicas envolvidas nesse processo de caracterização seja bastante mais complexa, como mostrou Goodman, e na qual não adentraremos dadas as limitações deste ensaio). A primeira aproximação com o conceito de lei científica (ou lei natural, aqui tomadas como sinônimos) é como um título honorífico aplicado a certas proposições centrais nos diversos braços da atividade científica. Uma observação mais atenta leva à consideração de que as proposições nomeadas leis científicas geralmente se

apresentam (ou potencialmente se apresentam) como condicionais universais do tipo “Para todo x , se x é A então x é B ”.

No entanto, mais do que ser simplesmente um condicional universal, as leis (aparentemente) devem apresentar-se como condicionais universais e verdadeiros; isto é, uma aproximação intuitiva do conceito de lei natural parece implicar a demanda de que a proposição em questão deva estabelecer uma relação causal (representada pelo condicional), ser universal e verdadeira. A objeção natural vem da dificuldade (percebida intuitivamente de certo modo) de que não há um método último e eficaz para avaliar a verdade de uma proposição universal que diga respeito a uma realidade empírica qualquer, embora o comportamento médio dos indivíduos, cientistas ou não, seja atribuírem o qualificativo verdadeiro à proposições que servem como componentes de uma inferência preditiva, sejam precisas, etc. Logo, o requisito de ‘verdade’, em um nível de interpretação epistemológica mais refinado, é substituído pelo de “legaliformidade”, isto é, a proposição que se quer uma lei científica deve ter as características acima mencionadas, sendo dispensada apenas da necessidade (lógica ou empírica) de ser verdadeira para ser aceita como tal (os instrumentalistas representam perfeitamente esse tipo de interpretação).

A forma da lei científica deve satisfazer a certos requisitos, tais como universalidade e estabelecimento de relação entre eventos (causal, teleológica, etc.). Esta observação fornece ocasião de mencionar que um requisito básico para encarar uma proposição como lei natural é de que sua universalidade seja objetiva (para certo universo do discurso) em oposição à universalidade accidental (em um universo do discurso determinado) ou a veracidade vácuca, como as leis da lógica. As leis naturais devem possuir conteúdo empírico determinável (GOODMAN:1955/1973).

Epistemologicamente, a característica distintiva de um enunciado legaliforme que se pretende lei natural é de que ele deve suportar implicações contrafactuais e subjuntivas. Se a lei natural afirma que “Para todo x , se x é A então x é B ”, ela é interpretada (geralmente) como suportando a implicação contrafactual, isto é, não correlacionada com um evento concreto qualquer (observação ainda não realizada ou realizável): “Para todo x , se x tivesse sido um A , então teria sido um B ”. Mais ainda, pretende-se que suporte também o condicional subjuntivo (isto é, hipotético): “Para todo x , se x fosse A , então seria também B ”.

O importante a ser notado é que a lei natural formula o comportamento de frações da realidade por meio de expressões nômicas que, suportando implicações contrafactuais e subjuntivas, permitem não só a extensão da afirmação presente na lei a frações desconhecidas da realidade

(espacial e temporalmente), como também previsões de casos hipotéticos (e, portanto, a característica geral de previsibilidade em domínios não experimentados). Em conjunto, estas características permitem, conceitualmente, a aplicação da lei no tempo e no espaço, isto é, de certo modo representam a crença metafísica do curso uniforme da natureza (ou melhor, dependem desta hipótese metafísica para que tenha alguma validade preditiva, segundo a formulação ingênua aqui apresentada).

Os cientistas se vêem compartilhando leis naturais. Essas leis, pelo menos algumas delas, podem ser consideradas o núcleo duro do programa? O núcleo duro de um programa de pesquisa, tal como formulado por Lakatos, é um conjunto de proposições irrefutáveis por decisão metodológica, cuja *heurística negativa* consiste no imperativo de não apontar o *modus Tollens* ($H \rightarrow Q$ e $\neg Q \vdash \neg H$) para estas proposições fundamentais. Observem-se algumas aplicações desta caracterização em estudos históricos já realizados.

Peter CLARK (in HOWSON:1976, p.45), discorrendo sobre a querela entre atomistas e defensores da termodinâmica, assim caracteriza o núcleo duro do programa atomista:

“O núcleo duro do programa de pesquisa atômico-cinético consistiu simplesmente na proposição que o comportamento e natureza das substâncias é o agregado de um número enorme de indivíduos elementares [partículas] muito pequenas e constantemente em movimento sujeitas às leis da mecânica.

O mesmo autor caracteriza o núcleo duro da termodinâmica (p.63):

“há uma relação definida entre a quantidade de calor e o trabalho que de algum modo poderia ser produzido por ele.”

Mais dois exemplos ilustrativos.

MUSGRAVE (in HOWSON: 1976,p.187) assim caracteriza o programa do flogisto na química:

“O programa originado com a afirmação de Becher de que combustíveis continham um ‘princípio inflamável’ que eles liberavam quando sob combustão”

No mesmo artigo (*Why did oxygen supplant phlogiston?*) Musgrave caracteriza o núcleo duro do programa do oxigênio como afirmando que a combustão é uma reação química que envolve a absorção de oxigênio.

Trata-se em todos os casos de proposições muito gerais que corporificam elementos metafísicos e ontológicos. No entanto, podem ser traduzidas em condicionais universais e geralmente geram condicionais contrafactuais e subjuntivos como acima mencionados, sem perda de conteúdo semântico (pode-se fazê-lo nos seguintes termos: “se x é uma reação de combustão e x produz trabalho (y), então x tem uma relação (R) definida com y ”, etc.). Assim sendo, aparentemente, o enunciado da proposição que se apresenta como núcleo duro do programa geralmente não é propriamente pensado pelos criadores do programa como o “núcleo duro” de um programa, mas como uma lei natural, em um sentido lato, na medida em que ela apresenta (ainda que de forma muito geral e metafísica) um modo fundamental de organização de um fragmento da realidade física. O contexto aqui certamente é o da descoberta, mas essa aproximação entre a afirmação de que uma proposição é uma lei natural, na obra científica investigada, e a sua conversão em núcleo duro de um programa de pesquisa permite divisar um critério de identificação na análise histórica: o núcleo duro de um programa de pesquisa será geralmente referido no desenvolvimento do programa como uma lei natural.

A insistência na aproximação entre as noções de núcleo duro e lei natural contém outro aspecto relevante, do ponto de vista epistemológico. É pouco provável que se aceite qualquer tipo de proposição como núcleo duro de um programa, p. ex., uma lei cujo universo de aplicabilidade seja muito restrito. Embora estas possam ter algumas das características acima mencionadas concernentes à legaliformidade da proposição tomada como lei natural (historicamente o núcleo duro do programa de pesquisa), as proposições fundamentais de um programa devem (aparentemente) possuir virtudes epistêmicas e pragmáticas para se tornarem efetivos instrumentos de desenvolvimento teórico e, portanto, devem possuir características distintivas dentro do conhecimento disponível em determinado tempo.

Por sua vez o poder explicativo, a generalidade nas aplicações e a possibilidade de articulação com elementos empíricos e teóricos já conhecidos, além da explicitação de características ontológicas são elementos indispensáveis tanto às proposições do núcleo duro de um programa de pesquisa quanto de uma interpretação em primeira aproximação da idéia de lei natural, tal como geralmente a caracterizam filósofos e cientistas. É a partir desta simetria (ou pelo menos proximidade) de caracteres epistemológicos entre os conceitos de núcleo duro e lei natural que se propõe a idéia de que o núcleo duro de um programa de pesquisa se constitui de leis naturais.

2.3 O núcleo duro de um programa e as leis naturais

De certo modo a interpretação sugerida acima correlacionando núcleo duro e lei natural se compromete com a idéia de que os partidários de um programa de pesquisa se orientam conceitual e filosoficamente por uma visão geral de como funciona a realidade objeto da pesquisa (em seus termos mais gerais desenhada pelo conhecimento de fundo aceito) e de que as proposições do núcleo duro de seu programa de fato captam uma representação adequada (em vista do conhecimento disponível) desta. Nesse sentido, sendo a mudança científica possível (e virtualmente necessária para o progresso) mediante um conhecimento mais adequado da realidade investigada (conhecimento catalisado por um programa que, se progressivo, será derrubado pelo novo conhecimento implicado por seus padrões de pesquisa), o núcleo duro de um programa de pesquisa, mais do que um conjunto arbitrário de proposições, corporifica a metafísica influente que orienta os modos de abordagem da realidade (física) e, portanto, estruturam esta realidade de maneira a torná-la racionalmente inteligível e simbolizável.

O imperativo de manter o núcleo afastado das refutações segue-se naturalmente: organizar as representações de um determinado fragmento da realidade é um trabalho complexo e só acontece a partir da sistematização de uma vasta quantidade de conhecimento de fundo. Em certo sentido, é racionalmente justificado manter o núcleo duro de um programa em detrimento da rearticulação de proposições periféricas do sistema (cinto de proteção) dado o poder explicativo e estruturante do núcleo do programa. A questão agora se coloca sobre o sentido da noção de lei natural no momento em que se desenvolve o programa da mecânica racional newtoniana. A noção de lei, como idéia epistemológica, muda (ou pelo menos nada impede a mudança, do ponto de vista metodológico ou filosófico). Não é necessária a manutenção do sentido do conceito de lei natural, ou mais precisamente, a semântica da idéia no decorrer do tempo não é e nem parece ser imutável. Portanto, não só o conceito de lei natural, mas as formas de expressão reconhecidas para uma lei natural mudam no tempo.

Por exemplo, o desenvolvimento das teorias de probabilidade e estatística abriu a possibilidade de formulação de leis probabilísticas, a criação inclusive do campo da mecânica estatística. Esse tipo de formulação certamente era impossível no tempo de Newton, tanto quanto é

certo que a utilização das teorias estatísticas nas ciências naturais implicou a rediscussão da noção de lei natural. Cabe, portanto, investigar a concepção corrente do termo no momento da constituição da mecânica racional e avaliar como o conceito de lei natural se manifesta na obra de Newton.

2.4 A noção de lei natural no nascimento da modernidade

A tarefa primordial de uma filosofia da ciência natural é elucidar o conceito de natureza, considerada um único fato complexo para o conhecimento; expor as entidades fundamentais e as relações entre entidades em cujos termos todas as leis da natureza devem ser estabelecidas, e afiançar que as entidades e relações assim expostas são adequadas à expressão de todas as relações entre entidades que têm lugar na natureza.

WHITEHEAD, A.N. (1994): *O conceito de natureza*, pág. 56

Um dos pilares da filosofia e da ciência modernas, como processo histórico e de revolução intelectual, é caracterizado pelo declínio das concepções mágicas e da tradição hermética que se estabeleceram durante a Idade Média e o renascimento, em nome de uma reorganização ontológica da idéia de natureza pela incorporação (filosófica) no âmbito da visão de mundo corrente de uma ‘ordem matemática’ permeando os eventos naturais. Esse declínio das concepções antigas e medievais veio acompanhada de uma série de outras transformações, tanto no âmbito da cultura geral como no registro da ciência moderna nascente; particularmente, tal transição impôs questões tais como as maneiras de integrar e repensar as conexões entre os problemas da teologia e da ciência, as relações entre a física e a cosmologia que acompanharam e determinaram o fim do universo aristotélico-ptolomaico e, talvez a questão filosófica central no início da Modernidade, a nova posição do homem na cadeia do ser (ROSSI: 1992; KOYRÉ: 1957 [1986]).

A filosofia natural antiga e medieval pensava o universo como um ‘cosmos’ organizado (LOVEJOY: 1964[2005]). A modernidade instaurou uma concepção de mundo que se afastava radicalmente desta noção de ‘cosmos’ enquanto ordenação de lugares qualitativamente diferenciados, inscritos substancialmente no mundo. A concepção de ciência (ou melhor, filosofia natural) na Modernidade configurou-se a partir de uma reconciliação inovadora das características centrais da teologia cristã (pelo menos da idéia de um deus todo poderoso que criou o universo) com

um ideal epistêmico que via nas matemáticas um modelo de boa prática científica (isto significando que sua pesquisa levava a resultados seguros) a ser seguido na investigação de todas as coisas, em oposição ao predomínio da retórica, presente no ensino escolástico.

Todos os filósofos criativos do período expressaram claramente este impulso a um novo e radical repensar (epistemológico), necessário à construção do conhecimento verdadeiro. Este repensar era estruturalmente marcado, entretanto, pelos pressupostos ideológicos acima apresentados: a aceitação, nos meios intelectuais e científicos, da idéia de uma criação divina, que esta criação parecia obedecer a certos critérios acessíveis ao conhecimento humano, por meio não só da revelação bíblica, mas (e talvez sobretudo) da investigação natural.

A teleologia aristotélica e medieval - a crença de que a natureza de uma coisa deveria ser explicada pela sua perfeição em ser o que é - foi progressivamente sendo enfraquecida e substituída pela concepção de que o sentido dos fenômenos só poderia ser encontrado analisando a lógica estruturante do universo, culminando na nova concepção - fundamental para ciência moderna - de 'lei da natureza'. (HALL, A.R.:1962[1988], cap. 2 ; KOYRÉ, A.:1957[1986],cap. 1).

O primeiro aspecto importante a ser analisado sobre os elementos metafísicos subjacente à idéia de lei natural é que a filosofia moderna passa a defender que a tessitura do universo deve ser interpretada como matematicamente organizada. Filosófica e teologicamente, a reconciliação da divindade cristã criadora e legisladora e da interpretação matemática da natureza se realizou por meio da idéia metafísico- teológica do deus-geômetra.

O conceito de lei natural matematicamente simbolizada (simbolizável), representativo da *ciência moderna* e do esforço desta no sentido do catálogo sistemático de regularidades no comportamento da natureza e da busca igualmente sistemática da descrição matemática dos mesmos foi subsidiado, essencialmente, por uma 'invenção' metafísica da *filosofia moderna* (o deus geômetra), estando essencialmente ausente do horizonte especulativo das filosofias antiga e medieval sobre a natureza.

É possível justificar a interpretação sugerida da origem da idéia de lei natural a partir da investigação dos autores fundadores da ciência na Modernidade. Segundo HALL, esta é o resultado de uma interação peculiar entre idéias religiosas, filosóficas e legalistas oriundas do mundo europeu medieval (HALL:1962[1988]). Também se nota facilmente como esta atitude filosófica opunha-se à concepção grega de investigação da natureza, em que o uso da palavra "lei" (*matematicamente estruturada e descritiva de relações causais*) no contexto da *physis* teria sido (possivelmente)

rechaçado²³. Embora em estado embrionário tenha surgido em outros autores científicos e filosóficos, é somente a partir da Modernidade que, sistematicamente, lei se liga à conexão causal entre entidades em oposição à interpretação antiga e medieval de uma organização qualitativa de lugares. Segundo Edward W. STRONG:

“Há poucos contrastes mais dramáticos na história da ciência do que aquele apresentado pela comparação entre as hipóteses de Galileu com a visão de mundo do pensamento do século treze. A concepção fundamental dos pensadores do século treze era a idéia de que a natureza era como uma obra de arte.

Deus criara um mundo de criaturas instrumentalmente por meio das formas impressas em uma matéria passiva e inerte. Coisas individuais eram a união da forma e da matéria. Desde que a matéria é uma mera potencialidade de receber e distribuir formas, a explicação do movimento é referida a agentes e moventes residentes na natureza. O primeiro motor e a primeira causa é Deus cujo ato criativo criou o mundo. Movimentos na natureza são devidos a causas secundárias. Essas causas de processos, intelectuais e vitais, - processos com os quais os pensadores medievais estavam principalmente preocupados – são enteléquias, faculdades e almas. Os movimentos que elas produzem são em última instância teleológicos. Em um mundo desenhado pelo Criador para o homem, a mais perfeita de suas criaturas, o propósito e os fins para os quais as coisas existem são de importância central. Nenhuma explicação da natureza é adequada sem uma avaliação das causas finais em resposta a questão de por que as coisas são constituídas como elas são e por que elas agem como elas agem. O problema da ciência consiste em abstrair formas e dispô-las em um sistema de classificação. Classificação requer do cientista que distinga entre as propriedades substanciais e inerentes de uma espécie e aquelas qualidades que lhe são incidentais. Essas doutrinas das formas substanciais, das propriedades inerentes, das causas finais, e dos agentes ocultos são elaboradas em uma teoria completa da natureza por Alberto o Grande e Tomás de Aquino. Por meio deles, a ciência aristotélica foi formatada em determinantes cristãos da criação e dos dois mundos, um das coisas físicas e o outro das essências espirituais e sobrenaturais.

A despeito da entrada na Europa ocidental da ciência grega e persa-árabica no século doze, e a persistência a partir de então de uma tradição de estudos matemáticos e mecânicos, pouco, se algo, afetou a idéia teológica dominante dos filósofos cristãos. Quando nos voltamos para Galileu encontramos uma mudança enorme, um tratamento radicalmente diferente e uma concepção distinta da ciência

²³ Conf. Platão: “As Leis” e “A República”, por exemplo, para uma discussão do significado corrente de lei no contexto da filosofia antes de Aristóteles e a aplicação essencialmente circunscrita à atividade legisladora humana na organização da pólis. Particularmente no caso de Aristóteles, como se encontra em sua obra uma atenção considerável sobre o tema da investigação natural e, especificamente, as primeiras reflexões sobre o método indutivo e de que o ideal da ciência seria a progressão das observações para a descoberta de princípios gerais ; tal constatação parece implicar a recusa da proposição de que o conceito de lei natural estava ausente do pensamento grego. A perspectiva apresentada, no entanto, apóia-se sobre a interpretação de que o ponto central nas discussões aristotélicas é de que as coisas particulares constituíam-se a partir da união entre matéria e forma e a compreensão científica de um objeto era a explicação desta união em termos das quatro causas (formal, material, final e eficiente). A causa eficiente, que na Modernidade será a única mantida e virá a ser sinônimo de causa para a filosofia natural, era somente um fragmento (nem sempre o mais importante) da idéia de causa no mundo antigo e daí a interpretação proposta. No mundo medieval, por seu turno, a natureza refletia as marcas de Deus e portanto não era preponderante a idéia de causa eficiente e, logo, da idéia de lei natural tal como pensada pela filosofia moderna. Sobre a questão conf. Losee, J.: 1972[1993], caps.1,5, 6, 7.

e da natureza. Em “As Duas Novas Ciências”, o grande livro de mecânica de Galileu, é uma peça fundamental de pesquisa experimental e prova matemática. Nela encontram-se os resultados de observação e experimentação teoricamente generalizada em fórmulas, para a coesão dos sólidos, e em leis para o movimento uniformemente acelerado. (...)

Não há dúvidas que a tradução e estudo dos trabalhos de Euclides, Arquimedes, Herão e Apolônio de Perga contribuíram diretamente para o avanço da matemática e da mecânica. Ainda assim também foram importantes os desenvolvimentos tecnológicos e a tradição [conceitual] fundada por Galileu [que bebia destas fontes, mas não se reduzia completamente a elas, trazendo elementos inovadores não só conceituais, mas epistemológicos].”²⁴ (tradução nossa).

No mundo europeu do início da Modernidade a crença hebraico-cristã em uma divindade que era simultaneamente criadora e legisladora do universo tornava a noção de lei natural não só epistemicamente válida como necessária. A idéia de lei natural universal e causal apresentava-se desde a Idade Média como uma demanda do pensamento filosófico que poderia mediar o relacionamento da teologia cristã e a incorporação da filosofia grega (no caso da filosofia natural em especial, particularmente a idéia de ordenação do mundo), mas antes da era moderna a sistematização conceitual desta noção não foi produzida²⁵, sendo portanto esta conjunção entre ordem e criação, ainda imatura nos séculos XV e XVI, fonte de profundas tensões intelectuais.

2.5 A matematização da filosofia natural como aspecto infra-estrutural da atividade científica no início da Modernidade

A invenção metafísica do deus geômetra, articulada com a invenção da ciência moderna e seu conceito de lei natural obviamente não se realizou de um só golpe. Note-se que a perspectiva da criação como obra de um deus geômetra implicava a investigação matemática da natureza - na medida em que se deus é geômetra a natureza será a suprema construção geométrica ou, como se verá, a suprema obra mecânica, na medida em que influi a matéria²⁶.

²⁴ Strong, Edward W.: *Mechanical Ideas in the Scientific Thought of the Seventeenth Century; The American Naturalist*, Vol. 72, No. 741. (Jul. - Aug., 1938), pp. 324-339.

²⁵ A questão do nascimento do conceito de lei natural e as relações entre o humanismo renascentista e a revolução científica são amplas e demandam um tratamento profundo que fogem às possibilidades desta dissertação, sendo necessário entender nossa posição antes como uma constatação de fatos do que uma explicação histórica para o fato.

²⁶ Koyré identifica três elementos que fundamentam a visão de mundo do início da Modernidade que fundamentam a interpretação proposta, particularmente no caso newtoniano: a interpretação da matéria como infinitas partículas mutuamente separadas e isoladas, concretas e imutáveis, mas não idênticas; o movimento, pensado sob a matriz do

O tratamento desta questão será delicado para a filosofia, em particular nas relações que passará a pressupor com a teologia, mas de certo modo será orientada pela metafísica de Descartes, que alcançou o tema com maturidade filosófica ímpar. Instituída filosoficamente esta metafísica geral e a implicação de que a estrutura da criação seria matemática, alcança-se por meio desta metafísica a possibilidade de uma inserção epistêmica efetiva na realidade mediante a descrição e argumentação matemáticas, e de certo modo, o conhecimento pleno da ordem que deus impôs ao mundo e, portanto, uma adoração mais plena de sua sabedoria e poder²⁷. Este movimento pode ser pensado como a instauração de uma nova ontologia e da ‘racionalidade matemática’ imanente aos eventos naturais. Um importante pensador teológico inglês do período, Stephen Hales, apresenta essa nova concepção de natureza de maneira muito clara:

Temos a segurança de que o onisciente criador observou as mais exatas proporções de número, peso e medida na constituição das coisas, pelo que o modo mais plausível de chegar a compreender a natureza daquelas partes da natureza que nos é dado observar tem de ser precisamente numerar, pesar e medir.
(COHEN: 1980[1983] pág. 35 - tradução nossa)

Cientificamente, esta mudança teológico-metafísica implicou a rediscussão do que seriam precisamente as qualidades primárias e secundárias dos objetos e o estabelecimento das entidades cujo comportamento fenomenal poderia ser simbolizado matematicamente, como componentes da essência dos corpos e substrato último de sua existência²⁸. Esta reconfiguração da dicotomia qualidades primárias versus qualidades secundárias veio acompanhada e foi constituída por uma nova idéia de razão, de experiência e de natureza que se sedimentaram no conceito de lei natural tal como pensado pelos fundadores da ciência clássica. Seja isto, a *nova interpretação do que é a natureza implicou o modo como se poderia conhecê-la; a articulação destes termos deu*

princípio da inércia, que não faz distinção ontológica entre movimento e repouso, se realizando em um vazio infinito e homogêneo e por fim o espaço euclidiano onde se dá a criação o que, seguindo o prefácio aos *Principia*, constituem o campo de investigação da mecânica racional. Conf. Koyré, A.: O significado da síntese newtoniana in Cohen, I. B. & Wetfall, R.S. (1995[2002]).

²⁷ A dialética entre o suporte metafísico e a prática efetiva da ciência matemática da natureza constitui-se em um processo bastante complexo, que aqui simplificamos ao máximo, tratando-se antes de uma constatação do que uma explicação. Mesmo porque a ciência matematizada da natureza era realizada plenamente por Galileu e Kepler antes de Descartes ter configurado seu sistema metafísico (embora Galileu particularmente também tenha publicado obras em que aparecem fragmentos sobre a fundação metafísica da ciência matemática da natureza antes da fundação ‘sistemática’ da mesma produzida por Descartes, por exemplo em *O Ensaíador*).

²⁸ “tirando os ouvidos, as línguas e os narizes, permanecem os números, as figuras e os movimentos, mas não os cheiros, nem os sabores, nem os sons, que fora do animal vivente, acredito que sejam só nomes...” (Galileu, *O Ensaíador*, pág. 121)

*origem à idéia de lei natural no início da Modernidade*²⁹. Como em tantos outros aspectos, Galileu é um personagem central na instituição desta noção:

...sendo a natureza inexorável e imutável e não importando que suas recônditas razões e modos de operar sejam ou não expostos à capacidade dos homens, pelo que ela jamais transgride os termos das leis que lhe são impostas; parece que aquilo que dos efeitos naturais ou a sensata experiência nos põe diante dos olhos ou as necessárias demonstrações nos concluem, não deve de modo algum ser colocado em dúvida por passagens da Escritura...

Galileu Galilei: carta a Benedetto Castelli a partir de Mariconda, P. R. in 350 anos dos “Discorsi intorno a due nuove scienze” de Galileo galilei, pág. 132 (grifo nosso).

O conhecimento da natureza, portanto, na primeira modernidade, será aquilo que se observa pela percepção obtida pelos sentidos, que informa a regularidade e abre a possibilidade de um conhecimento causal dos fenômenos, codificados pela descrição matematizada dos mesmos. Mais ainda, a natureza pode ser pensada como um sistema fechado e autônomo com relação ao pensamento e ao homem, isso significando que as relações entre os fenômenos ou entre as substâncias primeiras prescindem de sua compreensão (via intelecto) ou expressão mediante a ciência humana, ou do que a ciência humana pensa acerca dos mesmos. O homem deixa de ser a finalidade última da natureza, e passa a ser seu espectador (ou melhor, aquele que se quer o dominador da natureza).

Por outro lado, a perspectiva teológico-metafísica do deus geômetra demanda que a criação do universo teria seguido uma lógica *more matemático*, isto é, se deus é o supremo geômetra, a criação é uma obra geométrica perfeita³⁰. Assim sendo, na criação, a simplicidade (pensada matematicamente) dos meios deve ter sido a maior possível³¹. Esta temática é codificada, simbolizada e explicada pela filosofia corpuscularista (em suas várias versões e diferentes autores) – a realidade efetiva da criação repousa sobre o movimento de partículas fundamentais, coordenadas por leis naturais impostas por deus. As sensações não dizem respeito à realidade efetiva, somente à compreensão delas por meio do movimento, da forma e da matéria.

²⁹ O que em Descartes se apresentará a partir da implicação metafísica do papel ativo do sujeito na construção do conhecimento científico.

³⁰ Indiretamente imaginamos que o otimismo leibniziano está implícito nas perspectivas ontológicas da filosofia natural do século XVII.

³¹ Tal como os axiomas devem ser verdades evidentes, as leis da criação devem ser as mais simples, tornando possível ao intelecto humano limitado chegar a conhecê-las.

A tarefa da filosofia natural, neste contexto, será conhecer o mundo ordenado por leis imutáveis (ou pelo menos atualmente mantidas por deus, como defenderá Newton) para além da aparência de diversidade, que é a impressão primeira do intelecto limitado do homem, por meio de demonstrações necessárias ou fenômenos evidentes. Isso por sua vez nos indica que na atividade científica do período a experiência, ainda sendo árbitro supremo para o conhecimento humano, não pode caminhar sem o auxílio da razão, particularmente da razão matematicamente orientada, como Descartes nos informa em suas *Regras para a Direção do Espírito*.

Diante da natureza, portanto, o primeiro passo do filósofo natural não é enunciar substâncias, verdades, nem falar de causas ou essências sem uma sólida atenção à natureza em seus componentes empíricos ou sua estrutura metafísica, mas agarrar-se aos fundamentos (empíricos e metafísicos) e a partir deles buscar o grande sistema do mundo. A vertente empirista da filosofia natural do século XVII seguramente endossou mais incisivamente o componente empírico em relação a perspectivas de orientação tipicamente intelectualistas, embora, em essência, o papel da experimentação fosse reconhecido pelos filósofos em geral, tratando-se as discordâncias entre “empiristas” e “intelectualistas” mais uma questão de epistemologia sobre os fundamentos da ciência, ampliada e distorcida pelas leituras propostas pelos comentadores posteriores (principalmente no século XIX e XX) do que propriamente um comportamento inscrito na prática científica dos grandes pensadores-cientistas do período.

De qualquer maneira, a partir deste pano de fundo, constata-se que a concepção de natureza construída pela filosofia moderna encontra eco na obra seminal de fundamentação da ciência clássica. Nos *Principia*, a primeira regra do raciocínio em filosofia afirma que:

Não se devem admitir mais causas das coisas naturais do que as que são ambas verdadeiras e suficientes para explicar as aparências.

É por esta razão que os filósofos dizem que a Natureza nada faz em vão, e quanto mais vão menos servirá; para a Natureza é agradável a simplicidade, e efeitos não apresentam a pompa de causas supérfluas.

NEWTON. *Principia*, Livro III; Regras do raciocínio em filosofia, Regra I. (tradução nossa).

Parece bastante plausível afirmar-se que a filosofia natural do início da Modernidade objetivava compreender a natureza e seu funcionamento pela investigação sistemática dos fenômenos naturais e sua simbolização por proposições de tipo matemático, seja isto, articuladas sob um conjunto claro de critérios adequados ao fundo metafísico vigente, embora, no caso particular de

Newton, a crítica metafísica seja recusada. O ponto em questão, que nos parece fundamental, é de que a expressão matemática das representações sobre o conhecimento natural são admitidas (talvez implicadas) a partir do contexto metafísico.

A filosofia natural de Newton procurava, a partir da investigação empírica sistemática (orientada pela razão) e a representação simbólica da natureza por meio das leis, alcançar a posse da verdade (critério epistêmico que representava, neste momento, também um elemento ideológico extra-científico, sob a tutela da teologia natural), fundamento sólido e inabalável do conhecimento. Tal concepção, epistemologicamente, não rechaça, contudo, o que se poderia pensar como critérios pragmáticos da investigação científica. Em especial na filosofia cartesiana, consciente dos limites da razão para o conhecimento do mundo, a superioridade epistêmica de um conjunto dado de proposições científicas também é avaliado - ou melhor, é prioritariamente avaliado - sob a ótica do tratamento dos dados disponíveis sobre os fenômenos naturais, abertos ao escrutínio público em relação a sua adequação (conferir, por exemplo, as *Regras para a direção do Espírito* e os *Princípios da Filosofia*).

Uma ‘hipótese’ é, antes de mais nada, avaliada sob a ótica de seu poder explicativo e sua adequação aos fundamentos metafísicos da realidade, cuja credibilidade é diretamente proporcional a esta dupla adequação.

Por outro lado, a afirmação de concepções indutivistas estritas (isto é, que não admitem um papel ativo ao intelecto na construção do conhecimento), geralmente atribuídas à autores de peso como Newton não resiste a uma análise detida das concepções filosóficas presente na obra, em particular, a crítica constante ao aristotelismo escolástico, partidário de um tipo de abordagem da filosofia natural que em seus determinantes gerais se aproxima desse tipo de empirismo (ingênuo).

Não raro aplicado à metodologia newtoniana, é um indicador relevante da falácia de tais interpretações, na medida em que os *Principia* serão o modelo de ciência teórica que se estabelecerá a partir do século XVIII, em particular as maneiras propostas (e realizadas em alguma medida na obra) para construir, a partir dos resultados empíricos disponíveis, explicações e leis científicas. Isso leva à conclusão de que caminham lado a lado elementos empíricos e uma metafísica matematizante do conhecimento da natureza, corporificando um quadro intelectual que articula conscientemente as observações por meio de uma simbolização de tipo matemático.

Em certo sentido, pode-se inferir a presença em geral do princípio metodológico de inferência da melhor explicação como componente metodológico inter-teórico, e por isso está

sempre presente nas discussões científicas uma classificação (em um sentido necessariamente qualitativo) da capacidade epistêmica das teorias.

Seja isto, as teorias que explicam mais adequadamente os fenômenos são - racionalmente falando- as que estão mais próximas de descrever a estrutura concreta do mundo. Assim posto, o princípio da melhor explicação implica a suposição de que a eficácia explicativa das teorias implicava sua capacidade epistêmica (uma crença realista de fundo da prática científica no período que o progresso filosófico mostrou insustentável - PLASTINO: 1995). Em linhas gerais, no século XVII, as leis naturais são interpretadas como princípios causais reais presentes na natureza.

Parece haver, portanto, indícios suficientes para a defesa de que, em geral, o núcleo duro das teorias científicas do século XVII não se compõe de quaisquer suposições arbitrárias consideradas irrefutáveis por decisão metodológica. Os cientistas pensam suas proposições centrais como leis naturais e nesse sentido tacitamente aceitam a idéia de que estas são princípios causais efetivos presentes na natureza, pelo menos no século XVII e XVIII. Esta é fundamentalmente uma razão ideológica para a preservação destas suposições centrais dos programas de pesquisa que acaba por implicar a rediscussão do sentido de afirmar-se que o núcleo duro é tornado irrefutável por decisão metodológica.

Colocado deste modo, o cientista aparenta ser um ponto lógico de organização de fenômenos, destituído de crenças e de concepções ontológicas e metafísicas, o que dificilmente resiste a um escrutínio histórico mais rigoroso. Cientistas (pelo menos no início da modernidade) geralmente pensam a natureza a partir de concepções metafísicas influentes, corporificadas pelas leis científicas. Uma afirmação generalizada sobre o tema provavelmente seria rechaçada em vista dos desenvolvimentos filosóficos e científicos posteriores e demanda maiores e profundas investigações. Cabe evocar os estudos de casos presentes em HOWSON (HOWSON: 1976, acima mencionados) para legitimar esta interpretação.

Supondo que a idéia de núcleo duro representa um conceito explicativo na análise do desenvolvimento do pensamento científico e, na análise histórica se correlaciona com a idéia de lei natural, parece mais plausível a afirmação de que sua manutenção se dá pela crença compartilhada na estrutura filosófica e metafísica sobre o funcionamento do mundo, em vez da afirmação de que estes se caracterizam por suposições (mais ou menos arbitrárias) tornadas irrefutáveis por decisão metodológica de um grupo de cientistas. Filosófica e conceitualmente, as leis do movimento e da gravitação de Newton, por exemplo, como núcleo duro do programa da mecânica racional

newtoniana, devem ser pensadas não só sob o viés formal ou proposicional (que não chega a se realizar propriamente, dada a maneira peculiar de sua expressão nos *Principia*, como veremos nos capítulos seguintes), mas como corporificações de uma perspectiva sobre o mundo que será recuperada por seus continuadores, em alguma medida pelo menos.

Resumindo essa seção, pode-se pensar que a identificação do conceito analítico de núcleo duro e a noção metodológica de lei natural apresentam um referencial de identificação para, na análise historiográfica de um determinado programa de pesquisa, circunscrever com alguma precisão o núcleo do mesmo. A partir da discussão da concepção corrente no período investigado de lei natural, pode-se também determinar as características centrais das proposições elencadas como leis (e portanto aquelas que são potencialmente aceitáveis como o núcleo duro de um programa de pesquisa), devendo-se levar em conta critérios não só estéticos (como universalidade da proposição, sua formulação em alguma linguagem particular, como geométrica, algébrica ou estatística³²), mas também pragmáticos, em particular sua aplicabilidade a um amplo espectro de fenômenos.

É importante salientar que somente algumas leis são transformadas em núcleo do programa de pesquisa, aquelas que satisfizerem em maior grau, as características metodológicas como universalidade, aplicabilidade a um domínio amplo de fenômenos, sistematização de um vasto conjunto de leis de domínio mais restrito, projetibilidade, etc. (ainda que a interpretação do grau de satisfação das proposições não se sujeite a uma métrica explícita). Assim sendo, essas noções fundamentais postas parecem permitir o exercício interpretativo do nascimento da mecânica racional newtoniana a partir dos referenciais epistemológicos da metodologia dos programas de pesquisa científica.

³² É interessante notar que, nos momentos em que novas linguagens são aplicadas a um campo particular da atividade científica, como por exemplo a introdução das representações estatísticas na física, a discussão do conceito de lei natural deve tornar-se mais intensa e, em particular, a crítica inter-conceitual entre os programas de pesquisa deve ser bastante mais intensa. Mais precisamente, fixada a noção de lei, a crítica entre os diferentes programas de pesquisa deve se centrar na progressividade ou não dos contedores. Já quando a semântica do conceito de lei está em questão, o próprio reconhecimento do adversário como partidário de um programa de pesquisa pode ser mais problemático, duplicando o esforço crítico dos contedores, de não só justificar sua interpretação de que certo enunciado, formulado em uma linguagem particular, constitui uma possível lei natural, mas de que ela é adequada para a interpretação da realidade investigada pelo programa de pesquisa.

Capítulo 3

Programas de pesquisa

3.1 Uma visão geral do programa cartesiano de pesquisa

A metodologia lakatosiana e a historiografia a ela atrelada induzem, nos termos em que são colocadas, na recusa da idéia de um predomínio monoteórico em determinado campo de investigação científica (presente, por exemplo, na obra de KUHN) e a explicação sócio-psicológica do desenvolvimento do trabalho científico (seja isto, o desenvolvimento de um programa teórico marcado por interesses profissionais, sociais, étnicos, etc., antes que por interesses epistêmicos).

Lakatos defende que a ciência é uma atividade essencialmente crítica e progressiva. O progresso, em especial, está intimamente associado à realização de novas descobertas, empíricas e teóricas, pelo menos algumas das quais corroboradas. A evolução da ciência realiza-se pela competição constante de programas de pesquisa (cujas precondição de análise é, sob a ótica da metodologia dos programas de pesquisa, que sua continuidade seja normativamente analisável, ou seja, que um programa seja caracterizado por um núcleo duro bem definido e uma heurística positiva delineada previamente).

A recusa em aceitar o predomínio monoteórico em largas escalas de tempo implica que cientistas entendem e avaliam os riscos e vantagens de apoiar ou recusar um programa de pesquisa determinado, além é claro que, quando convencidos por suficientes razões, os partidários de um programa podem mudar suas opiniões científicas. Casos paradigmáticos são observados em momentos históricos de transição, em particular da teoria do flogisto e da velha física quântica, em que renomados cientistas passam a defender as novas posições. Especialmente interessante é o caso de Bohr que, sendo um dos fundadores da velha mecânica quântica – na qual obteve resultados significativos - já nos primeiros anos da proposta ondulatória passa a defendê-la vigorosamente. (LAKATOS:1978, cap. 1, vol.1).

A racionalidade científica defendida por Lakatos, ao contrário da perspectiva de racionalidade ‘instantânea’ de Popper (isto é, a idéia de que é possível estabelecer um critério único e claro que define de uma vez por todas sobre a legitimidade de aceitar ou não uma determinada teoria), caracteriza-se por sua historicidade, manifestando-se pela competição teórica e da reformulação constante do cinto de proteção dos programas, cujo objetivo é a crescente adequação aos resultados estabelecidos e a previsão de novos fatos. Assim formulada, a perspectiva lakatosiana sobre a racionalidade científica é da constante crítica inter-teórica, e nesse sentido uma das condições do progresso é a competição teórica. Assim sendo, avaliar o impacto do programa newtoniano da mecânica racional demanda previamente sua oposição ao programa de pesquisa rival no século XVII, o programa do mecanicismo cartesiano.

O programa cartesiano de pesquisa foi um momento de certo modo preliminar mas fundamental para a construção da revolução científica, particularmente para a obra newtoniana. O núcleo duro do programa pode ser concebido como a afirmação da dualidade *res extensa* versus *res cogitans* (que garante a autonomia metafísica do mundo natural e a irreducibilidade da alma racional à matéria), uma lei geral de conservação (da matéria e do movimento, tal como apresentada pela primeira vez no tratado *O mundo: tratado da luz* e ratificada, programaticamente, em *Os Princípios da Filosofia*), a lei da inércia (linear, sendo que as duas últimas suposições, conjuntamente, implicam as leis do choque, que se pode pensar como o cinto de proteção do programa, tanto que foram depois corrigidas por Huygens, Wren e Wallis) e sua teoria dos turbilhões de matéria no âmbito dos fenômenos astronômicos. A heurística do programa parece ser marcada pelo imperativo de construir modelos para os fenômenos naturais centrados no choque entre partículas, resultando daí que uma explicação científica, para os partidários deste programa, será a descrição dos movimentos macroscópicos dos corpos e de sua interação, por meio de choques, entre estas partículas elementares.

A redação dos *Princípios da Filosofia* corresponde a uma apresentação sistematizada e generalizada da filosofia cartesiana e corporifica o essencial do programa de pesquisa cartesiano. Os *Princípios* quase são uma espécie de manual, em que se realiza a pretensão de fundar a ciência em raízes metafísicas seguras. Do ponto de vista científico, as partes 2, 3 e 4 apresentam os resultados fundamentais das investigações cartesianas e de seus associados (em particular, Huygens corresponde-se ativamente com Descartes, além de outros cientistas, filósofos e teólogos, que lhe sugerem não só questões, mas apresentam soluções para certas questões científicas correntes que são

ou incorporadas ou refutadas no sistema cartesiano). O mais importante, o sistema de mundo e as leis fundamentais de Descartes encontram-se nesta obra.

A legitimação filosófica e metafísica da ciência matemática da natureza, que pode ser expressa como a instituição da extensionalidade (em Newton esta se converte no conceito de “massa”) como a propriedade fundamental dos objetos materiais (*res extensa*) e por tal razão da geometria (e depois, da álgebra) como a linguagem adequada à descrição do mundo, podem ser considerados seus resultados principais e parte fundamental da justificação do núcleo do programa e do próprio programa cartesiano. Essas concepções se apóiam na noção corrente no século XVII de conceber a geometria como ciência da extensão (e não mais da forma, como entre os gregos). Além disso, a conversão da geometria em linguagem própria à *res extensa* contém um aspecto epistêmico importante: mais do que ser a ciência das coisas extensas, a geometria é o modelo de ciência bem-sucedida, dada a simplicidade de seus fundamentos, modos de inferência e, acima de tudo, a certeza absoluta de suas conclusões por meio do fluxo dedutivo da verdade dos axiomas (obtidos, na perspectiva cartesiana, por intuição) para os teoremas (que devem corresponder às leis empíricas de domínio restrito).

No entanto, a matematização da natureza demandou a progressiva e agressiva oposição ao aristotelismo durante os aproximadamente 100 anos que mediaram a publicação do *De revolutionibus* (marco fundador da ciência moderna) de Copérnico e os *Princípios da Filosofia* de Descartes. Salientamos acima que a perspectiva lakatosiana supõe indiretamente que o sentido de um programa de pesquisa só é dado a partir de seu contexto crítico de competição com outros programas, o que nos reenvia a uma breve evocação do aristotelismo, programa anterior e rival ao cartesianismo.

Um dos aspectos centrais no nascimento da física clássica foi a re-interpretação radical das idéias relacionadas ao movimento. Tal re-interpretação envolveu uma miríade de aspectos dos quais nos centraremos em alguns, em nosso entender, mais relevantes. Há em primeiro lugar uma crítica epistêmica ao aristotelismo e sua interpretação dos fenômenos naturais associados ao movimento dos corpos. Seguindo Descartes:

Em contrapartida, não parecem proferir palavras mágicas, que têm uma força oculta e para além do alcance do espírito humano, os que dizem que o movimento, coisa conhecidíssima de todos, é o ato de ser em potência, enquanto está em potência? Quem compreende estas palavras? Quem ignora o que

é o movimento? E quem não confessaria que estes homens procuraram um nó num junco?

DESCARTES. *Regras para a direção do Espírito*; XII; pág. 79

A conceitualização do movimento e do repouso como estados da matéria, isto é, como propriedades fundamentais cuja existência se dá de maneira primeira e per si, não se ligando a propriedades estruturantes fundamentais do mundo, se opunha radicalmente à teoria aristotélica dos movimentos violentos, baseada na suposição de que o universo é organizado em lugares diferenciados (conferir por exemplo DESCARTES: *Do Mundo* e GALILEU: *Diálogos e Duas Novas Ciências*). Essa oposição e a conceitualização resultante foi o aspecto que permitiu o avanço da ciência em direção à mecânica racional.

Descartes e outros contribuíram decisivamente para o estabelecimento da idéia de que o repouso e o movimento uniforme em linha reta não demandam explicação, sendo, portanto, conceitos primitivos e fundamento das explicações dinâmicas. Movimento linear uniforme e repouso inserem-se no sistema do mundo como leis fundamentais, calcadas na imutabilidade divina³³.

Sucintamente, a crítica à concepção aristotélica sobre o movimento, um dos aspectos fundamentais do primeiro momento da revolução científica, de um lado repousava na crítica conceitual e, de outro, recorria a valores externos à prática científica (ontológicos, retóricos, etc) e, em um mesmo golpe, introduzia por meio da crítica uma nova concepção do que é a ciência e sua prática. Ainda seguindo Descartes, observa-se como essa passagem é sutil:

É preciso, pois, dizer que nunca se devem explicar as coisas por definição alguma desta espécie [def. movimento, acima citada], *não aconteça captarmos em vez do simples o composto*, mas que cada um as deve examinar separadas de tudo o mais, numa intuição atenta e segundo as luzes do seu espírito. [italico nosso]

DESCARTES. *Regras para a direção do Espírito* ; XII, pág. 79.

A nova concepção do movimento e do repouso se opõe não só à ortodoxia filosófica escolástica, mas também à experiência comum. Movimento e repouso não parecem alocar-se em uma mesma categoria segundo a apreensão do senso comum. Eles são qualitativamente distintos e o tipo de apreensão proposto pela ciência moderna implica um altíssimo nível de abstração. Um

³³ A justificação metafísica da 'lei' da inércia aparece em Descartes pela primeira vez no tratado da luz.

empirismo estrito possuía boas razões para negar uma tal formulação e, por implicação, negar a concepção de ciência da qual ela se deduz. Mas, e é o que aqui importa, a crítica entre diferentes programas de pesquisa, quando noções metodológicas e epistemológicas estão em questão, freqüentemente se distancia da negação absoluta da validade empírica da teoria rival, recorrendo, sobretudo, a críticas permeadas por elementos retóricos, tal como os qualifica GRANGER³⁴.

Seguindo KUHN (1977 [1989]; cap. 8), deve-se admitir que antes do intenso trabalho de mensuração e de construção de leis nomológicas para a atividade científica, prevalece um intenso trabalho qualitativo em que a crítica (qualitativa) e metodológica se sobressai, enquanto a crítica quantitativa é absurdamente controversa. Um exemplo interessante encontra-se na discussão que Galileu faz de sua lei da queda dos corpos, reconhecendo em suas *Dois Novas Ciências* que, em condições de experimentação, tanto a sua proposta quanto a aristotélica falham (a sua evidentemente era muito menos, portanto é de antemão mais digna de crédito). Em um registro de experimentação não controlada, tanto a lei aristotélica (os corpos caem com velocidades proporcionais aos seus pesos) quanto a lei galileana (o espaço percorrido é proporcional aos quadrados dos tempos – velocidade proporcional ao tempo) falham.

Galileu, que foi um dos filósofos naturais que mais avançou no âmbito da mensuração científica (THUILLIER :1988 [1994]) concede que ambas as teorias falham, (GALILEU: *Dois novas Ciências*), reconhecendo o papel indispensável à aproximação na construção dos modelos matemáticos dos fenômenos físicos. Mas, por fim, ele estabelece sua lei a partir de um processo de abstração e de indução que o leva a postular a veracidade de sua lei da queda dos corpos³⁵ na condição ideal do vácuo e, em um mesmo movimento lógico, explicar a falha da lei nas situações concretas não controladas e a razão final para a recusa da lei aristotélica (o que, do ponto de vista

³⁴ “Sem dúvida, esta preocupação em conservar uma espécie de cerimonial do pensamento compete, em parte, ao que denominaríamos uma retórica, e as relações a serem estabelecidas com o leitor.”(Granger:1968[1974]; pág. 36). É interessante notar que a passagem entre a crítica ao aristotelismo e a postulação dos novos referenciais metodológicos não recorre somente a razões de cunho científico, seja isto, o conceito aristotélico é criticado não somente via sua inadequação ao tratamento dos fenômenos conhecidos, mas também não se coaduna com a visão nascente do que é a boa prática científica (o que nomeamos a infra-estrutura conceitual), mas esta mesma infra-estrutura não recebe neste momento uma defesa rigorosa nem tampouco um tratamento crítico expressivo. A passagem entre a crítica e a postulação do novo referencial recorre de certo modo ao ‘apelo ao povo’; a justificação lógica e filosófica da nova ciência só vem tardiamente, o que leva ao reconhecimento de que, como empreendimento intelectual complexo que é, a ciência também comporta aspectos ideológicos em seu desenvolvimento, embora não se reduza, como querem alguns, a estes aspectos.

³⁵ A lei da queda dos corpos será essencial na construção do sistema de mundo dos *Principia*. A extensão da gravidade terrestre à Lua, em sua constatação matemática tal como proposta por Newton, utiliza indiretamente este resultado de Galileu.

epistemológico, corresponde ao princípio da melhor explicação, tal como formulado por Peter LIPTON, por exemplo). Em contrapartida, o processo utilizado por Galileu na justificação de sua lei introduziu elementos em si mesmos problemáticos do ponto de vista científico do período, como a existência atual do vácuo, duramente criticado pelos aristotélicos.

É um aspecto essencial da revolução científica o debate entre filósofos naturais ortodoxos e inovadores e a percepção de como este debate, em seu aspecto metodológico, é permeado por elementos retóricos que trazem em seu arcabouço toda uma concepção de ciência que se opunha ao aristotelismo de maneira capital. No entanto, como se tratava do estabelecimento dessa nova concepção de ciência e, dada a equivalência (inicialmente ao menos) empírica dos sistemas (FEYERABEND:1975 [1977]), a utilização de mecanismos retóricos no interior da discussão metodológica foi (e de fato deveria ter sido) uma constante nos autores do período. Retomando o exemplo acima exposto, a crítica à concepção aristotélica de movimento é precocemente estabelecida entre os filósofos inovadores. No entanto, a justificação da nova concepção (movimento e repouso como estados da matéria) só viria com Descartes por volta dos anos de 1640, bastante tardiamente.

Uma das características mais salientes do programa cartesiano de pesquisa, no âmbito da dinâmica, é a postulação da relatividade do movimento que, por seu turno, traz consigo a possibilidade de que um observador não consiga distinguir, a partir das impressões sensórias, o movimento ou o repouso de um corpo, a partir de seu referencial (tal como acontece no caso do movimento do globo terrestre). Dado isto, resulta necessário que as leis científicas sejam redutíveis à análise geométrica caso se objetive alcançar a verdade, na medida em que as características envolvidas no movimento relativo de vários corpos só podem ser tratadas, com algum efeito epistêmico real, pela descrição e caracterização matemáticas³⁶, e na medida em que são postos claramente os referenciais a partir dos quais os movimentos são descritos (procedimento este que pode ser abstraído e generalizado, possibilitando, por exemplo, a construção de algoritmos e fórmulas para a tradução de um resultado em diferentes referenciais).

A questão da avaliação do programa cartesiano agora desliza para o campo propriamente epistêmico-metodológico. Se a infra-estrutura da ciência está bem determinada pela perspectiva ontológica de um universo de causalidade mecânica, criado por um deus geômetra em um espaço euclidiano, funcionando segundo leis constantes, o passo natural é a interrogação sobre como

³⁶ Descartes, René: *Regras para a Direção do Espírito e El Mundo Tratado de la Luz*; Galileu, Galilei: *Diálogos Sobre os Dois Máximos Sistemas do Mundo e Duas Novas Ciências*.

conhecer este mundo e a preocupação adicional de que este como - o método - deve ser em última instância a autoridade final sobre a ciência. Retomando o que já foi dito acima, a questão do método foi um tema central aos filósofos da natureza do século XVII, por uma razão trivialmente simples: a partir de Copérnico, as observações e experimentações científicas devem ser corrigidas pela razão pois a experiência ingênua dos sentidos não capta as verdadeiras entidades e a estrutura do mundo; isso implica portanto um papel ativo do sujeito cognoscente sobre a realização da ciência, em oposição ao aristotelismo, que via na experiência imediata dos sentidos os fundamentos do conhecimento da natureza. Nesse sentido, o papel do sujeito cognoscente é o de procurar a verdade para além da aparência informada pelos sentidos. Em termos newtonianos (e isso aponta para o compartilhamento dessas concepções infra-teóricas entre Newton e os cartesianos):

Mas inferir os movimentos verdadeiros de suas causas, de seus efeitos e de suas diferenças aparentes, ou, inversamente, deduzir dos movimentos, quer verdadeiros quer aparentes, suas causas e efeitos, é o que se ensinará com mais particularidades nas páginas seguintes. É para esse fim que compus este trabalho.

NEWTON (1996). **Escólio às definições**, pág.30

A filosofia corpuscularista cartesiana se apóia em uma base metafísica bem definida. As substâncias extensas do mundo são em última análise compostas de partículas inobserváveis, logicamente dedutíveis a partir da investigação da natureza do criador. Assim, não é possível (provavelmente) ao homem uma observação direta das mesmas, embora sua existência, comportamento e leis de interação sejam bem determinados metafisicamente³⁷.

Isso de maneira alguma implica que a experiência desempenha um papel ativo na construção da ciência, mas não fundante (em outros termos, ela comparece no contexto da justificação mas não da criação). Neste sistema metodológico, a experiência é quem determina o grau de verossimilhança entre as teorias e a realidade, em última instância, quem determina a teoria a ser aceita. Obviamente, a estrutura lógica desta concepção de prática científica implica a adequação

³⁷ Conf. Descartes: *O mundo tratado da luz e Princípios da Filosofia*. Nestes textos fundamentais, a filosofia corpuscularista é deduzida metafisicamente na medida em que um universo composto unicamente de partículas em movimento e seus choques seria o mais simples e o mais matematicamente ordenado, portanto o único adequado ao poder e sabedoria de deus. As leis que regem estas partículas são também deduzidas metafisicamente, seguindo uma ordem de razões inexorável: a lei da inércia é deduzida a partir da imutabilidade da vontade de deus; as leis dos choques a partir da lei da inércia e da simplicidade matemática necessária a estrutura do mundo, e assim sucessivamente. A questão da investigação da divindade, prévia a ciência física, remonta ao *cogito*, e tangenciamos neste trabalho.

de qualquer hipótese aos primeiros princípios estabelecidos metafisicamente (no caso do programa cartesiano de pesquisa seu núcleo duro) e as conclusões deduzidas desta teoria devem ser adequadas como explicações dos fenômenos. A explicação pode ser entendida como a redução dos fenômenos às leis metafisicamente estabelecidas, a partir de conexões lógicas e geométricas, representativas dos mecanismos causais presentes.

No que concerne ao conceito de lei natural, a filosofia cartesiana é muito clara. Não existe, segundo aquela perspectiva, uma “intenção” ordenadora na natureza, um ‘cosmos’ ordenado. A passagem do caos à ordem se dá por leis mecânicas estabelecidas por deus na primeira criação e a própria criação mantida por um ato constante de sua vontade, que por ser divina deve ser imutável (dedução metafísica). Thomas MORE foi um dos primeiros filósofos a opor-se a esta perspectiva pois, segundo sua avaliação, a necessidade metafísica das leis naturais, tal como postuladas por Descartes, não diferiria em absoluto da fatalidade cega, incompatível com uma divindade cristã individual, tal como correntemente aceita pelos teólogos no século XVII e influente sobretudo na Inglaterra, onde esta concepção foi formulada detalhadamente pela teologia voluntarista.

Segundo esta doutrina, a vontade de deus é o atributo primeiro do qual emana a providência divina. Assim sendo, antes de mais nada, a criação se submete ao poder da *vontade de deus*, que não tem restrições (nem lógicas, nem metafísicas, nem de qualquer espécie), e esta vontade se substancializa pelo poder infinito de deus. As leis naturais, neste sentido, são ao mesmo tempo contingentes e necessárias. Contingentes na medida em que são fruto da vontade de Deus, e poderiam ser outras absolutamente distintas, tanto quanto podem ser alteradas ou aniquiladas a qualquer momento pela vontade que as criou e mantêm; necessárias porque fruto dessa vontade absoluta e mantidas por esta vontade absoluta. É evidente a oposição ao cartesianismo, e esta implica um relacionamento entre metafísica e ciência distintos do que fora formulado por Descartes.

A metafísica cartesiana se apresentava como uma disciplina racional, rigorosa, geometrizada, que pretendia incluir em suas longas cadeias de razões o cognoscível divino, humano e natural. O cogito apresentava-se como a chave e fundamento seguro para a ciência de todas as coisas, mas implicava a ruptura radical do universo entre as substâncias extensas e pensantes. Estes eram, essencialmente, os pilares metafísicos sobre os quais repousavam as demonstrações cartesianas ‘*a priori*’ sobre a lei de inércia e as leis do movimento. As explicações do sistema astronômico (apoiado nos turbilhões) e de todos os fenômenos naturais deviam se submeter à adequação a estes princípios metafísicos, codificados e sistematizados na obra prima cartesiana *Os*

Princípios da Filosofia. Ora, é flagrante que a ciência cartesiana é uma combinação peculiar do método dedutivo de Euclides (pelo menos a estrutura geral de sua prática) e de procedimentos de investigação metafísica que conjuntamente sedimentaram-se em um hipotético-dedutivismo.

É também claro que ainda que se insista no papel das matemáticas, ou melhor, do procedimento investigativo matemático para o conhecimento das coisas, a metafísica ainda é a raiz de todo o conhecimento possível. Não é sem razão que Descartes formula metaforicamente as relações entre metafísica e ciência na imagem da árvore do saber, onde as raízes são a metafísica, o tronco a física e os ramos as ciências particulares, a medicina, a moral e o direito. Essa metáfora implica que, sendo a metafísica a raiz das ciências, ela – a metafísica – é também uma ciência.

Em Inglaterra, o quadro se inverte. A metafísica, tradicionalmente, não era pensada como a primeira das ciências, mas o fruto da investigação empírica (perspectiva que consolidou-se através da teologia natural). Um dos autores a formular veementemente esta aversão à metafísica como ciência primeira foi BACON, e seus pronunciamentos ressoaram no ambiente científico inglês através dos séculos XVII e XVIII³⁸. Mas, e é o que importa momentaneamente, esta visão do relacionamento entre metafísica e ciência é formulada explicitamente por More no seu livro *Enchiridion Metaphysicum*, possivelmente conhecido por Newton. Nele afirma-se:

Chama-se metafísica aquela arte que é ensinada depois da física, como nobilíssimo fruto da filosofia. Com efeito, da mais acurada cognição da natureza ou mundo dos corpos podemos elevar-nos a um conhecimento suficientemente claro de Deus e das outras coisas incorpóreas.

(Citado a partir de CASINI: 1983 [1985], pág. 50)

É sobre este pano de fundo que se pode melhor compreender a insistência de Newton no método indutivo nas ciências. Um aspecto extra-científico (axiológico ou, se se quiser, ideológico), ligado à ideologia corrente em relação à prática científica - inglesa em especial -, é afirmado explicitamente no *Escólio Geral* dos *Principia* na segunda edição, e também está presente nas cartas a BENTLEY: a demonstração da existência do criador por meio do conhecimento da natureza, como já mencionado acima (cap. 2):

“Quando escrevi meu tratado sobre nosso sistema (os *Principia*), tinha o olhar voltado para princípios que pudessem funcionar considerando a crença dos

³⁸ A Royal Society, fundada em 1663 reivindicava Bacon como um de seus patronos, tanto como todos os grandes cientistas ingleses, de Boyle a Newton. Isso obviamente não quer dizer que se seguissem os preceitos metodológicos do indutivismo baconiano, muito pelo contrário. Mas as máximas orientando a investigação empírica da natureza e da aversão à metafísica permaneceram e foram influentes no ambiente científico inglês.

homens numa divindade, e nada me dá maior júbilo do que constatá-lo útil para esse fim. (...) Por último, não vejo nada de extraordinário na inclinação do eixo da terra para comprovar a existência de Deus, a menos que se insista nela como uma invenção para criar o inverno e o verão e para tornar a terra habitável nas proximidades dos pólos, e as rotações diurnas do Sol e dos planetas, como dificilmente poderiam decorrer de uma causa puramente mecânica, parecem, por serem todas determinadas da mesma maneira, com movimentos anuais e mensais, compor a harmonia do sistema, que (como expliquei acima) foi efeito de uma escolha, e não do acaso.”

CARTAS A BENTLEY in Cohen, I.B. & Westfall, R. S. (1995[2002]), pp.400, 403, 404.

Assim, como afirmado acima, a abordagem cartesiana das relações entre metafísica e filosofia natural migra para a Grã-Bretanha, mas é incorporada criticamente neste ambiente intelectual. Como havíamos afirmado no capítulo 1, em Newton essas relações são rechaçadas, pelo menos no que se refere à independência dos modelos científicos em relação às suposições metafísicas. São, sob a ótica de Newton, âmbitos autônomos e distintos, sendo a relação de prioridade (em particular no que concerne à ontologia) da ciência em relação à metafísica. A metafísica é a ciência final, totalizante, que deve provir dos resultados do progresso seguro das ciências, fundadas na observação rigorosa. Entre a metafísica e as ciências empíricas existe um fosso de inteligibilidade e possibilidade de representação, dado que o conhecimento metafísico aproxima a ciência humana da divindade. É necessário, segundo a perspectiva corrente na filosofia inglesa – e aceita por Newton – um imenso esforço antes da possibilidade de qualquer pretensão à metafísica.

Se é uma questão de fato que o cartesianismo e seu programa de investigação natural dominaram o panorama científico e filosófico no continente, a filosofia natural praticada na Inglaterra na segunda metade do século XVII se compunha de uma variedade maior de perspectivas as quais se estruturaram em um programa de pesquisa completo e poderoso com a publicação dos *Principia*.

Capítulo 4

Ontogênese da mecânica racional newtoniana: as leis dinâmicas newtonianas como núcleo duro do programa

Visto que os antigos (como nos conta Pappus) deram muitíssima importância à mecânica na investigação das coisas naturais, e os modernos, rejeitando as formas substanciais e as qualidades ocultas, empenharam-se por submeter os fenômenos da natureza às leis da matemática, procurei desenvolver a esta no presente tratado, enquanto ela se refere a filosofia.

(...) Nesse sentido a mecânica racional será a ciência dos movimentos que resultam de quaisquer forças, e das forças exigidas para produzir esses movimentos, propostas e demonstradas com exatidão. Essa parte da mecânica foi cultivada pelos antigos nas cinco potências relativas às artes manuais. Eles consideraram a gravidade (que não é um poder manual) apenas no mover os pesos por esses poderes. Nós, porém, cuidando não das artes mas da filosofia, e não das potências manuais mas das naturais, tratamos sobretudo no que se refere a gravidade, leveza, força elástica, resistência dos fluidos e forças semelhantes, atrativas ou impulsivas; e, por conseguinte, apresento esta obra como os Princípios matemáticos da Filosofia.

NEWTON (1996). **Prefácio ao leitor** ; 1º edição.

A proposta desta monografia é realizar um “estudo de caso”, uma “reconstrução racional” historiográfica do surgimento da mecânica racional newtoniana e da revolução científica por ela motivada apoiando-nos, filosoficamente (isto é, metodologicamente), na perspectiva de Imre Lakatos, codificada em sua “metodologia dos programas de pesquisa científica”. Os primeiros capítulos tentaram apresentar, por um lado, o referencial metodológico, ou melhor, a interpretação aqui utilizada dos conceitos metodológicos de Lakatos e sua aplicabilidade ao estudo da história da ciência, e, por outro, uma primeira aproximação da mecânica racional newtoniana, tanto pela revisão da literatura de Lakatos sobre o tema, como por sua contextualização histórica.

Há entretanto uma diferença capital entre o estudo de caso que se pretende apresentar e o corpus de estudos orientados pela metodologia dos programas de pesquisa. O cerne da análise proposta é a investigação do surgimento do núcleo duro da mecânica racional newtoniana, tal como

se apresentou na obra que a instituiu como programa de pesquisa, qual seja, nos *Principia*. Houve ensaios preliminares à obra seminal de Newton, que continham aspectos importantes daquilo que viria a se consolidar com os *Principia*, mas estes ensaios não apresentavam os caracteres essenciais de um programa de pesquisa, tal como formulados por Lakatos, em particular um núcleo duro bem definido e uma heurística positiva (as leis do movimento, em particular, ainda estavam em processo de criação e consolidação nos trabalhos sobre mecânica de Newton).

O aspecto que justifica este trabalho como um esforço investigativo, e de certo modo o afasta dos estudos historiográficos produzidos segundo os referenciais de racionalidade científica propostos pela metodologia dos programas de pesquisa de Lakatos, e que são os modelos que nos orientaram em nossa pesquisa³⁹, é que a análise historiográfica que propomos atenta antes à formação e recepção do núcleo duro do programa newtoniano, que pensamos ser corretamente nomeado programa newtoniano de mecânica racional. Esse ponto merece uma especial atenção.

Os estudos reunidos nos mencionados livros atentam sobretudo para o desenvolvimento do programa a partir da observação de sua heurística positiva. É sensível o desequilíbrio, nos acima mencionados estudos historiográficos, da atenção despendida entre a análise do núcleo duro de um programa de pesquisa particular e sua heurística positiva, corporificada na análise historiográfica pelas transferências positivas ou degenerativas de problemas e pela descoberta ou não de fatos novos. A métrica mais ingênua para esse desequilíbrio, o número de páginas dedicadas a cada tema, já é um indicativo significativo: no ensaio *O falseacionismo e a metodologia dos programas de pesquisa científica*, são menos de três páginas dedicadas a esse conceito que, segundo Lakatos, representa o elemento de caracterização de um programa.

Nos ensaios historiográficos, o quadro não se altera substancialmente. É nesse sentido que a caracterização do núcleo duro nos ensaios historiográficos realizados sob o patrocínio da metodologia dos programas de pesquisa no parece apresentar-se como uma “variável exógena”, isto é, como uma variável dada, sem muito a ser debatido porque óbvia. Essa pretensa obviedade, ou exogeneidade, do elemento de identificação dos programas de pesquisa nos estudos historiográficos realizados, talvez justifique a afirmação de FEYERABEND (1975[1977]) de que a historiografia baseada nos critérios de racionalidade da metodologia lakatosiana soa como um conto de fadas.

³⁹ Reunidos, essencialmente, em *Method and appraisal in the physical sciences*, organizado por Colin HOWSON e alguns estudos em *Boston studies in the philosophy of science*, volume 111, *Imre Lakatos and theories of scientific change* editado por Kostas GAVROGLU, Yorgos GOUDAROULIS e Pantelis NICOLACOPOULOS.

De fato, o surgimento de um programa de pesquisa é um evento problemático que envolve não só a criação científica, mas também a sua justificação face aos referenciais de racionalidade (a clássica oposição entre contexto da descoberta e da justificação), inteligibilidade e empiricidade de seu tempo, demandando naturalmente um esforço mais elaborado em sua compreensão e descrição. Esse esforço, no entanto, se pretende preservar o essencial da teoria da racionalidade de Lakatos, deve se orientar para a análise do nascimento de um programa, por meio não só da metodológica das hipóteses que consolidam o núcleo do programa, mas também sua análise epistemológica.

É essa mudança de perspectiva que é proposta. Mudança que não desconsidera os estudos realizados, que enfatizaram o componente heurístico, mas nota que é possível e interessante uma análise complementar, a do surgimento e consolidação do programa por meio da análise detida de seu núcleo duro. Em certo sentido, a pesquisa que realizamos se desdobra a partir da nota 163 (mencionada edição) do ensaio *O falseacionismo e a metodologia dos programas de pesquisa científica* que afirma:

O núcleo real de um programa de pesquisa não emerge, na realidade, completamente armado – como Atenas da cabeça de Zeus. Desenvolve-se aos poucos, por um longo processo preliminar de ensaio e erro. Neste ensaio não se discute o citado processo.

Esse processo de formação do núcleo duro de um programa é aparentemente, entretanto, mais do que ensaio e erro, mas envolve uma estrutura fina mais complexa cuja formulação filosófica nos parece merecer um maior desenvolvimento, cujas referências básicas se tentarão explicitar, ainda que sem uma estrutura filosófica mais rigorosa, no texto a seguir.

Como mencionamos, a formação do núcleo duro de um programa de pesquisa envolve não só a criação científica (que pode ser investigada social, psicológica ou epistemologicamente), mas também sua justificação (aqui envolvendo elementos epistemológicos). Além destes temas fundamentais na análise historiográfica, destaca-se um terceiro, que, segundo os referenciais metodológicos da filosofia lakatosiana, a afirmação de que certo corpo teórico constitui um programa de pesquisa: sua recepção por outros investigadores. Essa é uma consequência necessária para que a afirmação de que uma proposta teórica constitua definitivamente um programa de pesquisa. Essas questões constituíram o cerne de nosso esforço.

Do ponto de vista da construção do argumento no texto, nos pareceu razoável importar dois conceitos da filosofia da matemática de Lakatos, oriundos de sua tentativa de compreensão da racionalidade matemática como processo histórico: filogênese e ontogênese. A filogênese, enquanto

conceito historiográfico representa as associações que o novo corpo teórico estabelece com a prática científica estabelecida, ao passo que a ontogênese representa o funcionamento particular dos conceitos dentro do sistema. Focamos nossa atenção, como mencionamos no capítulo 1, sobretudo sob esse segundo aspecto, que constitui o mecanismo fundamental de uma análise histórica ‘internalista’ (isto é, voltada para a constituição e mudança dos conceitos em detrimento de outros fatores presentes no desenvolvimento científico) e em particular em relação ao conceito de força, central para a dinâmica racional newtoniana. Face a este arcabouço, é possível interpretar os elementos fundamentais que levaram à consolidação da mecânica racional newtoniana.

4.1 Os *Principia* como um programa

A marca distintiva da inovação científica na obra de Newton foi a introdução em seu programa de pesquisa de uma nova peça à ontologia científica, que implicou uma *remodelação* radical do mecanicismo então vigente. Isso significava, em primeiro lugar, que os padrões de investigação científica newtoniano *são* tipicamente mecanicistas; inclusive o autor dos *Principia* assume esta filiação intelectual em alguns escólios da obra (seção 11 livro I e principalmente no *escólio geral*) e indiretamente na sua concepção de qualidades primárias e secundárias, que segue de perto a perspectiva mecanicista (*escólio geral; Do peso e equilíbrio dos Fluidos*). No entanto, seu mecanicismo é seguramente não estrito: a noção de força, conceito central da mecânica racional newtoniana, não se adequava aos cânones de entidades explicativas do cartesianismo - isso porque a noção de força nem sempre era submissível a um “quadro pictórico” de choques entre partículas, que era o requisito explicativo básico do mecanicismo estrito vigente.

Esse modelo de explicação sem recurso ao ‘choquismo’ de versões estritas do mecanicismo é que motivará as polêmicas sobre a metodologia newtoniana e a pretensa re-introdução das qualidades ocultas na física. É importante observar que a noção de explicação é bastante distinta entre cartesianos e newtonianos, exatamente por causa da introdução desta entidade explicativa nova. Para Newton, explicar é reduzir as leis empíricas de baixo nível a princípios mais gerais, tal como a redução das leis de Kepler à lei da gravitação. Essa redução significa que as leis do movimento e da gravitação permitem encontrar dedutivamente soluções para o movimento

planetário (e para o movimento local) que são equivalentes às leis de Kepler, embora as leis de Newton permitam interpretá-las causalmente e as corrigir, face ao princípio de gravitação universal.

Em segundo lugar, Newton introduz a noção de 'massa' de um corpo, que codifica matematicamente a idéia vaga de 'matéria' e a distingue do conceito de 'peso'. Esses conceitos e as relações entre eles eram bastante confusos nas obras anteriores, até sua formulação pelo programa newtoniano. As distinções propostas permitiram a Newton a própria conceitualização da idéia de força como conceito da mecânica, sem a intervenção de noções animísticas e antropomórficas, correntes no tratamento filosófico do termo durante a idade média e início da era moderna.

A noção de força na ontologia científica newtoniana, seja esta, a perspectiva de que este conceito é uma entidade explicativa - particularmente, segundo a heurística do programa, a noção explicativa fundamental - introduz também um requisito metodológico de investigação que passa a ser central ou, nos termos da metodologia dos programas de pesquisa, sua heurística positiva. Veja-se a afirmativa de Newton:

Com efeito, a dificuldade precípua da filosofia parece consistir em que se investiguem, a partir dos fenômenos do movimento, as forças da natureza, demonstrando-se a seguir, por meio dessas forças, os outros fenômenos. A isso se destinam as proposições gerais do primeiro e segundo livros. No terceiro, dou um exemplo disso por meio da explicação do sistema mundano. (...) Oxalá pudéssemos também derivar os outros fenômenos da natureza dos princípios mecânicos, por meio do mesmo gênero de argumentos, porque muitas razões me levam a suspeitar que todos esses fenômenos podem depender de certas forças pelas quais as partículas dos corpos, por causas ainda desconhecidas, ou se impelem mutuamente, juntando-se segundo figuras regulares, ou são repelidas e retrocedem umas em relação às outras. Ignorando essas forças, os filósofos tentaram em vão até agora a pesquisa da natureza. Espero, no entanto, que os princípios aqui estabelecidos tragam alguma luz sobre esse ponto ou sobre algum método melhor de filosofar.

NEWTON (1996). **Prefácio ao leitor**, 1ª edição, pág. 18.

Metodologicamente, a introdução da noção de força no estoque de entidades científicas vinha acompanhada pela perspectiva de que este conceito apresentava-se como ferramenta explicativa central para a mecânica. No trecho citado, subjaz a impressão de que Newton trata a idéia de força sob uma ótica ontológica efetiva: as forças parecem ser interpretadas como entidades *per se*. Este é um aspecto polêmico da obra e, embora essa impressão de uma abordagem ontológica do conceito (seja isto, “força” como entidade física particular) seja ‘corroborada’ por algumas passagens importantes, como a que transcrevemos, existem outras passagens igualmente

importantes que negam a realidade efetiva às forças, sendo pensadas estas como construtos matemáticos ou relações matemáticas dependentes de um mecanismo causal ainda não conhecido (possivelmente mecânico). Tome-se, por exemplo, o já mencionado escólio à seção 11 do livro I:

Aqui emprego a palavra *atração* em sentido geral, para qualquer esforço feito por corpos para se aproximarem uns dos outros, seja esse esforço oriundo da ação dos próprios, como quando tendem uns para os outros ou se agitam uns aos outros por influências emitidas; ou decorra da ação do éter ou do ar, ou de qualquer que seja o meio, corpóreo ou incorpóreo, impelindo corpos ali localizados, de alguma maneira, uns em direção aos outros. No mesmo sentido geral, emprego a palavra impulso, sem definir, neste tratado, as naturezas ou qualidades físicas das forças, mas investigando suas quantidades em proporções matemáticas, como observei anteriormente nas Definições. Em matemática, devemos investigar as quantidades das forças com suas proporções conseqüentes sob quaisquer condições supostas; então, quando considerarmos a física, comparamos essas proporções com os fenômenos da Natureza, através do que pudemos conhecer que condições dessas forças correspondem aos vários tipos de corpos atrativos.

NEWTON (1996). *Principia*; escólio à seção 11; livro I .

(grifo nosso)

O que de fato se pode assegurar, no âmbito da concatenação de proposições nos *Principia*, é de que a investigação científica, segundo a concepção newtoniana nesta obra, deve ser pautada prioritariamente pela procura das forças, matematicamente descritas, da natureza. A investigação filosófica dessas forças, ou seja, em relação ao mecanismo causal das mesmas, é um segundo passo que deve, necessariamente, se submeter aos resultados matemáticos prévios. É sem dúvida nesse sentido que Newton afirma no Escólio Geral que:

Até aqui, explicamos os fenômenos dos céus e de nosso mar pelo poder da gravidade, mas ainda não designamos a causa desse poder. (...) E para nós é suficiente que a gravidade realmente exista, aja de acordo com as leis que explicamos e que sirva abundantemente para considerar todos os movimentos dos corpos celestes e de nosso mar.

NEWTON. *Principia*; Escólio Geral; livro III.

Isso, mais do que significar um requisito metodológico particular, pressupõe a idéia de que o conceito de força deve, ou pelo menos pode, em princípio, ser estendido a outros domínios de investigação, sendo, portanto, um modelo geral de solução de problemas. Nesse sentido, os *Principia* de fato incorporam esse caráter referencial para a solução de problemas que Kuhn nomeia

paradigma, ou melhor, exemplar e, é também nesse sentido que ele pode ser compreendido como um programa de pesquisa de teoria dinâmica. O sucesso dos *Principia* e, particularmente, a utilização dele como modelo de prática científica (virá mesmo a constituir o que podemos pensar como a nova ortodoxia científica no século XVIII) associa-se intimamente à proliferação, no âmbito das diferentes ciências e em particular no âmbito das ciências biológicas da noção de força (vital, por exemplo) ⁴⁰. Metodologicamente, a idéia de que as principais entidades científicas são forças corporifica uma perspectiva ontológica em que toda a natureza está permeada (e portanto pode ser investigada através da pesquisa) por forças naturais.

Pode-se considerar, então, que a heurística do projeto científico newtoniano encontra-se na perspectiva de que todas as proposições explicativas acerca da natureza devem se pautar pela idéia de força e de que as leis básicas de seu programa são as três leis do movimento, que articulam o conceito de força em suas instâncias fundamentais. A idéia de gravitação se configura no sistema como um conceito derivado. Isso por sua vez demanda considerações sobre a estruturação lógica, epistemológica e conceitual acerca das leis do movimento. Podemos afirmar que se a heurística positiva corresponde ao motor do progresso de um programa de pesquisa bem-sucedido, o núcleo duro corresponde às engrenagens básicas, na medida que este articula o programa de pesquisa de

⁴⁰ Nesse sentido, podemos tecer alguns comentários relativos à perspectiva historiográfica e filosófica kuhniana e suas relações com nossa interpretação no que concerne aos paradigmas. Se tomarmos o conceito de paradigma sob a interpretação de modelo de solução de problemas ou simplesmente exemplares, como parece apontar suas reflexões em suas “Reconsiderações acerca dos paradigmas” (Kuhn:1977[1989]; pp. 353 e ss), a teoria dinâmica newtoniana codificada nos *Principia* tem o paradoxal papel de articular-se sobre um modelo paradigmático no sentido proposto- a geometria euclidiana e o método analítico-sintético- e de apresentar os aspectos centrais de formação de paradigma, seja isto, leis gerais e âmbito irrestrito de aplicação (em princípio). Por outro lado, o que geralmente se toma como paradigma newtoniano, centrado na análise dinâmica da natureza, valendo-se do cálculo, etc. consolida-se muito posteriormente no Iluminismo, fruto de uma associação “ímpia” entre o cálculo diferencial e integral leibniziano e os métodos e leis dos *Principia*, particularmente estabelecido a partir dos trabalhos de d’Alembert, Poisson e fundamentalmente, Laplace. Ao que nos parece, a transição entre a prática científica vigente no século XVII, estabelecida com base nas teorias cartesianas, e o newtonianismo, não foi tão abrupta quanto os iluministas quiseram dar a entender sendo que, no início do século XVIII, os grandes campeões da ciência estavam no continente, sendo Leibniz e Huygens seus expoentes. Seguindo a perspectiva de Lakatos, as teorias competiram e coexistiram durante um tempo considerável, até que a superioridade do programa newtoniano viesse a tornar-se clara e, mesmo assim, podemos divisar uma interação dialética entre os programas em competição na medida em que, como dissemos, ainda que a aliança entre o cálculo diferencial de Leibniz e as leis e métodos dos *Principia* provavelmente pudessem aparecer aos seus respectivos formuladores como uma aliança ímpia, de fato, ela se realizou e consolidou um dos programas científicos mais poderosos que se tem notícia. Por outro lado, essa interação, ao que nos parece, corrobora a concepção de uma objetividade científica, isto é, as determinações que se articulam na consolidação de um programa de pesquisa fogem ao escopo de seus “criadores”, sendo realizadas a partir da interação entre elementos teóricos disponíveis (teorias matemáticas, por exemplo) e experimentais/observacionais (conhecimento de certos fatos, instrumental de experimentação e mensuração, etc.). Pensando a partir da perspectiva lakatosiana, o programa de pesquisa newtoniano de filosofia natural se mostrou progressivo enquanto o mecanicismo clássico declinou (mesmo a abordagem bastante particular de Leibniz), findando por dominar o quadro científico até o século XIX, quando novos problemas e, principalmente, o surgimento das teorias eletrodinâmicas e termodinâmicas reacenderam o debate sobre quais entidades seriam fundamentais, quais das teorias em voga seriam as mais fundamentais, etc.

uma maneira fundamental. É a partir do núcleo duro que os elementos da heurística positiva e do cinto de proteção podem implicar no desenvolvimento do programa.

4.2 As leis do movimento: o núcleo duro da mecânica racional newtoniana

A questão dos princípios fundamentais da ciência encontrava-se latente a partir da sistematização filosófica da nova ciência nos *Princípios da Filosofia* de Descartes e talvez antes. Seguindo um modelo de racionalidade tal como o da geometria, codificado a partir do método de análise e síntese, a idéia de procurar primeiros princípios cada vez mais compreensivos da natureza, o que, efetivamente, corresponderia a leis gerais que governariam o comportamento das parcelas maiores da realidade física, era não só natural como evidente. A procura por leis válidas para todos os domínios da natureza, de modo tal que o universo pudesse ser compreendido e adequadamente descrito via a formulação de conceitos físicos em linguagem matemática, se tornou a seara da atividade científica teórica no final do século XVII e início do XVIII. Newton as encontrou com seus axiomas ou leis do movimento.

As leis do movimento newtoniano (*Axiomata sive leges motus*) são propostas como a solução definitiva em relação a quais princípios adotar na ciência do movimento, ou melhor, na mecânica racional. Nesse sentido, cabe ressaltar que a lei da gravitação não se encontra em um mesmo nível epistêmico em relação às leis do movimento, sendo estas últimas primárias e aquela uma dedução realizada a partir das primeiras e de certos fenômenos, encarados como suporte epistêmico. Há um movimento conceitual e epistêmico que leva das leis dinâmicas às leis da gravitação universal, movimento que é progressivo e de um âmbito geral (as condições gerais de movimento dos corpos, que são as leis ou axiomas do movimento) para uma força particular (talvez a mais importante para a ciência da época).

Nesse sentido, mantendo os conceitos da metodologia dos programas de pesquisa científica e as afirmações de Lakatos sobre o programa newtoniano de pesquisa, propõe-se uma pequena distinção entre as leis do movimento e a lei da gravitação universal. Essa distinção funda-se, evidentemente, na aceitação da distinção entre o contexto da descoberta e da justificação pois, se a teoria gravitacional e as leis dinâmicas dos *Principia* distinguem-se, programaticamente, pela

generalidade que abarcam, tal como é inferido por uma leitura baseada em sua apresentação nos *Principia*, provieram ambas das investigações de Newton sobre o movimento lunar, mais precisamente de sua hipótese de que a gravidade terrestre alcançaria a Lua e funcionaria como o agente da força central que manteria seu movimento orbital.

O programa de pesquisa da mecânica racional encontra-se formulado no livro 1 dos *Principia*. A teoria da gravitação, uma das conseqüências (necessárias) do desenvolvimento proposto por Newton da mecânica racional pode ser pensada como um sub-programa, apresentando questões específicas em relação à abordagem geral do livro 1. Em certo sentido, a teoria gravitacional de Newton é um caso particular de sua mecânica racional, não sendo objetável que esta última foi construída, nos *Principia*, com a finalidade de subsidiar aquela. A ontogênese do programa newtoniano de pesquisa parece envolver esta distinção. A mecânica racional trata de uma variedade imensa de problemas e subsumi-la à teoria gravitacional é injustificável.

Por outro lado, impor a lei da gravitação aos seguidores da mecânica racional newtoniana é um engano igualmente injustificável. Como exemplo notável, pode-se divisar, um século mais tarde, sob a tutela da obra newtoniana, por um lado a mecânica analítica de Lagrange, fortemente associada a problemas mecânicos gerais e, por outro, o *Sistema de Mundo* de Laplace, cujo apoio é a lei da gravitação, fora as diferentes teorias gravitacionais correntes no século XVIII, que aceitavam, não raro, os princípios dinâmicos newtonianos (DUGAS, 1955/1988). É evidente que o sub-programa da gravitação não raro importa as leis fundamentais da dinâmica para a resolução de problemas particulares, mas é notável que a mecânica racional newtoniana é um programa de pesquisa muito mais geral. O desenvolvimento deste capítulo tentará fornecer subsídios suficientes para corroborar tal distinção e mostrar sua validade dentro do referencial epistemológico lakatosiano.

No escólio às leis do movimento Newton afirma que:

Até aqui, estabeleci tais princípios da forma como foram aceitos pelos matemáticos e confirmados por um grande número de experimentos. Pelas primeiras duas Leis e pelos primeiros Corolários, Galileu descobriu que a queda dos corpos variava com o quadrado do tempo (*in duplicata ratione temporis*) e que o movimento dos projéteis estava na curva de uma parábola; a experiência confirma ambos, a não ser enquanto esses movimentos são um pouco desacelerados pela resistência do ar.

NEWTON (1996). **Escólio às Leis**, pág. 39.

Como mencionado nos capítulos anteriores, Newton realiza todo um esforço epistemológico para justificar seus axiomas do movimento, criando uma nova axiologia e metodologia científicas. Assim sendo, os axiomas do movimento não são auto-evidentes segundo o autor dos *Principia*, mas pretende-se que sejam justificados pela base empírica disponível. A pretensa axiomática da mecânica, que se esperaria encontrar nos *Principia* (DIJKSTERHUIS, E.J., 1986) de fato não existe ou, pelo menos, não nos termos em que as axiomatizações são pensadas a partir da segunda metade do século XIX (mesmo porque, em termos axiomáticos, a lei da inércia seria um caso particular da segunda lei para $F = 0$, logo seria um desperdício enunciar ambas em um sistema axiomático consistente). As leis do movimento serão, mais precisamente, pensadas como limitantes dos sucessivos modelos do programa de pesquisa. Esse caráter limitante das leis do movimento é exatamente o que as caracteriza como núcleo duro do programa da mecânica racional newtoniana. Elas são as condições do movimento possível.

A primeira preocupação é, contudo, sua credibilidade frente aos matemáticos, o que significa que em princípio alcançou-se o objetivo teórico de descobrir leis gerais das quais se deduzem as leis empíricas particulares conhecidas (ou antes, suas representações matemáticas). Basicamente, isso se faz nas seções II e III dos *Principia*. Como ilustração do imperativo de apresentar leis matemáticas que podem ser aplicadas à investigação natural, vejam-se como são apresentados os dois primeiros axiomas do movimento:

Lei I: Todo corpo permanece em seu estado de repouso ou de movimento uniforme em linha reta, a menos que seja obrigado a mudar seu estado por forças impressas nele.

Os projéteis permanecem em seus movimentos enquanto não forem retardados pela resistência do ar e impelidos para baixo pela força da gravidade. Uma roda, cujas partes, por coesão, desviam continuamente dos movimentos retilíneos, não cessa de rodar senão enquanto é retardada pelo ar. Mas os corpos maiores que são os planetas e os cometas conservam por mais tempo seus movimentos, tanto os progressivos como os circulares, por causa da menor resistência dos espaços.

Lei II: A mudança do movimento é proporcional à força motriz impressa, e se faz segundo a linha reta pela qual se imprime essa força.

Se toda a força produz algum movimento, uma força dupla produzirá um movimento duplo e uma tripla um triplo, quer essa força se imprima de uma só vez, quer seja impressa gradual e sucessivamente. E esse movimento, por ser sempre orientado na mesma direção que a força geratriz, se o corpo se movia antes, ou se acrescenta ao seu movimento, caso concorde com ele, ou se subtrai dele, caso

lhe seja contrário, ou, sendo oblíquo, ajunta-se-lhe obliquamente, compondo-se com ele segundo a determinação de ambos.

4.3 Lei da inércia

O primeiro axioma apresentado por Newton como fundamento da dinâmica, fruto de um longo desenvolvimento conceitual que caracterizou intimamente o conjunto da revolução na ciência do século XVII, é a conhecida lei de inércia. A centralidade deste conceito para a nova física pode ser demonstrada facilmente: assegurando que na ausência de forças externas um corpo em repouso continuará em repouso e um em movimento uniforme continuará se movendo uniformemente sobre uma linha reta, a física inercial – em particular nos *Principia* – implica como conseqüência a necessidade de uma força para produzir o movimento circular dos planetas. Com o avanço da investigação teórica, tal necessidade encontra uma hipótese particularmente instigante, com a proposição de que a força gravitacional terrestre atingiria a Lua e seria o agente causal da manutenção da órbita deste satélite.

Os desenvolvimentos filosóficos anteriores, em particular, a abolição das esferas celestes e a supressão da distinção mundo supra-lunar e infra-lunar compuseram os fundamentos utilizados nos *Principia*. Isso pode ser comprovado tendo em vista a proposição 3 do livro *O Sistema do Mundo*⁴¹, onde a passagem da gravidade como força local para a gravidade como uma força dinâmica celeste se dá via a abstração. De certo modo, Newton mostra que a lei do movimento dos projéteis de Galileu no limite leva ao movimento orbital de um satélite, satisfeitas certas condições. A lei de queda dos corpos e as investigações balísticas de Galileu são então passos preliminares e fundamentais para a compreensão da dinâmica do sistema solar e do argumento de Newton na defesa da gravitação universal.

Uma segunda conseqüência direta da lei é a implicação de uma igualdade epistêmica entre movimento e repouso. Como já exposto acima, na física aristotélica, movimento e repouso eram conceitos antitéticos absolutos; na nova física eram estados equivalentes, em que a manutenção do

⁴¹ O *Sistema do Mundo* é um livro contendo o essencial do livro III dos *Principia*, sem recorrer ao tratamento matemático presente neste. Seria um livro de popularização das idéias de Newton, sem, no entanto, chegar a ser publicado com qualquer das edições dos *Principia*.

mesmo não requeria a ação de nenhum agente. Mais precisamente, na física aristotélica subjazia a necessidade de um motor externo constante para o movimento, que proveria força ao corpo para manter seu movimento contra a tendência natural do mesmo ao repouso. De certo modo a diferença entre as concepções aristotélicas e a moderna física inercial consistiria na diferença entre uma interpretação do movimento como processo e de movimento como estado, o primeiro demandando um motor a todo movimento, o segundo dispensando forças externas para o movimento retilíneo uniforme.

Formalmente, os *Principia*, seguindo o modelo geométrico de exposição, começam com uma série de definições, as quais são seguidas pelos axiomas ou leis do movimento, que servem de fundamento aos livros I, II e III. As primeiras duas definições especificam a quantidade de matéria e a quantidade de movimento, respectivamente o conceito de massa (m) e o conceito modernamente nomeado de momento linear ou quantidade de movimento ($m.v$). É na terceira definição que Newton trata da inércia, pensada por ele como *vis insita*. Esse conceito é central na física clássica, precisamente o conceito que permite o surgimento da mecânica. Seguindo sua definição:

Definição III: A força inata (ínsita) da matéria é um poder de resistir pelo qual cada corpo, enquanto depende dele, persevera em seu estado, seja de descanso, seja de movimento uniforme em linha reta.

A aproximação desta definição com a concepção cartesiana é bastante significativa, sugerindo a centralidade da concepção de inércia da matéria para os diferentes programas de pesquisa:

A Primeira (Lei da natureza) é: cada parte da matéria em particular permanece sempre em um mesmo estado, a menos que o encontro com outras a obrigue a mudar.

DESCARTES. **El Mundo**; pág. 111 (tradução nossa).

O mesmo é reafirmado nos *Princípios da Filosofia*, nos artigos 36, 37 e 39 da segunda parte:

“36. Deus é a causa primeira do movimento, e ele conserva sempre igual quantidade [de movimento] no universo.”

“37. A primeira lei da natureza : que cada coisa permanece no estado em que ela está, enquanto nada a muda.”

“39. A segunda lei da natureza : que todo corpo que se move, tende a continuar seu movimento em linha reta.”

Esses elementos apontam indícios de uma relação direta entre o conceito de inércia na filosofia natural de Descartes e nos *Principia* de Newton. Descartes afirma, com clareza, e Newton o seguirá, que o movimento que ocorre naturalmente é aquele que não resulta da aplicação de uma força externa e que, portanto, persevera em seu estado por um ‘poder’ interno de resistir à mudança. O passo fundamental de Newton foi reconhecer que este ‘poder’ ou ‘força’ de inércia é sempre diretamente proporcional a outra grandeza (e por tanto esta última lhe serve como representante para o tratamento científico - ou *próxy* do conceito) conceitualizada pelos *Principia*: a quantidade de matéria ou massa, como se constata na explicação da definição:

Essa força é sempre proporcional a seu corpo, e não difere da inércia da massa senão no nosso modo de conceber. É pela inércia da massa que todo corpo dificilmente sai de seu estado de descanso ou de movimento. Logo, a força inata pode ser chamada pelo nome muito sugestivo de força de inércia. Mas um corpo só exerce essa força quando da mutação de seu estado por outra força impressa em si; e o exercício dessa força pode ser considerado sobre o duplo aspecto de resistência e de ímpeto: resistência, enquanto para conservar o seu estado, o corpo se opõe à força impressa; ímpeto, enquanto o corpo, dificilmente cedendo à força do obstáculo oposto, esforça-se por mudar o estado deste. Atribui-se usualmente a resistência aos corpos em repouso, e o ímpeto aos que se movem, mas o movimento e o descanso, enquanto concebidos pelo vulgo, apenas se distinguem relativamente um do outro, nem se acham sempre em repouso os corpos que o vulgo considera parados.

NEWTON (1996). **Definições**, pág. 21.

A insuficiência do mecanicismo estrito cartesiano (ou pelo menos de seus padrões de cientificidade) torna-se clara no embate com o programa newtoniano, em particular no modo de conceitualizar a inércia da matéria como propriedade física essencial da matéria. O conceito de velocidade, por exemplo, logicamente anterior e conceitualmente necessário para formulação da noção de força “ativa” (impulso) - que virá a ser nomologicamente expressa pela segunda lei dinâmica newtoniana - demandava um tratamento significativamente mais definido em relação à filosofia cartesiana, que parece apoiar-se antes na idéia intuitiva e geral, porém menos definida de “movimento”. Epistemologicamente, se a inércia é uma propriedade essencial da matéria, ela não deve depender do referencial em relação ao qual o movimento é analisado; as teorias relativistas do espaço (em particular a cartesiana) implica que a inércia de um corpo (medida por seu movimento

retilíneo uniforme ou repouso) depende do referencial e logo não parece ser uma propriedade essencial e inequívoca. Essa é uma distinção fundamental entre a perspectiva cartesiana e newtoniana em relação à lei da inércia e é fundamental para Newton, do ponto de vista conceitual, na afirmação de um referencial privilegiado para a análise do movimento (tempo e espaço absolutos), baseado nos experimentos rotatórios (em particular do balde), que ele interpreta de modo a implicarem a existência do pretendido referencial absoluto.

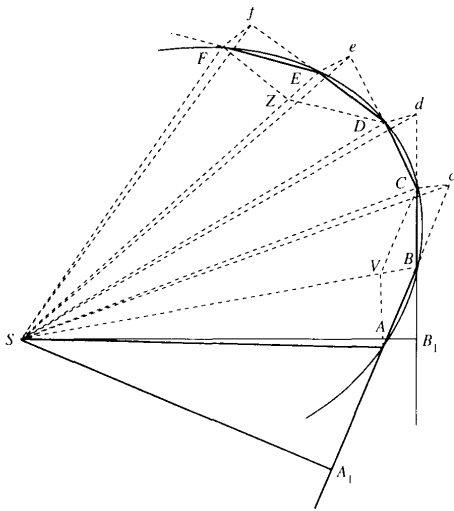
Galileu sem dúvida ofereceu maiores contribuições à clarificação do conceito de velocidade como taxa de variação da posição do que Descartes. A noção do tipo de grandeza que se relaciona à medida da velocidade (vetorial) e a necessidade de referência a um sistema de coordenadas particular para sua mensuração serão construídos matematicamente, entretanto, somente na segunda metade do século XVII e se tornarão essenciais no desenvolvimento da dinâmica newtoniana e, particularmente, na discussão sobre o espaço e tempo absolutos, inteligíveis cientificamente na cadeia de razões dos *Principia* e relacionados estreitamente ao modelo explicativo pautado pelas causas verdadeiras (anexo 1).

Interessantemente, a lei da inércia é afirmada a partir de sua necessidade na explicação dos movimentos sob ação de uma força central produzindo uma trajetória orbital. Exemplo significativo do uso e, indiretamente, justificação da lei da inércia se encontra no tratamento proposto por Newton da lei das áreas de Kepler. A proposição 1 afirma que:

Proposição I. Teorema I. As áreas que os corpos que giram descrevem por meio de raios traçados até um centro de força imóvel de fato situam-se nos mesmos planos imóveis, e são proporcionais aos tempos nos quais elas são descritas.

É bastante evidente que a proposição I corresponde à lei das áreas de Kepler. O que importa é saber como ela foi deduzida a partir dos axiomas.

A prova de Newton é de certo modo a construção do fenômeno a partir de condições idealizadas. Não apresentaremos propriamente a prova que Newton faz do teorema, mas manteremos seu espírito. Em primeiro lugar, suponha-se uma divisão do tempo em partes iguais e faça um corpo move-se inercialmente sobre a linha SA.



Proposição 1. Teorema 1 dos *Principia*⁴²

Seja S o ponto para o qual será dirigida a força ‘atrativa’. Considere a trajetória ABC como sendo descrita sob a ação de uma força central, agindo discretamente, como um impulso, em intervalos de tempo iguais t (isto é, em A age uma força impulsiva que desloca o corpo em movimento retilíneo inercial da trajetória AS para AB, passados t o corpo atinge B e a mesma força é aplicada deslocando a trajetória do movimento de AB para BC, e assim sucessivamente).

A partícula, por construção inicialmente em A e se movendo com velocidade \vec{v} , pela lei da inércia (lei 1), atravessa a distância $v.t$ (onde v é o módulo da velocidade), na direção AB e no plano contendo SA e \vec{v} , até chegar em B. Em B novamente a partícula é submetida à ação da força central na direção BS (agindo como um impulso, como afirmado acima) e é deslocado na direção e intensidade proporcionais à BV. Na ausência da ação da força central impulsiva recebida em B, a partícula, por inércia, continuaria a se mover na direção AB e chegaria a c depois de viajar a distância $v.t = AB$ (como no primeiro intervalo, lembrando que a ação da força central age, por construção do modelo, em intervalos fixos t); e sempre no mesmo plano. Compondo o movimento inercial da partícula em B com aquele obtido pela força impulsiva central proporcional a BV, o corpo no segundo intervalo de tempo $2.t$ encontrar-se-á em C e, analisando-se a geometria da figura, cC é igual e paralelo a BV. Por meio destas construções, as áreas dos triângulos SAB e SBC serão

⁴² Figura obtida em CHANDRASEKHAR,1995. Comentário, com alterações, segue o mesmo autor.

iguais (tendo bases iguais AB e Bc); e as áreas dos triângulos SBc e SBC serão iguais, pois AB = BC e CS = BS. Logo

$$\text{Área do triângulo SAB} = \text{área do triângulo SBC}$$

Em outras palavras, as áreas descritas em dois intervalos sucessivos de tempo t , são iguais, enquanto a partícula se move no plano SAB. Por construção

$$\text{Área do triângulo SBC} = \text{Área do triângulo SCD}$$

Por indução, todas as áreas descritas no intervalo t , submetidas às condições da construção do modelo, descreverão áreas iguais, independente do intervalo t . Fazendo t tender a um momento infinitamente pequeno, a curva poligonal acima se converte em uma curva contínua, fazendo a lei de Kepler valer não só para momentos discretos de tempo, mas momentos infinitesimais, sendo a órbita não uma poligonal mas uma curva contínua exatamente por essa validade. Em terminologia contemporânea, o teorema 1 afirma que a momento angular de uma partícula sob ação de uma força central é conservado.

Esse tipo de raciocínio, utilizando construções geométricas e aplicando a alguma variável a condição de ser levada ao limite, é bastante significativa na interpretação da construção lógica e metodológica dos *Principia*. é na verdade o modelo geral de tratamento das proposições e da construção dos sucessivos modelos matemáticos que serão depois aplicados na interpretação dos fenômenos físicos. Embora haja independência entre os modelos matemáticos construídos no livro 1 e suas aplicações, em particular no livro 3, certamente tem em vista, como matemático, na construção de modelos aplicáveis à investigação natural.

Marca clara dessa preocupação são os exemplo de Newton de fenômenos que se sujeitam às suas leis do movimento, como o que foi dado em justificativa da primeira lei do movimento que, rigorosamente, não exemplifica a lei da inércia linear (ver acima), mas mostra que, suposta a lei de inércia linear e a ação de uma força central, os movimentos circulares (que se assemelhem aos movimentos orbitais dos planetas) são explicáveis e passam a ser submetidos a um tratamento matemático mais rigoroso (o que, em suma, é o problema indireto da astronomia do tempo de Newton, isto é, dada a órbita de um corpo, estabelecer a lei de força que geraria tal órbita).

A inferência da lei das áreas de Kepler no modelo de um corpo sujeito a uma força central apresenta as características fundamentais da operação metodológica de Newton. É preciso atentar que a prova não envolve considerações físicas particulares, somente a condição de uma força central agindo sobre o movimento inercial de um corpo. Esse modelo se aplica, portanto, não somente a uma curva específica (círculo ou elipse) mas aplica-se, em particular, a todas as seções cônicas. É notável que o substrato da prova é o raciocínio ao limite, embora o formalismo diferencial não esteja presente.

Conceitualmente as 12 primeiras proposições do livro 1 sempre são provadas pelo mesmo método que é convergir curvas poligonais para curvas contínuas quando o intervalo de ação entre duas ‘aplicações’ da força sobre a partícula tende a zero. Incorpora-se, deste modo, a lei empírica de Kepler no cerne da mecânica racional newtoniana, fazendo uso da lei de inércia. A lei de inércia portanto satisfaz a um critério básico de uma proposição candidata a componente do núcleo duro de um programa: aplicabilidade a um amplo espectro de casos e, em particular, permitir a derivação de uma lei de domínio restrito, bem estabelecida, que podendo ter contado no contexto da descoberta da lei (no momento não importa essa questão) certamente conta como elemento de justificação.

Aplicada a lei da inércia para a explicação dos movimentos sob a ação de uma força central, a proposição 6 do livro 1 introduz uma primeira relação para a mensuração da força central agindo sobre um corpo, que é o movimento natural da investigação e da ampliação do modelo proposto na proposição 1. Lê-se na mencionada proposição 6 que:

Em um espaço livre de resistência, se um corpo girar em qualquer órbita ao redor de um centro imóvel, e no mínimo tempo descrever arco exatamente nascente; e se supusermos que o seno verso daquele arco é traçado bisseccionando a corda, e estendido de forma a passar pelo centro de força, a força centrípeta no meio do arco será diretamente como o seno verso e inversamente como o quadrado do tempo.

NEWTON (1996). *Principia*; pág. 66

Esta proposição é interessante na concatenação do livro 1 por duas razões. Em primeiro lugar, ela servirá de fundamento ao tratamento do movimento em uma elipse (proposição 11, seção 2). Nesta última proposição, prova-se que, quando a órbita é uma elipse, a força dirigida para o foco deve ser como o inverso do quadrado, que é o fundamento da teoria da gravitação newtoniana. Em segundo lugar, as restrições do modelo são apresentados claramente e o raciocínio baseado em condições limites (ou raciocínio no limite) também floresce. As proposições que se seguem

aproveitam não só da relação estabelecida entre força e tempo, mas também do modelo de raciocínio envolvido na prova da proposição.

Esses elementos permitem afirmar que a lei da inércia compõe parte do núcleo duro do programa newtoniano da mecânica racional, não só porque será aceita pelos continuadores do programa, mas porque apresentam as características epistemológicas e ontológicas que presidem, segundo nossa interpretação, os critérios de aceitação de uma hipótese como parte do núcleo duro de um programa. Do ponto de vista epistemológico, a lei de inércia é amplamente aceita, contém informação ontológica, permite a construção de relações com os outros componentes do programa (outras hipóteses do núcleo duro e com a heurística positiva) e, fundamentalmente, permite a solução (aproximada) do problema das órbitas dos planetas, um dos alvos privilegiados dos modelos matemáticos presentes nos *Principia*.

A lei da inércia representa uma perspectiva ontológica em relação à matéria, concepção esta construída durante o século XVII e codificada em sua forma definitiva pela mecânica racional newtoniana. Obviamente, uma ontologia demanda um conjunto de relações entre suas entidades o que, no programa newtoniano, é nomologicamente representado pela segunda lei do movimento.

4.4 A segunda lei de Newton ou princípio dinâmico fundamental

Historicamente, o tratamento cinemático do movimento, proposto por Galileu, sofria restrições conceituais e metodológicas sérias no que diz respeito a uma compreensão generalizada e sistemática da natureza. Galileu mesmo parece ter percebido a necessidade de estender suas investigações para o âmbito da dinâmica, o que fez tacitamente na sexta jornada de seu livro *Dois Novas Ciências*, para o caso particular das forças de percussão (impacto). Neste tratado, Galileu parece indicar que pretendia ali investigar a lei da queda dos corpos e do movimento balístico, agora através de descrições ou provas dinâmicas (causais). Os resultados bem estabelecidos de sua cinemática deveriam ser reduzidos, idealmente, a ação de forças dinâmicas (ainda que, no mesmo livro, na terceira jornada, ele afirme não estar preocupado com as causas da queda dos corpos).

Remotamente, as investigações dinâmicas do movimento remetem à Idade Média tardia e começo da Modernidade, tomando uma forma conceitual bastante definida particularmente a partir

de Baliani. A preocupação deste ligava-se à compreensão de como, a partir de uma influência constante, tal como a da gravidade, um movimento uniformemente variável poderia ser gerado. O paradoxo envolvido na questão, que serve de pano de fundo à investigação da mesma, era a pressuposição de que uma causa uniforme deveria gerar um efeito uniforme, o que parecia ser contrariado pela gravidade que, sendo uniforme, gerava um efeito que variava no tempo, no caso a velocidade variando no tempo.

Sendo a gravidade uma instância do conceito mais geral de força, o paradoxo pode ser generalizado, no caso, uma força constante qualquer, gerava não velocidade, mas a mudança de velocidade, expressa por meio de uma taxa, que é a aceleração. Até meados do século XVII, dadas as dificuldades conceituais e a ambigüidade em que o termo força era utilizado (consideradas as associações antropomórficas que o permeavam), a idéia não se consolidou em nenhum conceito cientificamente apropriado e os muitos sinônimos do conceito só agravavam a situação de penúria para a teorização matemática do mesmo.

Um avanço fundamental foi a aceitação, implícita no trabalho de Galileu, de que o efeito da força só pode ser associado à mudança da velocidade, utilizado na solução do paradoxo das “velocidades virtuais”⁴³. A partir de Descartes, o problema ganha uma maior determinação, pois a questão da força se associará, em última instância, ao problema do choque entre partículas. Borelli caminha nessa direção, imaginando que uma força contínua, tal como a gravidade, é o limite do efeito de uma força impulsiva (choque) periódica cuja frequência cresce indefinidamente. Tal modelo de argumentação reaparecerá nos *Principia*, particularmente na proposição I do livro I.

Esse modelo de especulação também será empregado por Huygens que o utilizará na derivação de um caso particular, seja este o do movimento orbital em vórtices de matéria sutil, que

resultará na importante fórmula $F \propto \frac{v^2}{r}$. Essa fórmula reaparecerá nos *Principia* como força centrípeta, distinguindo-se da de Huygens primeiramente pelo nome, já que no *Horologium*

⁴³ O que se chama aqui de paradoxo das velocidades virtuais pode ser articulado por meio do seguinte raciocínio (dentro da teoria de queda dos corpos de Galileu) : se um corpo em queda parte do repouso, ele parte de um grau infinito de lentidão para um grau finito qualquer de velocidade. Mas é absurdo se supor que o repouso deva ser uma lentidão infinita ou de que a velocidade de queda seja uma velocidade finita, dado que a distância que separa a lentidão infinita de uma velocidade qualquer é infinita e logo o corpo deveria ter passado por infinitos graus de velocidade neste movimento, sujeito a uma força constante, o que é impensável. De certo modo, Galileu pensa o impensável levando sua reflexão ao limite e assumindo que a gravidade tem esse poder. Também assume que o corpo passa do repouso ao movimento através de infinitos graus de velocidade, mas gastando somente por um átimo infinitesimal de tempo em cada velocidade, o que permite que um corpo em queda em um tempo e distância finitas percorra infinitas velocidades. Daí chamarmos paradoxo das velocidades virtuais a questão (Cf. Galileu: **Duas Novas Ciências**, segunda e terceira jornadas).

Oscillatorium é chamada centrífuga, pois imaginava Huygens tratar-se de uma tendência do corpo a afastar-se do centro do movimento orbital equilibrada pela inércia das partículas de éter (cujo modelo mecânico, utilizado nos cálculos, será a de uma esfera circulando internamente uma casca cilíndrica em um plano fixo). Determinante, entretanto, é a conceituação, que em Newton não recorre à idéia de um equilíbrio entre tendência a afastar-se do centro do movimento e a inércia das partículas do éter, mas à ação de uma força central (cujo mecanismo de ação se assume desconhecido). Embora conceitualmente distintas, Newton, particularmente nesse caso, reconhece sua dívida para com Huygens textualmente nos *Principia*.

É interessante notar que o desenvolvimento dos *Principia* recuperam estes elementos conceituais e metodológicos. Mesmo assim, a dificuldade na proposição do novo conceito de força, codificado na mecânica newtoniana por meio da segunda lei do movimento, foi não somente maior que aquele que guiou ao conceito de inércia (que alcançara sua solução definitiva já em Descartes), mas também de uma natureza distinta. Como pano de fundo aos *Principia* era necessário relacionar e distinguir com clareza três conceitos que despontavam como centrais a análise dinâmica: inércia, força e massa.

A análise da segunda lei do movimento é uma difícil questão face ao conceito de núcleo duro da metodologia dos programas de pesquisa científica. Um ponto de partida singular para compreender esta dificuldade talvez seja a interpretação de DIJKSTERHUIS em seu clássico *The Mechanization of World Picture*. Nesta obra, defende o autor que a axiomatização da dinâmica proposta nos *Principia* é permeada de dificuldades que só foram superadas pelos autores do século XVIII que estabeleceram definitivamente a dinâmica, através das reformulações propostas pelos Bernoulli, por Euler, d'Alembert, Laplace, etc.

O autor centra sua crítica no enunciado da segunda lei do movimento: “a mudança do movimento é proporcional à força motriz impressa”. Tal formulação, defende DIJKSTERHUIS, não é equivalente à equação $F = m \cdot a$ (ou expressões postas sob outras notações, em particular a

infinitesimal $F = m \frac{dv}{dt}$), onde “F” é a força; “m” a massa e “a” é a aceleração, a qual é assumida,

segundo o mencionado autor, no decorrer da obra via o tratamento matemático dos movimentos planetários, ou melhor, das condições de movimento sob a ação de uma força central, nos livros I e III especialmente. Max JAMMER parece interpretar o tema sob a mesma ótica, reconhecendo que

estabelecendo o que se poderia encarar como a interpretação canônica a respeito do papel e constituição da segunda lei de Newton.

Os dois autores reconhecem que a derivação da segunda lei seria dada pela conjunção entre as definições VII e VIII e o axioma II dos *Principia*. Sucintamente, pode-se codificar a interpretação de JAMMER e DIJKSTERHUIS através do seguinte raciocínio:

Def. VII: a quantidade aceleradora de uma força centrípeta é a medida da mesma, proporcional à velocidade que gera em determinado tempo.

A explicação da definição recorre a experimentos com pêndulos de diferentes comprimentos e a queda livre dos corpos. A força é apresentada como a causa da produção da aceleração do corpo, o que em linguagem algébrica expressa-se como

$$a \propto \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

Def. VIII: a quantidade motriz de força centrípeta é a medida da mesma, proporcional ao movimento que gera em determinado tempo.

Newton explica a definição nos seguintes termos: “Assim, o peso é maior em um corpo maior, e menor em um menor; e, no mesmo corpo, é maior perto da Terra e menor nos céus. Essa força é o centripetismo ou propensão de todo corpo para o centro, ou, por assim dizer, seu peso, conhecendo-se sempre pela força que lhe é contrária e que é igual, capaz de impedir a descida do corpo”. Note-se que a explicação recorre ao movimento de queda livre e “movimento” está associado, de um lado ao peso, e de outro à variação da quantidade de movimento por meio da variação da velocidade. Isso poderia traduzir-se como

$$F \propto \frac{\Delta v}{\Delta t} \propto a$$

A segunda lei do movimento é assim expressa nos *Principia*:

Lei II: A mudança do movimento é proporcional à força motriz impressa e se faz segundo a linha reta pela qual se imprime essa força.

Que pode traduzir-se algebricamente como

$$\Delta v \propto F_{\text{impressa}}$$

Estabelecendo mediante uma cadeia transitiva que toda força impressa gera variação de movimento (Δv) e logo uma força centrípeta (def. VIII), provocando uma alteração no estado de movimento do corpo (portanto um caso particular de força impressa) deve ser entendida como uma instância da segunda lei e portanto traduzível, associando as formulações precedentes das definições e da segunda lei como

$$F_{\text{motriz impressa}} \propto \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

Ou, notando que já nas definições a massa é apresentada como a medida de inércia do corpo, portanto aquilo que resiste à variação no movimento, devendo ser incorporada como constante de proporcionalidade entre a variação de movimento e a força impressa:

$$F = m.a$$

ou ainda, mais rigorosamente

$$\vec{F} = m.\vec{a}$$

Newton não usa esta em sua exposição a linguagem algébrica, mas a exposição textual. JAMMER e DIJKSTERHUIS fazem uso deste tipo de reconstrução e aqui se os seguiu (JAMMER: 1957; DIJKSTERHUIS: 1986). De fato, a reconstrução proposta desta interpretação que chamamos canônica parece se verificar, na medida em que o cerne da investigação dos *Principia* repousa sobre o estudo de forças centrais (centrípetas) provocando órbitas no formato de seções cônicas (provocando uma aceleração centrípeta, lembrando que a velocidade é uma grandeza vetorial e logo a mudança de direção implica a variação do vetor). A dificuldade, no entanto, ainda repousa sobre o fato de que a expressão dada por Newton não é equivalente a $\vec{F} = m.\vec{a}$.

Uma formulação mais adequada, seguindo o enunciado do próprio Newton parece ser $F.dt \propto dv$, onde $F.dt$ seria a força impressa (a força impulsiva vezes o tempo de sua aplicação, aqui utilizando a notação diferencial de Leibnitz) e dv a variação da velocidade (infinitesimal). Mas esse enunciado tende a implicar que Newton enuncia como princípio dinâmico fundamental uma

formulação de força impulsiva ou, mais ainda, o segundo princípio estabeleceria como existente somente as forças impulsivas, o que parece contradizer o mais brilhante resultado de Newton, a descoberta da lei da gravitação universal que, por sua vez, não se submetia a uma redução a forças impulsivas (tal como eram possíveis à época) que satisfizesse os cânones cartesianos e os resultados empíricos disponíveis.

A questão natural, aceitando a interpretação de Jammer e Dijksterhuis seria: por que Newton, reconhecidamente um cientista e um escritor cioso de suas expressões, não formularia seu segundo princípio de maneira clara, sendo necessário todo um circunlóquio para sua obtenção?

O pressuposto das interpretações tradicionais parece ser a de que a segunda lei, em particular, deveria ser já nos *Principia*, formulada em termos algébricos- diferenciais, visto que tal modelo de raciocínio é empregado na obra. Em nossa opinião, o pressuposto é equivocado por duas razões. Em primeiro lugar porque não reconhece os modelos de exposição científica correntes na época e lê a obra sem levar em conta seus determinantes conceituais, estéticos, filosóficos, etc. Isto é, a reconstrução pressupõe que a forma “correta” de expressão da lei é a corrente contemporaneamente, e o trabalho de interpretação (reconstrução) da obra seria essencialmente mostrar como na obra já se encontra o conceito tal como corrente contemporaneamente.

Esse pressuposto é equivocado, pois não reconhece a evolução não só das formas de representação dos conceitos mais das sucessivas reinterpretações que um conceito é submetido no processo de evolução do pensamento científico. As leis do movimento são melhor compreendidas quando pensadas como proposições gerais, melhor ainda, quando traduzidas em condicionais legiformes, leis naturais, expressas segundo o modelo de exposição da época, visto também em Descartes, Huygens, etc.

Assim sendo, como explicação da segunda lei Newton afirma que “*Se é aplicada uma força em um corpo, então se produz uma alteração de seu movimento*” (quantidade de movimento, para ser mais preciso). A relação, ainda que pensada para satisfazer os matemáticos (escólio da seção XI), apresenta uma conotação ontológica: a mudança de movimento (ou da quantidade de movimento) pressupõe a ação de uma força, cujas tipologias são apresentadas nas definições. A segunda lei afirma a relação que, para cada caso particular, será tratada segundo sua tipologia, isto é, se a mudança é por percussão (pressão), atração, ou outro tipo. É evidente que um tipo tem predominância no desenvolvimento dos *Principia*, qual seja, a de forças atrativas centrais, pensadas (no modelo matemático do movimento) como provenientes de forças impulsivas (ainda que a

observação e a experimentação não pudessem levar a uma conclusão inequívoca sobre a existência e natureza das mesmas, no âmbito dos movimentos planetários).

Parece condizente com a forma newtoniana de expressão da lei tal interpretação, no entanto torna-se claro que a mesma enfrenta três gêneros de questões: (i) o que significa força, que referência tem este conceito para além da proposição (leis) em que ele aparece? (ii) qual a relação estabelecida entre a lei e a evidência empírica imediata ou, se se quiser, qual o estatuto epistêmico da lei? (iii) por fim, verificamos mudanças nos movimentos, mas o que garante que a lei proposta explica tais mudanças não inocuamente⁴⁴, ou seja, mais do que uma hipótese, é uma hipótese que permite explicações consistentes dos movimentos, podendo, no limite, ser a resposta definitiva para questão do movimento?

Esta última questão poderia ser reformulada: Newton defende a idéia de “causa verdadeira” (*escólio geral*, último parágrafo). Nesse sentido, segundo os *Principia*, a causa da mudança do movimento só pode ser uma força impressa. Nesse caso, duas possibilidades apresentam-se: se se afirma a existência da ação de uma força somente por meio da constatação da mudança do movimento, comete-se a falácia da afirmação do conseqüente, seja isto, toma-se o antecedente por verdadeiro a partir da verdade do conseqüente, o que é um erro lógico trivial (dificilmente cometido por Newton).

Outra possibilidade seria reconhecer que a proposição que corporifica o princípio dinâmico fundamental tem sua peculiaridade, isto é, estaria muito mais próxima de uma formulação em termos do conectivo bi-condicional, uma relação de *se e somente se*. Seja isto, nesse sentido parece que a segunda lei aceita pressuposições ontológicas fortes, isto é, reconhece-se a priori que o movimento tem uma só causa (que se apresenta segundo diferentes modos) nomeada força. Isto implica, de um lado, em assumir-se uma realidade efetiva a um conceito teórico e, por outro, a introdução, nesse caso cientificamente legítima, de um referencial privilegiado implicado pela noção de que alterações na quantidade de movimento necessariamente passam pela aplicação de uma força no corpo, que para ter sentido ontológico deve ser medida e ser inequívoca; para apresentar realidade efetiva necessita, portanto, de um referencial privilegiado⁴⁵.

⁴⁴Em outros termos, de que ela não é uma hipótese em meio a infinitas outras possíveis, que será de certo modo o *locus* pelo qual passará a crítica dos cartesianos.

⁴⁵As críticas às teorias relacionais do espaço e tempo levantadas por Newton se ligam a este aspecto. Em Descartes, por exemplo, vemos o movimento “definido matematicamente” como a mudança do corpo de uma vizinhança de partículas para outra vizinhança. Isso por sua vez implica que, mesmo não sendo aplicada nenhuma força em um corpo, na perspectiva cartesiana pode-se mudar seu estado de movimento, bastando deslocar a vizinhança do corpo. Como a vizinhança se move, e o movimento é a mudança da vizinhança e, não existe um referencial privilegiado, então pode-se

A interpretação da segunda lei com hipótese nuclear do programa newtoniano da mecânica racional novamente se sustenta pelos aspectos epistemológicos mencionados no modelo metodológico (mais precisamente, a interpretação do modelo metodológico de Lakatos proposta), isto é, a corporificação de elementos ontológicos, as correlações estabelecidas com os outros componentes do núcleo duro (em particular, o princípio dinâmico fundamental é a contrapartida necessária da afirmação da primazia da lei da inércia, que se apreende pela ordem estabelecida das leis nos *Principia*), e da relação estabelecida com a heurística.

Sobre este último ponto, é necessário notar que se o princípio heurístico fundamental da mecânica racional newtoniana é descrever o movimento dos corpos a partir das forças que atuam sobre o mesmo, a segunda lei operacionaliza a pesquisa e permite, por meio da articulação com as outras leis do movimento e outras hipóteses (matemáticas em geral e, no livro III, empíricas) derivar não só as formas funcionais das forças necessárias para a geração de diferentes movimento, mas explicar as razões para que determinadas formas funcionais sejam as únicas possíveis, em particular a mais conhecida delas, a interação gravitacional como sendo proporcional ao inverso do quadrado das distâncias.

Programaticamente, a segunda lei do movimento apresenta claramente um papel central na teoria newtoniana, sendo recuperada pelos partidários do programa nos séculos XVIII e XIX como lei fundamental. Uma primeira leitura, consolidada pelos intérpretes, sugere que a segunda lei seria o fundamento da dinâmica (não raro nomeada princípio fundamental da dinâmica), e a primeira e terceira leis seriam casos particulares desta. No caso da primeira lei, a dedução é algo trivial: se somente forças geram alterações no movimento, na ausência de forças não haverá alteração de movimento, fato que implica diretamente ou no movimento retilíneo uniforme ou no repouso. Cabe por fim analisar a terceira lei e o significado do conjunto para o programa da mecânica racional newtoniana.

subscrever o movimento ao corpo analisado, onde não está sendo aplicada nenhuma força. Mas se existe movimento, nada implica logicamente que não se possa produzir alterações no movimento pelo mesmo processo de deslocamento da vizinhança e, portanto, seguindo o mesmo padrão argumentativo, se concluiria que a mudança de movimento não dependeria do aplicação de uma força. A necessidade da introdução e justificação de um referencial absoluto parece provir da idéia de que a força deve ser medida inequivocamente, o referencial absoluto seria aquele a partir do qual se poderia, sem necessitar conhecer de antemão as relações de movimento relativo entre os corpos, descrever as forças que efetivamente provocam alteração no estado de movimento. Nas palavras de Newton no tratado “*Do Peso e do equilíbrio dos Fluidos*” : das teses de Descartes infere-se que o movimento pode ser gerado onde não existe nenhuma força em ação” o que, no seguir da discussão, será parte de um “máximo absurdo” (pp. 307-308). Fundamental para a argumentação de Newton da necessidade de introdução (teórica) da existência de um referencial absoluto se encontra na análise que o professor lucasiano empreende do famoso experimento do balde (anexo 1).

4.5 A lei de ação e reação e sua relação com os dois primeiros axiomas do movimento.

A terceira lei do movimento afirma que “A uma ação sempre se opõe uma reação igual, ou seja, as ações de dois corpos um sobre o outro sempre são iguais e se dirigem a partes contrárias”. Explicando a lei Newton afirma que “Tudo quanto impele ou atrai o outro é do mesmo modo impelido ou atraído por ele. Se alguém aperta com o dedo uma pedra, seu dedo será apertado pela pedra. (...) Se um corpo, batendo em outro, mudar por sua força, de qualquer modo, o movimento dele também mudará, sofrendo por sua vez, por força do outro, a mesma mudança em seu movimento, em um sentido oposto ao do outro.(...) Por essas ações, tornam-se iguais não as mudanças de velocidades, mas as dos movimentos (a saber, nos corpos não impelidos de outro modo). Com efeito, porque os movimentos mudam igualmente, as mudanças de velocidades, feitas da mesma forma em direções opostas, são reciprocamente proporcionais aos corpos [massa]. Essa lei ocorre também em atrações, como será provado no próximo Escólio.”

O enunciado da lei e as ilustrações apresentadas sugerem que a ação e a reação agem sempre em corpos diferentes. Usando a ilustração do dedo apertando a pedra, se o dedo “age” (imprime uma força) sobre a pedra, a pedra “reage” (imprime uma força de igual intensidade, em sentido contrário) sobre o dedo.

O fundamento da terceira lei parece repousar não somente em observações dinâmicas mas, talvez prioritariamente, nas observações obtidas nas análises estáticas. A existência das forças de reação se constata, por assim dizer, em experimentações as mais simples, como no equilíbrio de uma balança de pratos ou quando uma mão equilibra peso de uma pedra. Nos dois casos, paradigmáticos para Newton na ilustração de seu terceiro princípio, notam-se com alguma facilidade o equilíbrio de forças, que se equilibram porque satisfazem as condições afirmadas pela terceira lei, que portanto as simboliza, racionaliza e generaliza.

Entretanto, se a ação e a reação agem em diferentes corpos, elas podem ser interpretadas por meio da segunda lei. Mais precisamente, se a ação se dá em diferentes corpos, por meio de causas

diferentes, os movimentos (ou o equilíbrio) gerados podem ser interpretados segundo o que ficou estabelecido pela segunda lei.

O terceiro axioma acrescenta uma característica nova ao conceito de força: o seu aspecto dual; a existência de ação e reação simultâneas. Esta é uma conclusão nova e muito importante. Há, no entanto, que chamar a atenção para o fato de esta terceira lei não ser uma lei geral da natureza, já que não é válida para qualquer tipo de forças. Esta lei só se aplica a forças que resultam da interação de dois pontos materiais e cuja direção coincida com a linha que une os pontos. Fundamentalmente, e Newton discute longamente esse ponto no final da seção onde apresenta os axiomas ou leis do movimento, esta lei se aplica às chamadas *forças centrais* (objeto principal das investigações de Newton nos *Principia*). A importância desta lei na construção do sistema do mundo newtoniano é manifesta, ressaltada mesmo na formulação de d'Alembert da mecânica racional.

Esse papel inovador da terceira lei, reconhecido não só por d'Alembert, mas também por Mach torna o trabalho de interpretá-la uma tarefa mais complexa. Em primeiro lugar mais do que os dois primeiros axiomas ela parece provir de observações e experimentos onde os corpos reagem ao impacto. Como afirma MACH (1883/1912[1949]), seria portanto um caso em que a mútua reação entre força aplicada e força de reação produziria alterações no estado de movimento dos corpos envolvidos, mais precisamente “*na medida em que a ação é propagada pelos instrumentos intervenientes (no caso das máquinas simples) e finalmente imprimida sobre o corpo resistente, a ação última será sempre a contrária à reação*” (final do *escólio* às leis).

Aceita tal primeira leitura, coloca-se necessariamente a questão “*contrafactual*” de por que Newton não optou por asseverar somente a segunda lei e derivar as duas outras como casos particulares.

Essa sem dúvida é uma questão complexa para a qual toda resposta é antes conjectura e hipótese de leitura. O fato é de que as leis foram apresentadas separadamente. Uma razão possível, e esta nos parece plausível, se apóia em dois aspectos, relacionados ao pano de fundo da construção dos *Principia*: em primeiro lugar a centralidade da teoria cartesiana no ambiente científico da segunda metade do século XVII, onde já se implicava a terceira lei a partir da análise da inércia da matéria, e no trabalho de Huygens a lei de ação e reação será afirmada como princípio nos seguintes termos, menos gerais em relação à afirmação dos *Principia* mas com conteúdo semelhante: *Dois corpos iguais que se impactam diretamente um com o outro e tem velocidades iguais e opostas antes*

do impacto ricocheteiam com velocidades iguais, diferentes apenas em relação ao sinal. (DUGAS: 1955[1988]; pág. 176 [tradução nossa]).

Como mencionamos acima, a lei da inércia, quase nos mesmos termos utilizados por Newton, fora formulada por Descartes já em seu *Do Mundo no Tratado da Luz* e reafirmada nos *Princípios da Filosofia*. A lei da inércia era encarada como uma lei fundamental, deduzida rigorosamente de princípios metafísicos bem estabelecidos. Em certo sentido, ela é uma lei ontológica, seja isto, ela informa o caráter nomológico básico presente na criação, que é o da constância, em conformidade com a natureza do criador, que é eterno e absoluto (dado que o efeito deve conter ou eminentemente ou atualmente sua causa em alguma proporção).

A mudança, neste quadro, é um evento “acidental”, que é explicável pela introdução, por parte do Criador, de leis constantes e imutáveis que regulam os choques entre partículas, que, no mundo real, são inevitáveis (afinal, o mundo não é composto de uma única partícula, mas de uma infinidade). Uma leitura desta perspectiva seria a de que o caso ideal é a lei da inércia, onde se abstraem as relações entre os corpos, que, quando aplicada à realidade, dada a multiplicidade de partículas (possivelmente infinitude), implicaria as relações de choque, cujas leis são determináveis a partir da constatação metafísica da lei de conservação da quantidade de movimento. Assim sendo, a mudança é ocasionada pelo choque, cujas leis são deduzidas metafisicamente (com o auxílio da observação, naturalmente) e, ainda metafisicamente, a lei da constância ou inércia lhe é anterior e de certo modo o que justifica a existência de leis de choque. Se não existisse a inércia da matéria, em particular a inércia do movimento retilíneo uniforme, a mudança do movimento poderia ocorrer sem razões, ou por diferentes razões nas mesmas circunstâncias, o que inviabilizaria uma ciência da natureza matematicamente construída.

Sobretudo, apoiado na lei da inércia, Huygens levou à frente investigações que guiaram a refutação das leis de choque propostas por Descartes e a postulação de leis mais adequadas e, mais ainda, a descoberta da lei de força centrífuga, fundamental no desenvolvimento da dinâmica astronômica dos *Principia*.

Aceitos os pressupostos, Newton teria introduzido a lei da inércia dada sua posição singular no corpo de conhecimento já constituído. Por outro lado, parece razoável supor que a perspectiva estética no que concerne às leis científicas em Newton não estivesse tão distante de Descartes e particularmente tivesse recebido alguma influência dos neoplatonistas de Cambridge (via More).

Seja isto, matematicamente falando, o estado inercial é mais simples do que o estado dinâmico e, portanto, lhe é anterior na escala de valores estéticos da prática científica do período.

É um viés neoplatonista na medida em que aquilo que é estável é anterior aquilo que é mutável. Nesse sentido, a lei da inércia é anterior à lei da mudança e é portanto a negação deste estado primordial o que leva a postulação da segunda lei. Tal como Descartes, que assevera a inércia, pautado em argumentos metafísicos, para depois investigar a mudança do estado inercial, Newton, constatando a inércia a partir da investigação dos movimentos planetários, a assevera como anterior à lei dinâmica⁴⁶. As relações entre a lei de inércia e o princípio dinâmico repousam sobre um ideal de ordem natural (TOULMIN: 1961 e 1972), remetendo às entidades (matéria inerte) e às relações (força proporcional a mudança do movimento).

Esta é uma hipótese de leitura que de certo modo afasta o problema de justificar a redução da primeira lei à segunda (é inegável a possibilidade de uma redução lógica). Panoramicamente, aceitando o fato de que as leis do movimento são propostas separadamente, deve-se imaginar que o modelo estrutural mais adequado para compreendê-las seria o de assegurar à lei de inércia a prioridade conceitual (inexistência de forças), a segunda lei a introdução das forças (caso menos simples e portanto segundo em relação a estética de escrita científica do período) e por fim a lei de interações, que demanda a investigação empírica (e é logo a mais complexa das leis).

Outra questão presente é que o conceito de força, pensado em sua forma proposicional, ou na sua forma algébrica ($F = ma$), parece implicar um círculo sem fim, ou um tipo particular de 'paradoxo de rodeios': força é proporcional à mudança de movimento, e a mudança de movimento é proporcional à força, logo não se pode medir a força sem pressupor sua existência, na medida em que se podem medir as alterações na quantidade de movimento mas, como afirmado acima, deve-se recorrer (aparentemente) à pressuposição adicional de que estas são originadas via aplicação de uma força que logo se supõe existir. Soluções no quadro de teorias aderentes ao espaço e tempo relativos (teoria cartesiana, teoria dinâmica de Leibniz) permitiam tangenciar o problema da mudança do

⁴⁶ O movimento planetário é descrito matematicamente como a composição entre um movimento inercial e um campo de força central, cujo resultado é o constante desvio do corpo em direção ao centro da órbita. Nesse sentido, assegurar prioridade à lei da inércia, em contraposição ao axioma dinâmico fundamental, justifica-se pela aplicabilidade científica do conceito. Note-se também que o método de solução aproxima-se daquele empregado por Galileu no que concerne ao movimento dos projéteis, embora Galileu não tenha formulado explicitamente a lei da inércia tal como Descartes, que tornaria a solução logicamente mais consistente (a inércia para Galileu tende a ser pensada como inércia circular e no caso do lançamento de projéteis, dados os pequenos arcos descritos, as soluções a partir da concepção de inércia circular e inércia linear se equivaleriam). Contudo, a idéia central de que o repouso e o movimento uniforme são equivalentes cinemática e dinamicamente já havia sido formulada com precisão e em relação a outros problemas dinâmicos será significativa.

movimento sem a utilização, tal como formulada por Newton, do conceito de força. Mas como evocado acima, não encontravam estas ressonância no programa newtoniano. Em particular, no programa cartesiano os choques implicavam a ação (ou ‘força’), o que implicava um critério claro para definir a ação da ‘força’, independentemente da aceleração resultante.

A definição de quantidade de matéria, que Newton associará ao conceito de massa, apresenta problema semelhante. Tomando a primeira definição newtoniana nos *Principia*:

Definição I: A quantidade de matéria é a medida da mesma, oriunda conjuntamente de sua densidade e de sua grandeza.

O ar duplamente mais denso, num duplo espaço, é quádruplo. O mesmo se diga da neve e do pó condensados por compressão ou liquificação. Igual razão vale para todos os corpos que por qualquer causa são condensados diversamente. Neste ponto não levo em consideração o meio, se é que aqui existe algum, que penetra livremente pelos interstícios entre as partes. É essa quantidade que muitas vezes tomo a seguir sob o nome de corpo ou massa. Conhecemo-la pelo peso de qualquer corpo, pois esta é proporcional ao peso, o que achei em experiências feitas cuidadosamente sobre os pêndulos, como se mostrará adiante⁴⁷.

Essa proporcionalidade entre peso e massa, “demonstrada” experimentalmente pela proposição VI do livro III, terá um papel conceitual central na unificação entre a física celeste e terrestre. Note-se que quantidade de matéria se reduz à massa na teoria newtoniana e portanto massa, que é precisamente a medida da quantidade de matéria, é oriunda da densidade e da grandeza, que modernamente traduz-se, em linguagem algébrica, $m=d.V$ (massa é igual a densidade vezes o volume).

Como MACH (1883/1912[1949]) perceberia, a definição, tal como apresentada, não passa de uma petição de princípio. Massa é definida como o produto da densidade pelo volume, porém densidade é definida (e isso já no tempo de Newton) como a razão entre a massa (ou quantidade de matéria) e o volume. Algebricamente, $m=d.V$ e $d=m/V$. Não se avança um passo em direção a uma compreensão mais clara do que seja a massa, não passando, segundo tal análise, a definição newtoniana do conceito de massa de um jogo de palavras.

⁴⁷ Newton (1996) em coleção Os pensadores, pág. 21.

No entanto, subjaz na argumentação newtoniana dos *Principia* o que se pode chamar de ‘teogonia da matéria’, codificada como hipótese no tratado “*Do peso e do Equilíbrio dos Flúidos*”⁴⁸. Tratado publicado postumamente, foi escrito provavelmente em meados de 1684 (segundo a datação sugerida por BETTY DOBBS), em certo sentido a partir do mesmo fluxo criativo que deu origem aos *Principia*, mas neste tratado sobressaem-se as preocupações ontológicas de Newton.

No referido trabalho, Newton debate as teses cartesianas sobre o movimento e sobre a matéria a partir de várias perspectivas. Particularmente, ele tentará demonstrar a possibilidade lógica e metafísica do vazio, o erro científico em asseverar a existência de uma matéria sutil sem resistência ao movimento (teoria dos vórtices) e por fim proporá uma teoria da formação da matéria, no estilo que Descartes adotou no tratado “*Do Mundo*” e nos “*Princípios da Filosofia*”. Em Descartes, propõe-se uma hipótese especulativa, sobre o funcionamento e as entidades de um mundo possível que, dada as conseqüências concordantes com a realidade deste mundo “atual”, parece captar-lhe a essência efetiva. Newton usará o mesmo tipo de argumento: proporá uma hipótese possível que, dada a concordância entre o que ela implica e a realidade tal como a experimentamos, não se seria de surpreender que a hipótese captasse a realidade da matéria. Como pressupostos, Newton argumenta que é impossível que se pense a criação de matéria sem a intervenção divina, mas que por outro lado é possível pensar o espaço destituído de matéria. Este segundo ponto articula-se com a concepção de que o espaço é uma ‘emanação’ de Deus, embora ainda não seja explícito o estofo filosófico e metafísico que se desenvolverá posteriormente durante os debates com os cartesianos e Leibniz sobre o tema.

Assim sendo, as qualidades essenciais da matéria neste tratado seriam, segundo Newton : dimensão, massa e principalmente, impenetrabilidade⁴⁹. Por esse viés, é possível introduzir uma idéia pouco ortodoxa: se o que qualifica a matéria (essencialmente) é a extensão e a impenetrabilidade, então pode-se pensar que a matéria nada seja além de espaço, que é uma emanação de deus, tornado, pela vontade toda poderosa deste, impenetrável em determinadas regiões as quais, associando-se por meio de alguma lei, constituem o que a ciência humana chama matéria.

Os corpos contínuos seriam, em última instância, associações de fragmentos espaciais impenetráveis que se deslocariam em um continuum espacial. A massa, conceito que quantifica esta realidade, seria a somatória das massas específicas destes fragmentos espaciais tornados

⁴⁸ Newton (1996) em coleção Os pensadores, pp. 299-334.

⁴⁹A idéia de que a impenetrabilidade da matéria seria uma de suas características fundamentais será recuperada por Euler no século XVIII e presidirá epistemologicamente sua reconstrução da mecânica racional.

impenetráveis, cuja métrica seria o produto da densidade (número de fragmentos impenetráveis por unidade de volume) multiplicada pelo volume.

Fato inegável é que o ambiente científico inglês é marcado pela tendência em dar assentimento ao atomismo. Observa-se essa tendência mesmo em Boyle, que explicitamente tendia a não incorporar hipóteses não confirmadas por experimentações cuidadosas - o que transcendia as possibilidades experimentais do período no que diz respeito ao atomismo. Mesmo assim, a teoria atômica apresentava-se como a mais plausível e circulava tanto em sua vertente corpuscularista (atomismo enfraquecido) quanto em versões mais próximas daquelas propostas na Antiguidade. Newton, em particular, defendia abertamente a concepção atômica e o vazio, o que o distanciava do corpuscularismo, em especial o cartesiano.

De qualquer modo, partindo das posições teóricas sobre a matéria, tais como apresentadas em “*Do peso e do Equilíbrio dos Flúidos*”, ou pautando-se pelo assentimento geral ao atomismo, o conceito de densidade, fundamental para a determinação da noção de massa, é interpretado como a concentração de partículas de um corpo ou, o que é o mesmo, a somatória das partículas (caracterizadas por uma ‘massa fundamental’) que compõem o corpo. Esta perspectiva permite tangenciar-se a circularidade inicialmente apresentada, na medida em que massa, sendo a densidade multiplicada pelo volume, passa a ser concebida teoricamente como distinta da densidade, que é fundamentalmente a somatória do número de partículas fundamentais que compõem o corpo por unidade de volume, ou simplesmente concentração. Operacionalmente não se conheciam meios para determinar o número de partículas que compõem o corpo (nem a massa fundamental), o que permitiria uma mensuração independente entre massa e densidade. Contudo, como afirmado por Newton, a massa é proporcional ao peso (*proposição VI do Livro III*), o que permite a determinação em via contrária, seja isto, conhecida a massa através de experimentação em campos gravitacionais que informariam o peso, é possível estimar o número de partículas fundamentais, ou melhor, a densidade “macroscópica”, seja isto, quantidade de massa por unidade de volume (em dado sistema métrico).

No tratado “*Do peso e do Equilíbrio dos Flúidos*” Newton oferece o primeiro tratamento sistemático da noção de força próximo a sua formulação definitiva nos *Principia*. Este tratamento se dá a partir de cinco definições, ainda atreladas às reflexões medievais e neocartesianas, inclusive sem a preocupação de distingui-las e contrapô-las:

Definição V: Força é o princípio causal que produz o movimento e o repouso. A força é ou externa – a que gera ou destrói, ou altera de uma forma ou de outra o movimento impresso em algum corpo; ou é então um princípio interno, em força do qual um movimento ou um repouso existente é conservado em um determinado corpo, e em virtude do qual todo ser tende a continuar no seu estado e opõe resistência.

Definição VI: Conatus (esforço) é uma força impedida, ou seja, uma força à qual se resiste.

Definição VII: Ímpeto é uma força, na medida em que é impressa a alguma coisa.

Definição VIII: Inércia é uma força interna ao corpo, o qual faz com que o estado deste corpo não seja facilmente modificado por uma força proveniente de fora.

Definição X: Gravidade ou peso é uma força que existe em um corpo e que o impulsiona a ir para baixo. Todavia, com o termo “ir para baixo” não se entende aqui exclusivamente o movimento em direção ao centro da Terra, mas também em direção a qualquer ponto ou região, ou mesmo a partir de qualquer ponto. Assim sendo, se o conatus (esforço) do éter que gira velozmente em torno do Sol em afastar-se do seu centro for considerado gravidade, poder-se-ia dizer que o éter, ao afastar-se do Sol, vai para baixo.”⁵⁰

Já nos *Principia* temos uma caracterização mais refinada e que se afasta mais dos termos oriundos da física cartesiana⁵¹ :

Definição III: A força inata (ínsita) da matéria é um poder de resistir pelo qual cada corpo, enquanto depende dele, persevera em seu estado, seja de descanso, seja de movimento uniforme em linha reta.

Essa força é sempre proporcional a seu corpo, e não difere da inércia da massa senão no nosso modo de conceber. É pela inércia da matéria que todo corpo dificilmente sai de seu estado de descanso ou de movimento. Logo, a força inata pode ser chamada pelo nome muito sugestivo de força de inércia. Mas um corpo só exerce essa força quando da mutação de seu estado por outra força impressa em si; e o exercício dessa força pode ser considerado sobre o duplo aspecto de resistência e de ímpeto: resistência, enquanto para conservar o seu estado, o corpo se opõe à força impressa; ímpeto, enquanto o corpo, dificilmente cedendo à força do obstáculo oposto, esforça-se por mudar o estado deste.

(...)

Definição IV: A ação impressa é uma ação exercida sobre um corpo para mudar seu estado de repouso ou de movimento uniforme em linha reta.

Essa força consiste somente na ação, nem permanece no corpo depois dela. De fato, um corpo persevera em todo novo estado, apenas pela força da inércia. Mas a força impressa é de diversas origens, como de percussão, de pressão e de força centrípeta.

⁵⁰ Newton (1996) em coleção Os pensadores, pp. 326-327.

⁵¹ Newton (1996) em coleção Os pensadores, pp. 21-22.

Definição V: A força centrípeta é aquela pela qual o corpo é atraído ou impelido ou sofre qualquer tendência a algum corpo como a um centro.

Assim é a gravidade, pela qual o corpo tende ao centro da Terra, a força magnética, pela qual o ferro tende ao ímã, e aquela força, seja qual for, pela qual os planetas são continuamente afastados dos movimentos retilíneos, obrigados a seguir linhas curvas. A quantidade, porém, da força centrípeta é de três espécies: absoluta, aceleradora e motriz.

É particularmente importante notar a primeira definição proposta para o conceito de força. Nela, Newton associa força a “princípio causal que produz movimento e repouso”. Essa asserção parece afirmar a existência de uma entidade geradora do movimento e repouso. No tratado “*Do Peso e do Equilíbrio dos Fluidos*” essa perspectiva parece ser a que condiz mais com as definições propostas. Nas definições propostas nos *Principia* há um afastamento da utilização de termos como *conatus*, mas a concepção de que a força é o princípio causal do movimento ainda é bastante significativa, mas agora com a distinção cuidadosa e claramente realizada entre a força de inércia, responsável pela manutenção do estado de movimento retilíneo uniforme ou de repouso de um corpo, e a força de alteração do estado de movimento de um corpo (força impressa).

Esta concepção de que a força é o princípio causal do movimento apresenta-se como um dos invariantes conceituais no ambiente teórico da prática científica da segunda metade do século XVII, e de certo modo é o que permite o ingresso dos *Principia* no debate científico. Lembre-se que, em Descartes, cuja proposta científica é um modelo explicativo baseado no mecanicismo estrito de partículas em movimento se chocando no decorrer do tempo, subjaz centralmente a lei da conservação da quantidade de movimento que, ainda que não codificando a idéia de força moderna estabelecida nos *Principia*, apresentava-se como princípio explicativo que, indiretamente, descrevia causalmente os resultados da interação entre partículas, papel bastante semelhante ao desempenhado pelas leis do movimento newtonianas.

Em outras palavras, a lei da conservação da quantidade de movimento era pensada pelos cartesianos, indiretamente, como uma lei de força, na medida em que é uma concepção aceita pela filosofia natural do período que força é o princípio causal da mudança do movimento⁵² e, no sistema cartesiano, o lugar deste princípio é ocupado pela lei de conservação de quantidade do movimento. Leibniz, não sendo propriamente um cartesiano, estava muito próximo dessa concepção em sua

⁵² Ellis, Brian D. (1962): *Newton's Concept of Motive Force*; *Journal of the History of Ideas*, Vol. 23, No. 2, pp. 277-278.

defesa do conceito de força viva, como sendo proporcional não ao produto da massa pela velocidade, mas pelo produto da massa pelo quadrado da velocidade ($F = m.v^2$).

Panoramicamente, podemos divisar nos *Principia* três tipos fundamentais de força que produzem alteração no movimento, a saber impacto ou percussão (que Galileu havia tratado sem muitos resultados em *Dois Novas Ciências*), pressão (que ganhará significado no livro II, onde Newton mostrará a incoerência do sistema cartesiano) e centrípeta, que matematicamente corresponde à força centrífuga de Huygens, embora sua interpretação seja absolutamente distinta, e que incorporou-se nos *Principia* de uma maneira preponderante no tratamento do movimento planetário.

Em uma segunda tipologia, observam-se na natureza as forças de resistência (principalmente nos fluídos), que constituirão um capítulo separado na investigação newtoniana (livro II), força de inércia, que constituirá um gênero à parte de força (segundo Newton, essencial à matéria) e por fim a força gravitacional, que será, de acordo com a leitura proposta, a dedução de uma força cuja causa é desconhecida mas cuja certeza matemática é indiscutível. Estas tipologias apontam para duas categorias gerais de força: forças impressas e força de inércia.

A força de inércia seria uma força resistiva interna ao corpo. A preocupação essencial de Newton será, no entanto, as forças que provocarão alteração no estado de movimento do corpo, isto é, as forças impressas. Seguindo a definição IV dos *Principia* :

A ação impressa é uma ação exercida sobre um corpo para mudar seu estado de repouso ou de movimento uniforme em linha reta.

Esta força consiste somente na ação, nem permanece no corpo depois dela. De fato, um corpo persevera em todo novo estado, apenas pela força de inércia. Mas a força impressa é de diversas origens, como percussão, de pressão e de força centrípeta.⁵³

Newton não trata nas definições das forças de percussão e de pressão, mas define três modalidades de força centrípeta: a absoluta, a aceleradora e a motriz. Mais significativas são as relações entre estas definições de força centrípeta e a segunda lei do movimento.

A formulação das leis newtonianas (particularmente a segunda lei) segue um padrão proposicional em que a proposição serve para representar de maneira geral a relação entre a força e a mudança do movimento ou, o que é o mesmo, a determinação de que mudanças de movimento são ocasionadas somente por forças (impressas). Estas forças impressas são de diversas origens e de

⁵³ Newton (1996) em coleção Os pensadores, pag. 22.

diversos tipos (percussão, pressão, centrípeta), mas se submetem todas à correlação proposta pela lei, isto é, as descrições particulares de forças promovem mudança do movimento (ou quantidade de movimento).

Por fim pode-se observar que a segunda lei de Newton, talvez o componente básico do núcleo duro do programa da mecânica racional, por um lado é fruto de uma longa discussão que se processou durante o século XVII e relaciona-se intimamente à lei da inércia. Por outro lado, epistemologicamente ela apresenta uma correlação entre força e movimento que, por um lado, implica este componente ontológico da mecânica racional newtoniana (força) e, por outro, fornece o horizonte geral que se consolidará nos pronunciamentos heurísticos do programa. Essas leis em conjunto implicam, em primeiro lugar, que o conceito de força passa a ser uma entidade explicativa fundamental, nomologicamente organizada pelas leis do movimento. Essas leis não só organizam e apresentam os princípios explicativos, articulados com a heurística do programa, mas representam uma estrutura ontológica. São essas proposições as elencadas como núcleo duro exatamente porque, estando já presentes (atual ou potencialmente) nas discussões científicas do período, sistematizam o conhecimento disponível em uma estrutura conceitual e ontológica não só coerente com os resultados mais disponíveis no momento, mas poderosa para avançar no conhecimento. O avanço no caso da mecânica racional newtoniana será efetivado, fundamentalmente, por sua teoria da gravitação.

4.6 Das leis do movimento à gravitação universal: caracterizando o subprograma da mecânica racional

O conceito de gravidade, advindo da filosofia natural aristotélica, asseverava que a tendência do corpo de se deslocar para o centro da Terra dependia do peso do corpo, o que significava intuitivamente que quanto maior o corpo, maior sua velocidade de queda em direção ao centro da Terra. A lei de queda dos corpos galileana mostrou a falsidade de tal proposição, na situação idealizada de ausência de resistência do ar, e os *Principia* forneciam as razões dinâmicas para o fato de que corpos de diferentes tamanhos (ou melhor, massas) caem com a mesma velocidade em direção ao centro da Terra. Esse movimento foi marcado conceitualmente por uma progressiva

distinção entre a gravidade como intrínseca ao corpo e a gravidade como agente do movimento, o que remete à discussão do conceito de força.

Em Galileu e seus seguidores observa-se já conceitualmente distinguido (e, aliás, esta é uma necessidade teórica para a dedução da lei de queda dos corpos) a gravidade como agente do movimento e o corpo como mero paciente. A partir desta distinção, caminhar-se-á em direção à idéia de que a gravidade, como agente, deve ser uma grandeza “intensiva” (com certa intensidade), sujeita a mensuração, que por fim ganhará contornos definitivos na proposição VI do livro III dos *Principia*, que verá o peso como dependente da gravidade e relacionado com a massa do corpo (cuja formulação algébrica moderna é $P = m \cdot g$ onde g é a aceleração da gravidade local e, como a própria forma da equação indica, trata-se de uma instância particular do princípio dinâmico $F = m \cdot a$).

Seguindo KUHN (1970[1995]; pp.227-228) esta proposição legaliforme (uma instância da segunda lei do movimento) permite a operacionalização efetiva da dinâmica newtoniana na medida em que, sem a necessidade de considerações causais mais profundas, fornece (indiretamente) os instrumentos de cálculo necessários aos objetivos teóricos do programa da mecânica racional. Um exemplo talvez seja representativo⁵⁴.

Tomando-se a segunda lei de Newton e o caso particular de uma força centrípeta aceleradora, vemos que um corpo orbitando ao redor de outro tomado como imóvel está sujeito a uma força

proporcional ao quadrado de sua velocidade tangencial sobre o raio da órbita ($F = \frac{m_1 \cdot v^2}{r}$, que é uma

instância de $\vec{F} = m \cdot \vec{a}$ onde “ \vec{a} ” é, neste caso, a aceleração centrípeta, igual a $\frac{v^2}{r}$) e mais ainda que

esta força tem origem gravitacional. Mas, seguindo o modelo desenvolvido no livro 1 dos *Principia*, a força gravitacional é inversamente proporcional ao quadrado da distância e diretamente com as

massas ($F = \frac{Gm_1m_2}{r^2}$ onde “G” é a constante gravitacional, “ m_1 ” e “ m_2 ” são as massas dos corpos e

“ r^2 ” é o quadrado da distância entre os corpos). Pela terceira lei do movimento, sendo as forças

descrições do mesmo fenômeno, elas são necessariamente iguais, o que permite igualar $F = \frac{m_1 \cdot v^2}{r}$ e

⁵⁴ Utilizamos a linguagem algébrica contemporânea, que obviamente é anacrônica, e não utilizando a simbolização vetorial, que seria a mais adequada. O que se procura aqui é salientar as relações entre as grandezas.

$F = \frac{Gm_1m_2}{r^2}$ em $\frac{m_1.v^2}{r} = \frac{Gm_1m_2}{r^2}$ e, a partir da igualdade estabelecida, calcular massas relativas entre planetas, sendo necessário estabelecer apenas grandezas observacionais (r ou v) ou uma infinidade de cálculos articulando definições e leis (mútua interação gravitacional, utilizando a terceira lei, em particular a terceira lei de Kepler, ou aproximações, etc.). A colocação em termos algébricos diferenciais do problema segue o seguinte padrão:

$$F = m_1.a;$$

$$F = \frac{Gm_1m_2}{r^2}$$

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2r}{dt^2}$$

Logo

$$\frac{Gm_1m_2}{r^2} = m_1 \frac{d^2r}{dt^2}$$

que é a equação diferencial a partir da qual as órbitas dos corpos celestes são calculadas, observando-se que a solução para a mesma são as seções cônicas (anexo 3 da monografia). Posto o problema, pode-se interpretar como Newton passou das leis do movimento à formulação da gravitação universal e a partir deste movimento corroborar a interpretação de que a lei da gravitação não faz parte do núcleo duro do programa da mecânica racional newtoniana, mas sim estabelece (e portanto faz parte do núcleo duro) de um subprograma da mecânica racional newtoniana, sua teoria gravitacional. A idéia de subprograma aqui pretende indicar a preocupação com um domínio mais restrito de problemas, tratados a partir das leis gerais propostas pelo programa (no caso em discussão, os axiomas do movimento) e de leis particulares, inferidas (ou simplesmente acrescentadas) para o tratamento do âmbito particular a que o mesmo se refere. No caso da mecânica racional, destaca-se não só o subprograma da gravitação, mas também do movimento em meios fluídos. Essas questões serão tratadas em maiores detalhes na seção seguinte.

Esse exercício preliminar já indica uma característica notável da mecânica racional newtoniana frente aos trabalhos de Huygens, por exemplo. Para este, a força que manteria os planetas em suas órbitas seria ‘centrífuga’, fruto do equilíbrio entre a tendência do corpo de se afastar do centro de movimento e a pressão (do vórtice de matéria sutil) em sentido contrário; já Newton estabelece que o movimento orbital é um movimento acelerado produzido por uma força

(não balanceada) desviando continuamente o corpo de sua curva inercial. Não há equilíbrio entre forças pois, se assim fosse, segundo as duas primeiras leis da dinâmica newtoniana, o corpo manter-se-ia em movimento inercial. Como há contínua mudança na quantidade de movimento (sob uma análise vetorial) deve haver uma aceleração contínua motivando-a.

Mais precisamente, como a proposição 1 deixou entrever, o movimento orbital pode ser interpretado como uma composição entre movimento inercial (ou uma componente inercial) ao longo da tangente da órbita (por isso a tendência de afastamento do centro, notada já por Descartes e mantida por Huygens) e uma força central que desvia a curva constantemente. É notável que, formulada nestes termos, a interpretação newtoniana aproxima-se claramente da teoria de Galileu do movimento de projéteis e, de fato, isto é asseverado por Newton no escólio da seção 1:

Se a elipse, removendo-se o seu centro a uma distância infinita, degenerar em uma parábola, o corpo se moverá nessa parábola; e a força agora tendendo para um centro infinitamente remoto, se tornará constante. Este é o teorema de Galileu.

NEWTON (1996). *Principia*; pág. 73.

Estes resultados, constituem o cerne do tratado *de Motu*, que Newton enviou preliminarmente a Royal Society, logo após a visita de Halley. O resultado essencial compartilhado pelos *Principia* e pelo *De Motu* podem ser condensados nas três seguintes proposições, apresentadas no início da seção 3 do livro 1 dos *Principia*:

Proposição XI. Problema VI. Se um corpo gira em uma elipse, propõe-se encontrar a lei da força centrípeta que tende para o foco da elipse.

Proposição XII. Problema VII. Suponha que um corpo se mova em uma hipérbole; propõe-se encontrar a lei da força centrípeta que tende para o foco dessa figura.

Proposição XIII. Problema VIII. Se o corpo se move no perímetro de uma parábola, propõe-se encontrar a lei da força centrípeta que tende para o foco dessa figura.

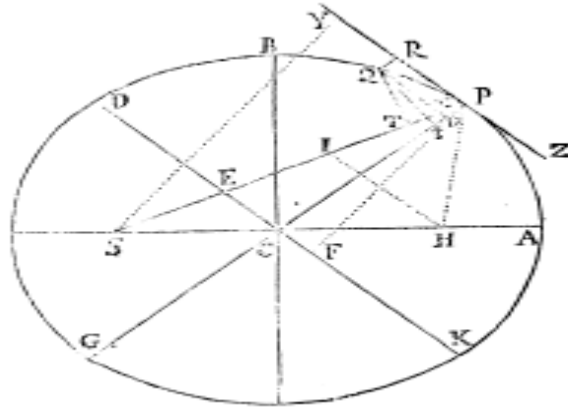


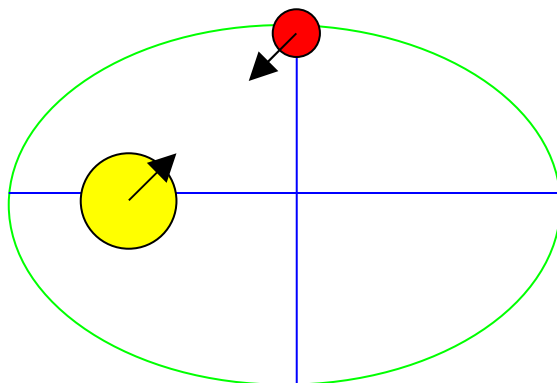
Figura 4: Formulação geométrica do problema do movimento orbital sob ação de uma força central.

Em todos os casos, a resposta encontrada foi a mesma: $F \propto \frac{SP^2 \cdot QT^2}{QR}$ o que, traduzida da linguagem geométrica da qual se serve os *Principia* para a linguagem algébrica contemporânea é a famosa relação fundamental $F \propto \frac{1}{d^2}$.

Não há dúvidas de que somente estes resultados teriam tornado a obra memorável. A análise do movimento, tomando como suas condições as leis dinâmicas propostas tinha superado em muito as especulações de Wren, Halley, Hooke e mesmo Huygens porque tinha resolvido o maior problema relacionado ao movimento planetário (problema direto), seja isto, dada a órbita, encontrar a força que a manteria. Fez isso não somente para o movimento elíptico, mas estendeu a análise a todas as seções cônicas, permitindo, a partir desta análise, a descrição e previsão dos movimentos dos cometas. Mais ainda, incorporando em seu programa a lei da inércia, deu significado físico para as leis de Kepler (através da lei da gravitação). Mas Newton foi ainda mais longe.

A evolução do tratado *De Motu* em direção aos *Principia* se deu pela introdução da terceira lei do movimento ou lei da ação e reação. Em *De Motu* Newton valeu-se apenas das duas primeiras leis dinâmicas e conseguiu deduzir as órbitas para corpos sob a ação de forças centrais. No entanto, o sistema físico real implicava a interação de no mínimo dois corpos (sistema Sol-planeta ou planeta-Lua), daí a necessidade de introduzir uma lei propriamente de interação que, na opinião de MACH (1883/1912[1949]), foi a maior contribuição de Newton para a mecânica.

Basicamente, os modelos iniciais de Newton eram matemáticos. Considerava-se um ponto-'massa' (matemático) e um centro de força (e não outro corpo). Contudo, o sistema planetário não era composto de pontos, mas de corpos físicos. Logo, a insatisfação de Newton com o modelo inicial (e fundamental) apresentado nas seções 2 e 3 do livro 1. O raciocínio, a partir do momento em que assenta este modelo inicial, geralmente segue o seguinte padrão: Considere-se um sistema de dois corpos, P1 e P2. Se P2 orbita ao redor de P1, então deve existir uma força central (dirigida para P1) tal que a órbita de P2 seja mantida. Logo, P1 deve exercer esta força. No entanto, pela terceira lei, P2 deve exercer uma força igual sobre P1, em sentido contrário. A primeira consequência é de que os corpos se movem, mais precisamente, ao redor de um centro de gravidade comum, ao invés de que um orbite ao redor do cento de gravidade do outro (seções IX e seguintes, livro 1).



Interação gravitacional P1-P2 (Sol-planeta)

Este modelo, se por um lado recusa a exatidão absoluta ao sistema kepleriano, explica seu sucesso: como a massa do Sol é muitas vezes maior do que a massa dos planetas, a diferença entre o centro de gravidade do Sol e o centro de gravidade do sistema é, para efeitos de cômputo (dadas as limitações dos instrumentos de medição da época) quase nula.

O salto abduativo de Newton foi a percepção de que a mesma força age em todos os planetas e de que esta é a mesma que age sobre os corpos próximos à superfície terrestre. Este salto abduativo apresenta-se racionalizado heurísticamente em duas de suas regras para o raciocínio em filosofia. A primeira diz que não se devem introduzir mais causas que as necessárias para explicar os fenômenos e a segunda afirma que devem asseverar-se as mesmas causas aos efeitos semelhantes (mais precisamente, mesmos efeitos). Logo, é sob este escopo teórico e conceitual que Newton afirmou

que a força entre o Sol e a Terra é do mesmo tipo que entre a Terra e a Lua e da Terra e os corpos próximos a sua superfície. Portanto, se encontrada uma lei de força para um destes problemas particulares, a lei valeria para todo o sistema, todos os planetas e seus satélites.

Tudo isso, no entanto, compõe apenas o pano de fundo ao grande momento dos *Principia*: o tratamento do movimento da Lua ao redor da Terra, com a perturbação da influência do Sol o que converte essa discussão no problema de três corpos. A complexidade do problema é fartamente conhecida, não alcançando uma solução satisfatória antes do surgimento da mecânica analítica lagrangeana. O tratamento (matemático) newtoniano da questão ocupa a proposição 66 e seus 22 corolários do livro 1.

No livro 3 finalmente Newton aplica os modelos matemáticos desenvolvidos nos livros 1 e 2 e apresenta o “*Sistema do Mundo*”. Inicia Newton apresentando seis fenômenos:

Fenômeno I. Os planetas circunjoveanos [satélites de Júpiter], em relação a um raio traçado a partir do centro de Júpiter, descrevem áreas proporcionais aos tempos descritos; e os tempos periódicos, estando as estrelas fixas em repouso, são como a potência $3/2$ de sua distância do centro.

Fenômeno II. Os planetas circunsaturnais [satélites de Saturno], em relação a um raio traçado a partir do centro de Saturno, descrevem áreas proporcionais aos tempos descritos; e os tempos periódicos, estando as estrelas fixas em repouso, são como a potência $3/2$ de sua distância do centro.

Fenômeno III. Os cinco planetas primários, Mercúrio, Vênus, Marte, Júpiter e Saturno, com suas diferentes órbitas, circundam o Sol.

Fenômeno IV. As estrelas fixas estando em repouso, os tempos periódicos dos cinco planetas primários, e o tempo periódico da Terra ao redor do Sol (ou do Sol a circundar a Terra), são como a potência $3/2$ de suas distâncias médias do Sol.

Fenômenos V. Então os planetas primários, traçado um raio a partir do centro da Terra, de nenhum modo descrevem áreas proporcionais aos tempos; porém as áreas que eles descrevem em relação a um raio traçado a partir do centro do Sol são proporcionais aos tempos de descrição.

Fenômeno VI. A Lua, em relação a um raio traçado a partir do centro da Terra, descreve uma área proporcional ao tempo de descrição⁵⁵.

O elenco desses fenômenos tem duas funções. A mais óbvia é garantir a validade empírica da lei de Kepler, o que Newton faz apresentando uma longa lista de dados astronômicos corroborando

⁵⁵Tradução nossa da 3ª edição de Andrew Motte (1729), revisada por Florian Cajori.

cada proposição (fenômeno). Uma função mais sutil, corporificada no quinto ‘fenômeno’, é de legitimar, através dos dados que dão suporte empírico à lei de Kepler, o sistema copernicano. A lei de Kepler não se aplica a um sistema centrado na Terra, mas por outro lado, é fartamente corroborada para o sistema Sol-planetras e para os planetras e suas luas. Logo, por ascensão indutiva da verdade, o sistema copernicano deve ser considerado o verdadeiro sistema de mundo, o que aliás é uma pressuposição elementar do livro 3 dos *Principia*.

A passagem das leis do movimento para a gravitação universal passa a ser extremamente simples: dados os modelos presentes especialmente no livro 1, constata-se facilmente que estes se aplicam aos fenômenos descritos e satisfazem às restrições impostas (em particular as leis de Kepler). Logo, sendo modelos dos fenômenos descritos e obtendo uma adequação empírica ímpar, os princípios (ou leis) dos quais se derivaram os modelos são no mínimo princípios explicativos bem sucedidos dos fenômenos descritos. Como é subjacente, epistemologicamente, um fluxo indutivo de verdade no sistema newtoniano, o passo extra será afirmar que, sendo os modelos adequados, os princípios são reais (ou pelo menos suas formas matemáticas são verdadeiras). Assim, a força que mantém as órbitas planetárias deve ser proporcional ao inverso do quadrado da distância, embora, sob uma ótica mecanicista estrita, não se conheça sua causa.

A realidade física pressupõe a interação entre corpos celestes através de uma força cuja métrica básica está demonstrada através da relação inversa do quadrado da distância. As proposições 6 e 7 corporificam a gravitação universal em seus termos físicos finais:

Proposição VI. Teorema VI. Todos os corpos gravitam em direção a todo planeta; e os pesos dos corpos para qualquer dos planetras, a igual distância do seu centro, é proporcional à quantidade de matéria de que são compostos.

Proposição VII. Teorema VII. Há um poder de gravidade pertencendo a todos os corpos, proporcional à quantidade de matéria que eles contêm⁵⁶.

A conclusão neste momento é óbvia. A força que mantém as órbitas planetárias é inversamente proporcional ao quadrado da distância, como ‘demonstrado’ através dos modelos do livro 1 e mais, do ponto de vista físico, são diretamente proporcionais às massa inter-atuantes. Algebricamente, a expressão canônica é

⁵⁶Tradução nossa da 3ª edição de Andrew Motte (1729), revisada por Florian Cajori.

$$\vec{F}_{\text{gravitacional}} = - \frac{G.m_1.m_2}{r^2} \hat{r} \quad \text{onde } \hat{r} = \frac{\vec{r}}{r}$$

Gravidade portanto passa a ser considerada uma força universal, que age e se origina em qualquer quantidade de matéria, logo associada a tudo que contém massa.

Newton estava consciente desde o primeiro momento que seu primeiro modelo matemático não era satisfatório fisicamente, em primeiro lugar porque as forças deveriam ser dirigidas para corpos físicos e não pontos matemáticos (ou pontos-massa). Em segundo lugar, os centros de gravidade dos corpos em interação gravitacional poderiam estar em movimento, introduzindo complicações que, associadas às perturbações interplanetárias, implicavam a recusa do modelo proposto por Kepler através de suas leis. Era um corolário necessário da teoria gravitacional de Newton que os planetas nunca repetissem a mesma órbita exata. Porém reconhece o autor dos *Principia* que, dada a natureza do problema, não seria o intelecto humano capaz de calcular precisamente as órbitas planetárias, como afirma explicitamente o professor lucasiano em suas cartas à Bentley (conf. COHEN, I.B. & WESTFALL, R. S. :1995[2002]).

Passo a passo, através de sucessivos modelos, Newton passa de uma força central agindo sobre um corpo para a gravidade universal. A idéia fundamental nesta progressão foi a separação entre “massa” e “peso” e a idéia de que a gravidade terrestre alcançaria a Lua. Peso ou gravidade terrestre é um fenômeno comum, cuja teoria dos movimentos locais de Galileu já havia utilizado como princípio motor, embora tanto quanto Newton, este desconhecesse sua causa. O primeiro movimento de Newton na constituição de sua teoria gravitacional foi calcular se, supondo a gravidade terrestre como causa do movimento lunar, o desvio em relação à tangente seria proporcional ao inverso do quadrado. Como os dados iniciais de Newton não eram precisos, foi somente na época da publicação de *De Motu* que os cálculos mostraram-se consistentes com a hipótese.

Supondo a validade da lei do inverso do quadrado, a aceleração produzida pela gravidade terrestre na lua, à distância de 60 raios terrestres, deveria ser de 1/3600 da aceleração local, cujo valor já havia sido estabelecido por Huygens anos antes ($\cong 10m/s^2$).

O próximo passo foi calcular, através dos dados astronômicos disponíveis, o desvio em relação à tangente (a altura de queda da lua) em uma unidade de tempo dado. A teoria implicava que a aceleração seria da ordem de 1/3600 da aceleração próxima a superfície terrestre, provocando uma

queda proporcional a tal aceleração. Os dados observacionais concordaram com os cálculos teóricos, o que se constitui na primeira vitória do programa newtoniano.

Exemplo também significativo do poder do programa gravitacional newtoniano foi a explicação das marés oceânicas como o resultado da ação combinada da atração gravitacional da Lua e do Sol sobre os mares e por fim o movimento dos cometas que, no sistema newtoniano, podem ser pensados como um gênero de planetas com órbitas muito excêntricas (MACH:1883/1912[1949], pp. 180-216).

4.7 Confirmação do núcleo do programa: justificação epistemológica das leis do movimento

Newton não formula explicitamente uma teoria da confirmação, embora sua obra, dada a multidão de questões novas e de resultados surpreendentes, demande substancialmente uma, em particular porque ela se imagina e defende uma “filosofia experimental” baseada na indução de leis gerais a partir dos fenômenos (Escólio Geral). Filosoficamente, a insistência na base experimental e observacional das teorias, como afirmado acima, liga-se à concepção metafísica de uma criação ordenada cujo acesso epistêmico não se pode dar por meio da intuição de primeiros princípios, mas somente pelo progressivo avanço no catálogo sistemático das regularidades naturais. Nesse sentido, a confirmação de uma proposição ou uma lei experimental de nível restrito, como as leis de Kepler, parece implicar a justificação na crença dos princípios gerais dos quais a mesma é dedutível, caso em que a confirmação em um nível iguala-se a justificação experimental no outro. Em princípio, tal modelo de confirmação é pautado no método analítico sintético, o que apresenta o acordo de Newton com o modelo geral de solução de problemas no século XVII; mas tal filiação demanda uma investigação mais acurada. No prefácio crítico de Cotes afirma-se:

[A filosofia experimental] deriva as causas de todas as coisas dos mais simples princípios possíveis; porém não se assume nada como princípio que não seja provado através de fenômenos. Não se imaginam hipóteses, nem se as aceitam na filosofia senão como questões cuja verdade possa ser disputada. Procedem-se por essa razão em um método duplo, sintético e analítico. A partir de alguns fenômenos selecionados deduzem-se por meio da análise as forças da Natureza e as mais

simples leis de força; e a partir disto por meio da síntese mostram-se a constituição do resto. Este é incomparavelmente o melhor modo de filosofar...

Newton : *Principia*, prefácio a segunda edição , pág. xxi⁵⁷.

Embora não se formule nos *Principia* uma teoria da justificação experimental clara, (tampouco se a formula em outros textos fundamentais de Newton, pelo menos que o autor deste trabalho tenha notado) aparece implicitamente a postulação de certas condições de adequação para uma “confirmação qualitativa”, muito próxima à idéia de “função qualitativa de confirmação” proposta por HEMPEL. Seguindo o autor⁵⁸ uma função de confirmação qualitativa satisfaz duas condições gerais:

(i) ‘condição de consequência’: se um enunciado confirma (qualitativamente) uma hipótese H, ele também confirma (qualitativamente) toda consequência de H;

(ii) ‘condição reversa’ (pode-se pensar indutiva): se um enunciado confirma (qualitativamente) uma hipótese H, ele também confirma (qualitativamente) toda hipótese que implica H.

A discussão do que seria uma confirmação qualitativa tomaria demasiado espaço e, por simplificação, se aceita que é uma perspectiva que procura tangenciar os problemas lógicos derivados de qualquer teoria quantitativa (probabilística) de confirmação (tal como a de Carnap), codificando a intuição de que o valor de verdade de uma proposição flui através de suas consequências dedutivas e, inversamente, das consequências deduzidas e confirmadas para as proposições das quais foram deduzidas. Sob uma análise estritamente lógica tal função de confirmação não se mantém, porém, do ponto de vista das ciências naturais, pode-se associar-lhe um valor pragmático e intuitivo. Mais ainda, este modelo de justificação parece captar, no âmbito da investigação natural, aspectos essenciais do método de análise e síntese, corrente na prática científica do século XVII.

Assim sendo, os axiomas newtonianos se justificariam devido à dedução das leis de Kepler (aproximada), a lei de queda de Galileu (aproximada) e da lei de força centrífuga de Huygens, todos os resultados bem confirmados (compondo o conhecimento de fundo da época) e que implicariam,

⁵⁷Tradução nossa da 3ª edição de Andrew MOTTE (1729), revisada por Florian CAJORI.

⁵⁸HEMPEL, C. (1965): *Aspects of Scientific Explanation*, New York: Free Press.

pelo segundo critério apresentado da confirmação qualitativa (condição reversa), a confiança e a confirmação das leis newtonianas.

Supondo-se o critério da ‘condição reversa’, a evidência para as leis de Kepler e Galileu fornecem evidência (indireta) para os axiomas newtonianos. Em outros termos, sendo bem confirmadas, estas leis servem de suporte epistêmico para a teoria dinâmica newtoniana, na medida em que esta ‘deduz’ as leis particulares empiricamente estabelecidas. Nesse sentido, o modo plausível de compreender a concepção de justificação experimental newtoniana seria supor que a evidência experimental confirma diretamente leis experimentais/observacionais e, se estas leis são implicadas por uma teoria mais geral, então, em virtude da suposição da validade da ‘condição reversa’(ii), a evidência experimental também confirma a teoria (ou mais coerentemente com a análise proposta, justifica a mesma).

Por outro lado, se aceito que as leis de Kepler, por exemplo, serviram de suporte à construção do sistema newtoniano, deve-se reconhecer que a dedução da mesma neste sistema não deve contar como evidência, na medida em que uma mesma informação não deveria ser utilizada duas vezes na justificação de uma teoria⁵⁹. O que nos parece mais provável é que subjacente à concepção newtoniana de justificação experimental encontra-se uma distinção clara entre suporte gerativo (as proposições ou leis que serviram de limitante teórico à formulação da teoria, por encontrarem-se bem corroboradas) e suporte consequencial, ou seja, as proposições deduzidas da teoria que são novas previsões (ou explicações) em relação ao corpo de conhecimento disponível. De todo modo, o programa newtoniano satisfaz ambos os âmbitos.

De um lado, o conhecimento de fundo sugeriu a melhor informação disponível para a construção de teorias e as previsões que dela se deduzem fornecem, por outro lado, indícios de sua capacidade (epistêmica e pragmática). De certo modo, pode-se compreender a posição newtoniana como a aceitação de que a evidência posta (e essa talvez seja a característica central do indutivismo newtoniano), isto é, sua anterioridade em relação à teoria a ser testada, implica a possibilidade de decidir que teorias devem ser aceitas, em vista desta evidência prévia, codificada em leis empíricas ou de menor generalidade bem corroboradas, pela comparação qualitativa da quantidade de informação estabelecida que se deduz da teoria (suporte gerativo) e a quantidade de novas previsões que ela oferece.

⁵⁹ O que se põe é que, se a mesma proposição serve de suporte gerativo e consequencial de uma teoria, isto é, ela é utilizada para deduzir a teoria e a teoria a deduz, encontra-se a teoria em um regresso infinito, onde a teoria e suas deduções estabelecem uma mútua dependência, impedindo um teste empírico (de qualquer parte) independente, o que se apresenta como um requisito intuitivo da justificação (confirmação) experimental.

ZAHAR (*Why did Einstein programme superseded Lorentz' in Method and appraisal in the physical sciences*) estabelece tal perspectiva mediante a reformulação do conceito de “novidade”, em relação àquele provindo da metodologia lakatosiana: não só novas previsões são fatos novos, mas também explicações para relações conhecidas e não explicadas pelas teorias rivais são fatos novos. No caso dos *Principia*, aceitando-se as leis de Kepler (explicadas pelo sistema newtoniano, tanto sua validade como aproximação quanto, em sentido estrito, sua falsidade), deve-se a um só tempo negar a teoria dos vórtices cartesiana e, aceita a terceira lei do movimento, mais o corpo de fenômenos disponíveis (apresentado nos Fenômenos do Livro III), a conclusão de que uma força de atração entre os corpos celestes produz a variação do movimento que estrutura as órbitas planetárias (GLYMOUR: 1981).

Assim sendo, a concepção newtoniana de que uma teoria deve provir dos fatos pode ser entendida como a defesa de que teorias devam possuir evidência empírica bem estabelecida que legitimem a crença no corpo teórico, via o modelo de confirmação qualitativa acima evocado (HEMPEL: 1965; POINCARÉ:1902[1984]). Necessariamente tal concepção guia a uma estrutura conceitual que separa claramente a evidência disponível, a teoria como um todo e algum fragmento teórico sob investigação, como dá entender a quarta regra da filosofia no livro III:

Na filosofia experimental nós devemos atentar para proposições inferidas por indução geral a partir dos fenômenos como corretamente ou muito aproximadamente verdadeiras, não importando qualquer hipótese que possa ser imaginada, até o momento em que outros fenômenos ocorram, por meio dos quais a indução possa ser feita mais precisa ou passível de exceções⁶⁰.

Como construir um corpo teórico que admita exceções é sem dúvida um problema filosófico profundo, se contrastado com a concepção do início da Modernidade de prática científica e sua axiologia em relação às leis naturais (representativas das causas verdadeiras dos fenômenos), embora apontem para a consciência de Newton que a indução de leis a partir dos fenômenos não se confunde com uma dedução matemática, tal como se poderia inferir em sua insistência em afirmar que “deduziu” as leis do movimento e da gravitação dos fenômenos. Esse ponto foi ressaltado por Duhem (1906[1981]), como foi evocado no capítulo 1.

As leis newtonianas oferecem não só a realização do ideal epistêmico da prática científica vigente no século XVII, pela construção de um sistema científico *more* geométrico de conhecimento

⁶⁰Tradução nossa da 3ª edição de Andrew MOTTE (1729), revisada por Florian CAJORI.

natural, por meio da “descoberta” da lei da gravitação universal, matematicamente determinada e universalmente válida. Como argumenta COHEN (1980[1983]), o trabalho de Newton deve ser compreendido não só como a redução de um campo limitado de fenômenos à ordenação matemática, mas, sobretudo, do estabelecimento e expressão desta ordenação por meio de uma lei definitivamente fundamental, a lei da gravitação.

O século XVIII seguramente assim compreendeu a descoberta de Newton e formalizou esta compreensão no lamento de Laplace de que “havendo somente uma lei universal a ser descoberta, esta já fora encontrada por Newton”.

Assim sendo, os componentes essenciais do núcleo duro do programa de mecânica racional newtoniano e o subprograma da teoria gravitacional foram apresentados. A questão agora é a análise da recepção deste núcleo duro pelos sucessivos cientistas que adotaram a filosofia newtoniana ao longo do século XVIII.

Os resultados da utilização desta lei na explicação dos fenômenos naturais foram fantásticos: a explicação física (causal) das leis de Kepler, do movimento local, das marés, dos diversos movimentos da Terra (translação, nutação, precessão)⁶¹, a explicação das órbitas dos cometas, entre outros. O que é importante, o programa da mecânica racional newtoniana, em particular o subprograma da teoria gravitacional, é reconhecidamente progressivo em sua origem.

A faceta a ser destacada na concepção de método indutivo na mecânica racional newtoniana se liga à sujeição dos fenômenos da natureza à leis matemáticas centradas na noção de força. Componente heurístico fundamental da mecânica, a procura por forças da natureza implica a interpretação de que os axiomas do movimento devam ser entendidos como condições do movimento possível e a base empírica como limitantes à teorização sem os quais a filosofia natural poderia degenerar em um belo romance apenas.

Mais ainda, se projetarmos essa conclusão parcial sobre o conceito epistemológico de núcleo duro, infere-se que não é qualquer conjunto de suposições que se estabelece como núcleo duro de um programa de pesquisa. Essas proposições devem conter elementos dos quais se 'deduza' uma ontologia mínima e um conjunto de proposições que representem, pelo menos como

⁶¹ **Translação:** É o movimento que a Terra realiza em torno do Sol. Esse movimento altera a distância entre a Terra e o Sol, durando 365 dias, 6 horas e 48 minutos, sendo o movimento responsável (essencialmente) pelas estações do ano.

Precessão: Movimento da Terra parecido com o do movimento de um pião. O período para realizar esse movimento é de 25.800 anos. O movimento de precessão é realizado em torno de um eixo perpendicular.

Nutação: Movimento em torno da normal ao plano da órbita, é causado por alterações gravitacionais provocados pela interação Terra - Lua - Sol, a duração desse movimento é de 18,6 anos. Todos estes movimentos eram conhecidos desde a antigüidade, sendo explicados pelos *Principia* de maneira elegante e integrada ao sistema newtoniano.

aproximação, o conhecimento de fundo disponível, as relações entre as entidades fundamentais e mais ou menos diretamente a expressão da heurística positiva por meio das relações propostas. No caso do programa da mecânica racional, observa-se o caráter ontológico da lei de inércia, a afirmação de uma relação fundamental (força como motor da alteração do movimento) e um corolário operacional (que não foi tratado extensivamente neste ensaio, mas que, segundo a perspectiva de Mach, apresenta-se como a maior inovação da ciência newtoniana) a terceira lei ou princípio de ação e reação.

É interessante notar que o princípio de ação e reação corporifica uma concepção metafísica indiretamente (causa é proporcional ao efeito) de uma maneira cientificamente aplicável aos problemas mecânicos, em particular aos problemas de mecânica celeste. O passo natural face a esta incursão sobre a gênese da mecânica racional é avaliar sua recepção pela ciência e filosofia do continente europeu no século XVIII, procurando reconhecer os elementos epistemológicos que se mantêm e a forma em que as leis dinâmicas são interpretadas. Essa investigação, ainda próxima à historiografia da ciência em um sentido mais estrito, imagina-se fornecer indicações para o refinamento epistemológico da noção de núcleo duro.

Capítulo 5

O legado newtoniano e sua recepção no continente europeu no século XVIII: o “núcleo duro” da mecânica racional newtoniana nas obras de Euler e d’Alembert

A unidade organizada de pesquisa na metodologia de Lakatos deixa de ser a teoria isolada e passa a ser o programa de pesquisa. Um programa de pesquisa se constitui em uma série de teorias sucessivas que se ligam umas às outras pelo compartilhamento de proposições tornadas metodologicamente irrefutáveis, o chamado núcleo duro que, na análise historiográfica, torna-se o elemento de identificação do programa. Este componente meta-teórico delimita o programa, e o desencadeamento de articulações e rearticulações do mesmo (progressivas) que constituem a pesquisa propriamente dita, dependem de teorias auxiliares, dados observacionais, indicações metodológicas, (tomadas em conjunto como “cinto de proteção” do programa) entre outros elementos que Lakatos chama de 'heurística positiva'.

A heurística positiva, note-se, é somente um conjunto parcialmente articulado de sugestões ou palpites sobre como mudar e desenvolver as variantes refutáveis do programa, e sobre como modificar e sofisticar o cinto de proteção “refutável”. Em conjunto, a heurística negativa associada à positiva compõe o programa, cuja continuidade se explica por essa relação dinâmica entre um componente mutável (cinto de proteção) e um componente conceitual estável. Nas palavras de Lakatos:

Essa continuidade se desenvolve a partir de um autêntico programa de pesquisa, esboçado desde o princípio. O programa consiste em regras metodológicas; algumas nos dizem quais são os caminhos que devem ser evitados (heurística negativa), outras nos dizem quais são os caminhos que devem ser palmilhados (heurística positiva).

LAKATOS:1970[1979], p.162.

Todos os programas de pesquisa científica podem ser caracterizados pelo “núcleo”. A heurística negativa do programa nos proíbe de dirigir o modus tolles para esse “núcleo”.

LAKATOS: 1970[1979], pág. 163

É necessário, portanto, face à tentativa de análise do programa newtoniano de mecânica racional, estabelecer os critérios mínimos para a asserção historiográfica de que os *Principia* de fato constituíram o momento inaugural de um programa de pesquisa que continua e se desenvolver no século XVIII. Os critérios centrais estabelecidos pela metodologia dos programas de pesquisa científica foram evocados acima e discutidos nas seções iniciais deste trabalho. Em particular, além dos elementos estruturais, essencialmente o núcleo duro e a heurística, deve-se verificar a descoberta de fatos novos que corroboram o programa de pesquisa e justificam o crescente trabalho científico sob seu patrocínio. A discussão do que seria a novidade científica e o reconhecimento de suas características distintivas, critérios de reconhecimento e de justificação compõem um tema de investigação *per se* e aqui notaremos somente alguns aspectos particulares pertinentes ao tema da presente monografia.

Antes, contudo, é necessário encarar uma primeira constatação, que a metodologia de Lakatos incorpora profundamente aspectos convencionalistas, o que implica a reflexão sobre as conseqüências (e relações) da chamada tese Duhem-Quine⁶² para a mesma e a historiografia a ela atrelada. Sumariamente, a tese afirma que qualquer classe de enunciados (sob condições muito gerais) pode ser salva de refutação, dado que um enunciado particular (por exemplo, uma previsão de um sistema teórico) nunca comparece sozinho ao tribunal da experiência, mas sim em conjunto (o enunciado depende logicamente do sistema a que está vinculado, este, no caso das ciências empíricas, composto de axiomas, dados de observação e teorias observacionais, condições de contorno, etc.) e não se pode identificar, dada a natureza da relação de confirmação entre enunciados, qual é exatamente aquele que, no sistema, é falso (e responsável pela previsão refutada). Mais ainda, um enunciado sozinho não implica a previsão refutada, mas o sistema como um todo.

Este fato é especialmente importante para metodologias partidárias de “níveis” de convencionalismo, como a lakatosiana, dado que, seguindo as conseqüências da tese acima evocada, sob refutação, um sistema de proposições pode ser salvo através da introdução de hipóteses novas (salvadoras) re-configurando o sistema falho, proposições estas que não devem (ou melhor, não deveriam) ser *ad hoc* (o que poderia ser perfeitamente aceitável para uma metodologia puramente convencionalista, que, entretanto, dificilmente se confirme na prática científica concreta), mas

⁶² De maneira breve esta afirma que hipóteses isoladas, e até mesmo teorias, nunca se testam individualmente, mas como partes de redes mais amplas de crenças. Essa impossibilidade de teste isolado faz com que quando um conjunto de proposições falha na realização de uma previsão, nós nunca possamos apontar a proposição individual que falhou, ficando portanto à nossa escolha ou refutar o conjunto ou produzir modificações neste de modo a reconfigurá-lo para poder digerir a anomalia.

proposições cuja introdução no sistema seja epistemologicamente justificada, o que significa que, além de salvar o sistema da refutação, permita a explicação ou previsão de fenômenos novos, além de não acarretar a perda de inteligibilidade de fenômenos conhecidos.

Pressupondo-se, como faz Lakatos, que se pode aprender com a experiência (em alguma medida), expedientes de salvação tipicamente *ad hoc* não são epistemologicamente aceitáveis⁶³, pois não levam constantemente ao progresso teórico e empírico, e não são freqüentemente utilizados por programas de pesquisa (HOWSON: 1976, introdução). O dilema presente na metodologia lakatosiana é de que ela admite um “grau de convencionalismo” não explicitado (LAKATOS: 1978, cap. 1, vol. 1). Para o falseacionismo popperiano a questão não é tão dramática, pois o critério negativo da falseabilidade, junto ao padrão de honestidade intelectual de intolerância a teorias refutadas afasta, de certo modo, as conseqüências da tese Duhem-Quine (sempre se recusa o sistema inteiro, pelo menos do ponto de vista normativo, embora pragmaticamente a questão seja bastante mais complicada).

O falseacionismo sofisticado, por outro lado, postulando critérios positivos tais como os configurou, não pode negar que, segundo seus próprios critérios, salvar uma teoria (a n-éssima teoria do programa) da refutação constitui o alvo maior da atividade científica. Assim sendo, sempre se deverá procurar adequar um sistema teórico às refutações experimentais e, portanto, em condições muito gerais, nunca se terá uma razão objetiva para abandonar um programa de pesquisa estabelecido, dado que fatos recalcitrantes sempre estarão presentes no avanço da atividade científica, sendo seu motor. Segundo a concepção do próprio Lakatos, a criatividade de um grupo de cientistas pode fazer perdurar o programa de pesquisa mais absurdo, tanto quanto derrubar o mais sólido pilar do conhecimento estabelecido. Mesmo que se imponha como critério de legitimidade a anti-ad-hocidade do produto final, não se vislumbra um critério claro (isto é, um critério de corte inequívoco que estabeleça as condições para o abandono de um programa teórico) além, é claro, de que impor a anti-ad-hocidade como critério de legitimidade é um expediente ad-hoc no nível meta-teórico.

O progresso científico encarado como a rearticulação constante de teorias dentro de um programa é o objetivo final da ciência segundo a metodologia lakatosiana e, vistas as conseqüências lógicas da tese Duhem-Quine, admite-se que, sem maiores qualificações, todo programa pode ser

⁶³ Na verdade Popper admite que, em certas ocasiões, utilizar-se de hipóteses ad-hoc pode apresentar-se como progresso, especialmente se a teoria em questão possuir um alto grau de corroboração. Conferir especialmente *Conjecturas e Refutações*, cap. 5.

mantido não importa o que informa a experiência. Certas passagens do ensaio seminal de Lakatos (*O falsificacionismo e a Metodologia dos Programas de Pesquisa Científica*) corroboram tal perspectiva e encaminham a interpretação da filosofia lakatosiana como um relativismo extremado.

No entanto, a presença indispensável da história da ciência no pensamento de Lakatos, solo a partir do qual as metodologias científicas se erigem e são “testadas”, nos permite reavaliar a crítica levantada na medida em que i) não se verifica historicamente a defesa encarniçada de um programa de pesquisa, por mais progressivo que este tenha sido em algum momento dado; ii) não se verifica essa defesa, pois o progresso científico está intimamente associado à competição entre programas de pesquisa rivais; iii) é inelutável que, mesmo não existindo um ponto natural de saturação de um programa de pesquisa (ponto a partir do qual passa a ser não científico continuar trabalhando pelo seu desenvolvimento), existe um ponto (temporalmente extenso, freqüentemente) em que a superioridade teórica e empírica de um dos contendores torna-se evidente, o que, num amplo registro e em vista dos objetivos da ciência, “impõe” o abandono da teoria “degenerada”.

Este último ponto constitui a razão objetiva da eleição teórica, seja isto, a previsão de fatos novos, a aquisição constante de novas teorias auxiliares e a maior força heurística (LAKATOS: 1970[1979], p. 191). Nesse sentido, as ditas “experiência cruciais” mostram-se antes títulos honoríficos do que eventos eficientes no progresso da ciência. Nas palavras de Lakatos:

a racionalidade trabalha muito mais devagar do que a maioria das pessoas tende a pensar e, mesmo assim, falivelmente. A coruja de Minerva voa ao cair da noite

LAKATOS:1970[1979], p. 216

A pergunta a ser feita no caso do programa newtoniano de pesquisa se colocaria nos seguintes termos: quais seriam as razões que motivaram um grupo inicial de investigadores a abandonar suas concepções prévias, geralmente adquiridas durante sua formação intelectual (e, segundo Feyerabend e Kuhn, fornecendo explicações satisfatórias para amplas classes de fenômenos, não raro os mesmos que a nova teoria tentava explicar), a abraçar as concepções newtonianas cujos fundamentos epistemológicos, metafísicos e científicos ainda estavam em debate? A crença no valor conceitual e científico nas leis newtonianas, núcleo duro de seu programa, toma que feições nos seguidores de Newton? A recepção do núcleo duro do programa newtoniano se dá

de que forma e, por fim, esta forma pode ser admitida sob a ótica da racionalidade exposta na metodologia dos programas de pesquisa científica?

Preliminarmente concluiu-se que uma das características que deve estar presente no programa newtoniano da mecânica racional a partir dos *Principia* é a previsão de fatos novos, articulados intimamente com o núcleo do programa. Preliminarmente portanto, é necessária uma definição de “fato novo” no contexto do estabelecimento da mecânica racional newtoniana. Em primeiro lugar, mostrou-se que subsiste uma íntima relação entre as teorias de Kepler, Galileu e Huygens na construção conceptual dos *Principia*, embora estas sejam corrigidas pela teoria newtoniana. Esta correção, por si mesma, representaria um fato novo para a ciência? Em que medida estas teorias, utilizadas na construção da mecânica racional newtoniana, poderiam (se é que poderiam) fornecer apoio empírico (independente) para a mesma?

Seguindo a perspectiva de ZAHAR:

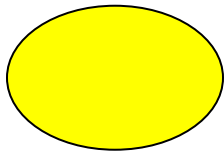
Um fato será considerado novo em relação a uma dada hipótese se ele não pertence à situação problema que governou a construção da hipótese.(...) Minha redefinição de novidade equivale a alegação de que a condição para avaliar a relação entre teorias e informação empírica, dentro de um programa de pesquisa, deve levar em consideração o modo pelo qual a teoria é construída e os problemas que ela foi desenhada para resolver⁶⁴.

ZAHAR, E. in HOWSON: 1976, pp. 218-219.

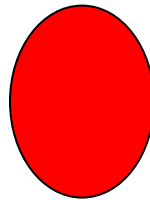
Tal definição parece dar legitimidade a uma distinção. De um lado, os *Principia* possuem a clara intenção de reduzir as leis disponíveis sobre os fenômenos do movimento a um conjunto simples de leis gerais. Este é sem dúvida o problema teórico que os *Principia* se propõe a solucionar e de certo modo o alcança pelas leis do movimento. Em certo sentido, as teorias que foram utilizadas na construção da teoria dinâmica newtoniana, embora não sirvam de critério epistêmico de justificação da teoria mesma (pois não constituem fatos novos), servem como limitantes teóricos e suporte gerativo de credibilidade, isto é, a confiança nas teorias de base implica níveis maiores de confiança na teoria mais geral que as implicam (pelo menos aproximadamente). Por outro lado, este critério mínimo de credibilidade deve ser complementado por um nível crescente de suporte preditivo, isto é, uma teoria satisfatória deve prever fatos novos, o que indicaria aos partidários do programa que a teoria se correlaciona com os fatos analisados.

⁶⁴Tradução nossa, original em inglês.

A superioridade conceitual do sistema de mundo newtoniano, corporificado nas leis do movimento e da gravitação universal, parece ter tornado-se clara quando da recepção da mecânica racional newtoniana na academia francesa de ciências e no pensamento científico em geral em França. A divulgação do sistema newtoniano, iniciada por Voltaire nas *Cartas Inglesas (Letters on England)*, além dos esforços de Maupertuis e Clairaut podem sem dúvida ser consideradas fundamentais para a sorte do desenvolvimento da mecânica racional. O ano de 1735 talvez seja o de maior importância neste movimento, pois foi o ano em que os resultados de duas expedições da academia francesa de ciências, enviadas à América do Sul e ao círculo polar, para realizar a mensuração de um arco de meridiano no equador terrestre e nas imediações do ártico, levaram a conclusão em favor da previsão da mecânica newtoniana de que as forças dinâmicas e da gravitação envolvidas nos vários movimentos da Terra implicariam seu achatamento nos pólos, em oposição a teoria rival, defendida pelo diretor do observatório de Paris do período, Jacques Cassini, que afirmava que a forma da Terra seria um esferóide alongado.



Previsão newtoniana



Teoria rival (neocartesiana)

Essa vitória newtoniana ecoou no ambiente intelectual francês e em larga medida os filósofos naturais e cientistas do continente passaram a trabalhar sob a tutela das idéias presentes nos *Principia*. Esse movimento, que começara já no início do século XVIII ganhava novos contornos pois, inicialmente, os *Principia* eram vistos como uma obra de matemática aplicada, estando a física a ela atrelada ainda em questão. A partir desse momento, a física dos *Principia* deixa de estar em questão e passa a ser a ortodoxia. Nesse quadro, além dos autores mencionados acima, Euler e

d'Alembert, ainda na primeira metade do século XVIII, foram grandes continuadores do pensamento newtoniano e consolidaram a mecânica racional e o tratamento analítico dos conceitos físicos.

Assim sendo, seguindo a teoria da racionalidade científica de Lakatos, parecem existir condições suficientes para a afirmação de que o programa newtoniano de mecânica racional era progressivo teórica e empiricamente já na primeira metade do século XVIII. Neste período, foi capitaneado pelos cientistas franceses, dos quais destacamos d'Alembert e Euler. Entretanto, a recepção do programa newtoniano da mecânica racional no continente foi permeada de diferentes movimentos e momentos.

Um primeiro fato a ser destacado é de que o impacto dos *Principia* no ambiente científico foi quase imediato. Halley havia, entre 1684 e 1686, preparado a recepção da obra magna do professor lucasiano, sendo o principal incentivador e divulgador da mesma. Quando publicada, tornou-se assunto de vivos debates na Royal Society e rapidamente chegou ao continente europeu onde, se não foi imediata e inegavelmente reconhecido seu valor como obra destinada à filosofia natural (face ao debate com os neocartesianos e, em particular Huygens, campeão da ciência de sua época), certamente o foi como obra matemática, em particular pelo Marquês de L' Hospital, que produziu o primeiro manual de ampla circulação dos novos métodos de cálculo (seguindo a notação leibnitziana).

Esse impacto sobre as investigações matemáticas logo progrediu até as discussões sobre a física dos *Principia*. No momento da primeira edição da obra, havia já estabelecida uma rede de comunicação entre os filósofos da época, em particular no continente, que chegava à Inglaterra por meio de alguns membros da Royal Society. O avanço das discussões sobre os fundamentos matemáticos dos *Principia* (ou os elementos do cálculo diferencial e integral ali presentes) e a física levou em pouco tempo a certa ruptura entre as investigações desenvolvidas no continente e na ilha, culminando com a disputa de prioridade sobre a invenção dos novos métodos (cálculo diferencial e integral ou fluxional) entre Newton e Leibnitz. Essa disputa deu origem ao que poderíamos chamar de duas escolas, a britânica, estabelecida ao redor de Newton, e a continental, muito mais difusa, estabelecida a partir das cidades de Basel e Paris, ao redor não só dos irmãos Bernoulli, mas de Leibnitz, Varignon e por fim Euler.

Muitos são os nomes que se acercaram de Newton e seguiram suas diretrizes no desenvolvimento dos *Principia* na Inglaterra, destacando-se Halley, Wallis, David Gregory, Fatio de Duillier e John Clarke. Aparentemente, um dos empecilhos do desenvolvimento dos *Principia* na

Inglaterra foi o controle rígido, por parte de Newton, do que poderia ou não ser publicado referente ao tratado. Mesmo assim, esses autores trabalharam ativamente na divulgação e defesa da obra de Newton e na difusão de sua compreensão, dificultada pela existência de poucos matemáticos habilitados a compreendê-la na ilha. O possível confronto com Newton, que a partir do início do século XVIII já ocupava uma posição central no ambiente científico, político e acadêmico inglês, tornava as críticas menos salientes e, no mais das vezes, tentativas de reconciliação dos *Principia* com os resultados produzidos no continente eram francamente boicotadas por Newton (em particular a tradução dos resultados matemáticos da obra na linguagem do cálculo diferencial de Leibnitz).

No continente o quadro era outro. A relativa difusão de centros de ensino e pesquisa do novo cálculo, atrelado ao interesse pela obra newtoniana (que utilizava fundamentalmente das ferramentas conceituais do cálculo diferencial e integral podendo, portanto, ser rapidamente traduzidas na nova linguagem) motivava um vivo debate em relação à obra, seus métodos e resultados, além do esforço por uma tradução dos resultados geométricos dos *Principia* em termos algébrico-analíticos. Personagens importantes, além do próprio Leibnitz na difusão do cálculo e, indiretamente, da atenção sobre os *Principia* (pois, como bem notara o marquês de L'Hospital, os *Principia* eram, pelo menos no livro 1, um tratado matemático), foram os irmãos Bernoulli, Varignon, Hermann e, talvez aquele que tenha produzido a síntese definitiva entre a linguagem leibnitziana e os *Principia*, Euler. O movimento de recepção na obra de Newton, tanto no continente como na Inglaterra, pode ser acompanhado com riqueza de detalhes em GUICCIARDINI: 1999.

Resultados preliminares sobre o conceito de núcleo duro nos levaram a convergi-lo para a noção de lei natural defendida por um corpo teórico. O núcleo de um programa de pesquisa em geral se compõe de suposições metodologicamente tornadas invioláveis (o que, no caso newtoniano, se exemplifica pelos axiomas ou leis do movimento e a lei da gravitação) obviamente incorporadas em uma infra-estrutura metafísica que lhe dá suporte e significação. Mais ainda, os componentes essenciais do núcleo duro do programa newtoniano são nomeados pelo autor de “axiomas” ou “leis”, o que demonstra a pressuposição de uma estrutura matemática do universo (embora o conceito de gravitação oscile entre uma interpretação ontológica forte - a força gravitacional como uma entidade per si - e construto mental - a lei da gravitação serve para explicar os fenômenos, mas não se conhece sua causa, que provavelmente será mecânica, etc.). O princípio de que devem ser buscadas as forças na natureza é bastante claro como componente heurístico do programa. A pergunta que se

impõe é de se estas concepções se mantêm nos seguidores de Newton, em particular na França, onde predominou o cartesianismo até o primeiro terço do século XVIII.

Em particular, será que a suposição de que a natureza está permeada de forças vale para Euler e d'Alembert? Em segundo lugar, como tratam as leis do movimento estes dois grandes filósofos-cientistas?

A teoria da gravitação de Newton foi a primeira a explicar (em um modelo nomológico-dedutivo) as leis de Kepler, cuja evidência observacional a favor das órbitas elípticas levou tanto Huygens quanto Leibniz a tentar formular uma explicação mecânica para as mesmas. Inclusive Newton tentou propor uma teoria 'choquista' para a gravitação entre a primeira publicação dos *Principia* e a segunda edição, cujas características básicas se encontram na Questão 21 de seu livro *Opticks*. O primeiro efeito científico da obra de Newton foi implicar uma investigação profunda (em especial do ponto de vista matemático) da teoria mecânica dos vórtices planetários. Mas a partir de 1720, a nova geração de físicos no continente europeu progressivamente se convenceu da superioridade da mecânica racional newtoniana, face às explicações por ela sugeridas, para uma ampla classe de fenômenos astronômicos e dinâmicos, em relação às teorias rivais neo-cartesianas.

Euler, um dos maiores matemáticos de todos os tempos, contribuiu profundamente ao programa newtoniano através da sistematização particular de seus conceitos através do formalismo do cálculo diferencial e integral, a partir de 1726. Em 1736, com sua *Mechanica sive motus scientia analytice exposita*, introduz as noções de massa pontual, acelerações contínuas e considerações vetoriais (presentes em nos *Principia* de maneira formalmente insatisfatória), demonstrando de maneira rigorosa vários resultados e resolvendo diversos problemas em dinâmica (em particular, problemas de movimento local, em diversos meios).

O livro II dos *Principia* colocou de maneira fundamental a questão do movimento de corpos finitos em meios fluídos, mas as ferramentas analíticas e conceituais disponíveis resultaram em um tratamento deveras particularizado das questões, em alguns momentos confuso e apresentando enganos (considerados sob a ótica de posteriores desenvolvimentos). Euler desenvolveu o estudo analítico do movimento em meios fluídos e foi bem sucedido na extensão dos princípios newtonianos para diversos sistemas, em particular o estudo da dinâmica dos corpos rígidos, flexíveis e elásticos e, fundamentalmente, a dinâmica de sistemas de muitos corpos em interação, em que

produziu elementos fundamentais que seriam desenvolvidos posteriormente por d'Alembert e Lagrange, ente outros.

Amigo de John Bernoulli, entre suas várias contribuições destaca-se a formulação, ainda elementar em suas obras, do *princípio de mínima ação* (originalmente devido à Fermat) no tratamento de questões mecânicas. Este princípio, retomado e estendido por Lagrange será o arcabouço da mecânica analítica. Forneceu subsídios importantes para o progresso heurístico da mecânica racional, em particular a resolução das forças atuando em um ponto massa a partir de suas componentes, a formalização do momento de inércia para corpos rígidos ($\int r^2 dm$, em que r é o raio vetor descrito a partir de um centro de simetria e dm o elemento de massa).

Epistemologicamente, Euler tentou demonstrar as leis da mecânica de tal modo que se apresentassem não só como corretas e claras, mas como verdades necessárias. Força, em suas obras, tem como sinônimo a palavra 'poder', e é caracterizada pela modificação do movimento de uma partícula que sofre sua influência. É clara a aproximação de sua conceitualização com a que é proposta por Newton, em particular sua segunda lei. Mais precisamente, Euler simboliza o princípio dinâmico fundamental como $F \cdot dt = dv$, que corresponde à formulação newtoniana, posta em notação diferencial. Mais importante ainda, a dinâmica de Euler é integralmente baseada na noção de força. Obviamente, um matemático de tal envergadura não deixaria de acrescentar ao programa grandes inovações: distingue o matemático suíço entre forças absolutas (tal como a gravidade, que não depende de v) e forças relativas (que dependem de v , tal como o movimento em meios resistivos). Essa distinção lhe permite estender a mecânica satisfatoriamente ao âmbito do movimento de corpos extensos em meios fluídos, trabalho que era sugerido por Newton no livro II dos *Principia* mas que encontra sua sedimentação nos tratados mecânicos de Euler.

Em suma, observa-se nas obras de Euler (particularmente a *Mechanica e Theoria motus corporum solidorum seu rigidorum*, de 1760), uma sistematização das idéias newtonianas sob a forma do cálculo diferencial e integral. A precedência do conceito de força se observa pela introdução do conceito de massa, que é tratado como um coeficiente de proporcionalidade entre as forças necessárias para produzir um dado efeito (Δv) e as quantidades de matéria envolvidas. Ontologicamente, afirma-se nas obras evocadas a inércia como propriedade fundamental da matéria. A relação entre inércia e forças motrizes é afirmada quase nos mesmos termos encontrados nos *Principia*:

“Desde que os corpos, por causa de sua inércia, resistem a todas as mudanças de estado, eles obedecerão a forças cuja ação sobre eles tanto menor quanto possível realizem sua mudança de estado. Assim sendo, no momento gerado o efeito produzido pelas forças será o menor possível em relação ao movimento produzido de algum outro modo. A força deste argumento pode não ser suficientemente clara. Se, contudo, ele está de acordo com a verdade eu não tenho dúvida de que um profundo metafísico estará habilitado para o demonstrar claramente. Eu deixo este problema para outros, que fazem da metafísica sua profissão”

Euler (1760): *Theoria motus corporum* a partir de
Dugas, R. (1988), pág. 274.

Esses elementos nos permitem afirmar que Euler foi um partidário do programa newtoniano da mecânica racional, não só porque aceita as leis do movimento, mas porque as aceita, em linhas gerais, a partir de uma semântica compatível a que Newton propõe ao conceito de força e suas diferentes modalidades.

D'Alembert — matemático, físico e filósofo francês, nascido na cidade de Paris em novembro de 1717 e rival um pouco mais novo de Euler, por sua vez também desenvolveu profundamente as idéias de Newton e levou a mecânica racional um passo adiante. Em oposição a Euler, sua aproximação é, entretanto, bastante mais crítica, dado que também foi um reconhecido epistemólogo. Uma primeira aproximação de sua obra já permite divisar que, junto com Clairaut, Euler, Lagrange e Laplace, será um dos maiores responsáveis pelo desenvolvimento da mecânica clássica depois de Newton. Este grupo, se não inaugurou, lapidou o estilo analítico em mecânica (pela aplicação do cálculo integral e diferencial) que incorpora definitivamente os avanços matemáticos de predecessores como Newton e Leibniz no estudo da natureza.

Em 1739, aos 22 anos, publica "Mémoire sur le calcul intégral" (Memória sobre o cálculo integral) a qual lhe valeu, um ano após, seu ingresso na Académie des Sciences em Paris. Em 1741, apresentou pela primeira vez, em sua publicação "Mémoire sur la réfraction des corps solides" (Memória sobre a refração dos corpos sólidos), uma bela exposição teórica, explicando por que um corpo passa de um fluido para outro mais denso, seguindo uma direção oblíqua em relação à superfície que separa os dois fluidos.

Em 1743, d'Alembert publicou o "Traité de dynamique" (Tratado de dinâmica) expondo o princípio fundamental que levou o seu nome, consolidando a mecânica em três elementos básicos que são a inércia, o movimento composto e o equilíbrio entre dois corpos (respectivamente equivalentes nos *Principia* à lei de inércia, a segunda lei ou princípio fundamental da dinâmica e a

lei de ação e reação). É evidente que a abordagem particular da segunda lei de Newton por D'Alembert será um ponto importante para o debate sobre a consistência do conceito de núcleo duro quando aplicado ao programa newtoniano de mecânica racional face a sua recepção no Continente Europeu (conf. DUGAS: 1955[1988]). Mais precisamente, a formulação que codifica, nos termos newtonianos, o princípio dinâmico fundamental seria $F \cdot dt = dv$, tal como asseverado por Euler. Em d'Alembert, essa expressão não apresenta um caráter fundamental ou melhor, não é a lei mais geral da natureza (que ele pensa ser a lei de ação e reação, asseverada em outros termos, tipicamente cartesianos), pois é derivada do conjunto de proposições que ele pensa fundamental (abaixo evocadas), mas é de certo modo contingente.

A reconstrução da mecânica racional proposta por d'Alembert apresenta as seguintes proposições como princípios fundamentais (ou leis da natureza):

- a força de inércia, é a propriedade fundamental dos corpos de permanecer em movimento retilíneo ou em repouso.

- As únicas forças que podem alterar o estado de movimento de um corpo são a da gravidade e de impacto. Essas forças são interpretadas a partir do princípio de composição dos movimentos, que afirma que quando um corpo muda a direção de seu movimento, esta mudança é realizada por meio do movimento inicial e do movimento adquirido (em linhas gerais, este princípio é semelhante ao paralelogramo de forças de Newton). O movimento na presença de obstáculos (choques ou mais geralmente interação entre partículas) é dividido entre o movimento conservado depois do choque e aquele que é aniquilado. Um caso particular importante para d'Alembert é aquele em que o obstáculo é insuperável, onde as leis de equilíbrio estático são usadas. Essas leis levam à

relação $\frac{m}{m'} = -\frac{v'}{v}$, onde m e m' são as massas dos corpos envolvidos, v e v' as velocidades.

D'Alembert combinou o conceito de movimento composto e o de equilíbrio entre dois corpos e estabeleceu um novo princípio, que assim enunciou: "Em um sistema fechado, as forças internas de inércia são iguais e opostas às forças que produzem a aceleração". Este princípio baseou-se numa observação bastante elementar de que a equação fundamental do movimento, ou seja, força é igual ao produto da massa pela aceleração, expressa pela fórmula $F = m \cdot a$, pode ser reescrita como $F - m \cdot a = 0$; substituindo o produto $(-m \cdot a)$ por F^* , a expressão assume a nova forma $F + F^* = 0$, e interpretando F como as forças impulsivas e F^* como as forças de inércia que, em um sistema fechado e não acelerado, devem se equilibrar.

Essa nova forma, que, para a dinâmica de um ponto livre é de notória evidência, foi brilhantemente generalizada por d'Alembert para todo e qualquer sistema mecânico de n partículas. Entretanto, essa forma diz que um sistema mecânico fechado está em equilíbrio quando suas forças internas são identicamente nulas, portanto uma generalização do princípio de composição de forças.

Com isso, ele notabilizou-se pelo enunciado de um princípio básico de mecânica, conhecido como "Princípio de d'Alembert", que apresenta uma solução elegante e simples para questões que já haviam sido postas por Euler, embora não tenham sido tão brilhantemente resolvidas. Posteriormente investigou a diferenciação parcial (utilizada na resolução de problemas envolvendo meios fluídos), as equações diferenciais ordinárias, além de sugerir uma noção de limite formalmente elegante e inventar um critério de convergência das séries. Em 1748, iniciou seus trabalhos com sistemas de equações diferenciais lineares. Todos estes resultados foram aplicados em maior ou menor medida ao estudo da natureza. corporificando, além de resultados importantes no âmbito do cálculo, estabelecem-se como progresso heurístico do programa de mecânica racional.

Em 1749, elabora um importante trabalho sobre mecânica celeste sob o título "Recherches sur la précession des équinoxes et sur la nutation de l'axe de la terre dans le système newtonien " (Pesquisas sobre a precessão dos equinócios e sobre a nutação do eixo da terra no sistema newtoniano) e as "Recherches sur différents points importants du système du monde" (1754 – 1756 : Pesquisas sobre diferentes pontos importantes do sistema do mundo), nos quais aplicou o seu princípio de dinâmica ao estudo do movimento da Terra em torno do Sol.

Por fim, em 1751 os livreiros Briasson, David, Le Breton e Durand publicam o primeiro tomo da "Encyclopédie ou Dictionnaire raisonné des sciences, des arts et des métiers" (1751 – 1780 : Enciclopédia ou Dicionário racional das Ciências, das Artes e dos Ofícios), elaborado por d'Alembert e Diderot, tendo como parte inicial da referida enciclopédia o famoso "Discours préliminaire " da autoria de D'Alembert, uma peça magistral de grande conteúdo filosófico-literário, despertando o mundo científico para novos campos do conhecimento, o que contribuiu, sob uma ótica intelectual geral, para a propagação das idéias newtonianas através da Enciclopédia.

É notável que o trâmite entre diferentes disciplinas tenha configurado um solo intelectual profícuo para o desenvolvimento das concepções newtonianas nas pessoas de Euler e d'Alembert. Decisiva e assumidamente, estes se consideram herdeiros da mecânica racional newtoniana, seja pelas expressões textuais encontradas em suas obras, seja pelo conteúdo das mesmas. Interessante notar que em geral se pronunciam estes autores contra o cartesianismo, em particular contra um de

seus aspectos mais salientes, que é a introdução de considerações metafísicas na investigação física. Entretanto, a oposição Newton versus Descartes, tão celebrada nos meios filosóficos, dificilmente se sustentaria sob a ótica da apreciação dos filósofos-cientistas do iluminismo Francês, que reconhecem o papel central que Descartes desempenhou no progresso da consciência filosófica, seja a partir de suas investigações físico-matemáticas, seja pelo seu trabalho filosófico mais geral.

O editor da Enciclopédia dá testemunho de sua capacidade crítica e aptidão à compreensão histórica através da constatação de que a formulação da idéia de grandezas contínuas, fundamental aos desenvolvimentos do cálculo diferencial e integral e por consequência do progresso da mecânica racional é fundada na ordem das razões metafísica de seu compatriota Descartes. Euler segue perspectiva filosófica análoga e, em geral, tenta formular a ciência newtoniana sob a ótica de uma racionalidade cartesiana (GAUKROGER, S.: 1982, Vol. 15, No. 2.).

Em relação ao conceito de força, é notável que as posições de Euler e d'Alembert se desviam consideravelmente uma da outra. D'Alembert tentou em sua obra sobre dinâmica reduzir o conceito de força aos conceitos cinéticos, em particular a aceleração, e abandonar as considerações metafísicas relacionadas à idéia. Em d'Alembert vê-se a tentativa explícita de pensar a construção do edifício da mecânica racional a partir de conceitos observacionais claros, como o de velocidade e aceleração. Opondo-se a esta perspectiva, encontra-se Kant, por exemplo, que tomava a idéia de força como absolutamente primitiva, anterior a idéia de corpo inclusive, e nesse sentido se aproxima de Euler, que pretendia mostrar que as verdades da mecânica racional eram verdades necessárias (DUGAS: 1955[1988]). Ambas as posições desviavam das idéias newtonianas consideravelmente, sob uma interpretação estrita dos pronunciados de cada autor, e, do ponto de vista das fundações da ciência, contradiziam-se inegavelmente com as perspectivas do professor lucasiano.

Euler acaba ocupando uma posição intermediária, pois, aceitando a noção de força como fundamental e articulando a dinâmica newtoniana na linguagem diferencial, acaba por afirmar, como implicação necessária do sistema, um princípio de mínima ação, como se divisa da citação acima apresentada. Euler afirmava que as forças realmente existiam na natureza, porém elas deveriam ser explicadas em termos de algo muito mais intuitivo: a impenetrabilidade da matéria e sua inércia. As fundações da mecânica, sob a ótica de Euler, repousavam sobre proposições que em sua opinião eram necessárias e evidentes, quais sejam, que os corpos eram impenetráveis (ou melhor, as partículas fundamentais das quais os corpos se compunham). Para ele era impossível conceber que

um corpo (leia-se um corpo totalmente sólido livre de interstícios) sendo penetrados desde que isto implicaria que dois corpos ocupariam o mesmo lugar ao mesmo tempo, o que é impossível.

Em paralelo a esta questão fundacional mais explícita, preocupava-se Euler com a extensão do edifício teórico da dinâmica por meio do conceito de força. Euler considerava que quando não são detectadas forças agindo sobre um corpo, então, o estado absoluto do movimento de um corpo pode ser mensurado. Em particular, desvia-se sua perspectiva daquela de Newton, na medida em que ele pretende mostrar que se um corpo está em repouso, absoluto ou relativo, em relação a determinado referencial, os axiomas do movimento se aplicam de maneira adequada, dado um referencial (inercial) bem estabelecido. As técnicas matemáticas para a caracterização analítica do movimento inercial são providenciadas pelo aparato do cálculo diferencial incorporado e certas suposições, como o transcurso contínuo e constante do tempo.

No *Traité de Dynamique*, d'Alembert trata do problema dos corpos rígidos sem utilizar o conceito de força newtoniano como primitivo, mas sim o “princípio de trabalho virtual”, que é uma lei de equilíbrio. Tal princípio está intimamente relacionado com o de conservação de força viva, mas d'Alembert toma o princípio de trabalho virtual⁶⁵ como fundamental (e não o de força viva), juntamente com o princípio de inércia e o princípio de composição de movimentos (que permite decompor um movimento de maneira conveniente para a aplicação do trabalho virtual), resultados presentes na obra newtoniana mas sob uma perspectiva absolutamente distinta. Esse tipo de formulação da mecânica será fundamental na construção da mecânica analítica lagrangeana, que generalizando os conceitos de posição e velocidade, que no seu sistema passam a ser especificadas sob a ótica das “coordenadas generalizadas”, um conjunto de variáveis suficientes para definir sem ambigüidades a configuração de um dado sistema mecânico, por meio da construção da função lagrangeana, atrelada aos conceitos de energia cinética, energia potencial e trabalho virtual de força externas.

Filosoficamente, é no *Tratado de Dinâmica* que se encontra o tema mais interessante de investigação das relações entre Newton e d'Alembert. Nesta obra fundamental, ele procura construir uma formulação das propriedades dinâmicas fundamentais sob a ótica de “princípios”, fundados na

⁶⁵ O princípio do trabalho virtual pode ser assim expresso: se um suposto movimento (virtual) do dispositivo resulta em um estado final do sistema (o dispositivo e seu ambiente interativo) indistinguível de seu estado inicial, e nenhum trabalho líquido é feito no sistema durante este movimento, (nenhum trabalho realizado; nenhum trabalho recebido) então esse suposto movimento não acontecerá. Logo, se o trabalho virtual realizado por todas as forças externas (e isso inclui os torques) que agem sobre uma partícula, um corpo rígido ou um sistema de corpos rígidos, conectados com conexões e apoios ideais (sem atrito), é nulo para todos os deslocamentos virtuais do sistema, o sistema está em equilíbrio.

razão humana. Vê-se claramente o viés cartesiano no modo de formular a questão, ao contrário da abordagem newtoniana. A razão deste modo de colocar a questão, inclusive, é crítica: d'Alembert vê na noção de força um termo obscuro e procura investigar o movimento somente a partir do que é claro, as posições no tempo. É sob este viés de inteligibilidade racional dos conceitos fundamentais (nomeados por ele de princípios) que haverá uma profunda investigação epistemológica acompanhando os trabalhos científicos de d'Alembert, corporificados no artigo “*Elementos das Ciências*”, publicado na Enciclopédia.

Parecem compor-se na obra de d'Alembert o que se poderia nomear a inteligibilidade cartesiana sobre o pano de fundo da metodologia positiva de Newton, em particular a sua defesa de construtos matemáticos das propriedades dos fenômenos (presente por exemplo no escólio à seção 11 do livro 1). Convergem a idéia de racionalidade matemática e de grandezas contínuas do pensamento cartesiano e o cerne do ‘estilo newtoniano’ de prática científica.

O processo histórico de assimilação da mecânica racional newtoniana no continente passa, na verdade, pela integração de perspectivas bastante heterogêneas. A difusão do cálculo diferencial e integral e suas aplicações iniciais no campo de dinâmica por Leibniz e os irmãos Bernoulli, L'Hospital, Varignon e outros, motivaram o interesse pela obra de Newton desde o início do século XVIII e, mais precisamente, pela reestruturação da obra na linguagem do cálculo proposta por Leibniz (tarefa realizada especialmente pelos irmãos Bernoulli e L'Hospital, que reconheceu o papel central das novas noções da análise como cerne conceitual dos *Principia*). A questão da recepção da obra newtoniana no continente passa também por um período considerável de crítica e de recusa, em especial quando do debate cerrado que Newton levantou contra Leibniz em relação à prioridade na invenção do cálculo.

A segunda parte do tratado de Dinâmica de d'Alembert apresenta com clareza elementos que corroboram esta perspectiva. Nesta parte da obra desenvolve-se o que ficará conhecido como princípio de d'Alembert. Este princípio, que evocamos acima, foi bastante valioso no tratamento de problemas envolvendo sistemas dinâmicos. Fundamentalmente, a organização do tratado de Dinâmica indica a intenção de dar aos conceitos uma inteligibilidade racional que, epistemologicamente, ele afirma com clareza em seu artigo “*Elementos das ciências*”:

Até o momento, falamos apenas de princípios propriamente ditos, dessas verdades primitivas pelas quais se pode não só guiar os outros, mas guiar a si mesmo no estudo de uma ciência.

Euler e d'Alembert forneceram os fundamentos para o modo como seria tratada a dinâmica nos séculos seguintes, em particular na formulação da mecânica analítica lagrangiana. São trabalhos fundamentais que marcarão um novo estilo de tratar os conceitos mecânicos e, em especial, enfocando de um lado a idéia de que os primeiros princípios da ciência deveriam ser inteligíveis em si mesmos, opunha-se ao conceito de força tal como Newton o encarava. A utilização do cálculo diferencial e integral no tratamento e concepção das grandezas físicas, em especial na formulação de seu segundo princípios (que corresponderia à segunda lei de Newton), coloca a necessidade de interrogar-se se é possível falar-se em um núcleo duro do programa de pesquisa newtoniano, nos termos de Lakatos. Seguindo PATY:

Consideremos a economia do *Tratado de Dinâmica*. A obra repousa sobre a convicção de que o que nos é inteligível nos variados movimentos dos corpos é o movimento ele mesmo enquanto deslocamento no espaço no decorrer do tempo (e não as causas que engendram este movimento) e que é ao redor desta idéia que a dinâmica deve ser organizada. O termo “dinâmica” deve ser entendido não como se ligando diretamente às forças, mas a seus efeitos (a palavra manifesta uma influência da aproximação leibnitziana). A força, se se chama assim a causa do movimento, como todas as causas, nos escapa: é por isso que d'Alembert evita se utilizar desta noção newtoniana, em todo caso no sentido de causa, e prefere se ater aos efeitos. Somente os efeitos, isto é, as mudanças de movimento, são suscetíveis a seus olhos de uma conceitualização clara, e as leis destas mudanças se exprimem em termos das grandezas pelas quais se descreve o movimento: distancia (e tempo), velocidade, aceleração, etc. (sem esquecer a massa, através da quantidade de movimento, mv e seu “elemento” mdv). Se ele define forças, é sempre no sentido de grandezas que exprimem o estado de movimento (“força de inércia”, expressão retomada de Newton para designar a continuidade do movimento uniforme de um corpo deixado por si mesmo), ou o efeito da mudança do movimento (“força motriz” e “força aceleradora”, expressões igualmente retomadas de Newton, mas definidas por ele diferentemente dos *Principia*). A “força motriz” designa, no *tratado de Dinâmica*, o produto da massa pelo elemento de velocidade, e a “força aceleradora” não é outra que a mudança de velocidade ela mesma, ou antes seu “elemento” (é necessário entender, apesar da ambigüidade, seu elemento dv , por unidade de elemento de tempo, isto é, dv/dt), isto é, uma grandeza puramente *cinemática*: a “força aceleradora” é, de fato, a aceleração. Notemos que assim definindo as “forças” como os efeitos da mudança de movimento, e em particular a força motriz como a mudança da quantidade de movimento, ou produto da massa pela aceleração, d'Alembert evita retrospectivamente a crítica de circularidade que seria mais tarde apontada sobre a determinação recíproca das grandezas newtonianas de força, de massa e de aceleração aparecendo na lei dinâmica (segunda lei de Newton).

PATY, M.: **D'Alembert, la science newtonienne et l'héritage cartésien** in *Corpus* (Revue de philosophie, Corpus des oeuvres de philosophie en langue française, Paris), n°38 : (pág. 22 da disponibilização eletrônica da Hal – SHS). Tradução nossa.

Um dos traços marcantes da apresentação da mecânica racional tal como dada por pelos intelectuais franceses é que ela se apóia em “princípios”, em oposição à escolha newtoniana de nomear as proposições elementares de seu sistema de axiomas ou leis do movimento. A transformação das leis do movimento em princípios parece corresponder a uma reorganização conceitual e indiretamente ontológica em relação ao modelo apresentado pelos *Principia*. O próprio ferramental matemático muda vigorosamente: Newton opera em uma matemática de transição, em que conceitos de cálculo de fluxões (cálculo diferencial e integral) são apresentados de forma geométrica, o que de certo modo limita o âmbito de sua inteligibilidade, já que o conceito do cálculo tem implicações além das possibilidades disponibilizadas pela abordagem geométrica.

Euler e d'Alembert, dominando mais elementos da nova análise e a notação leibnitziana - que certamente é mais clara em relação à notação fluxional newtoniana, produzindo uma economia de pensamento significativa - e tendo criado ferramentas analíticas poderosas, buscarão um padrão de inteligibilidade superior, apontando para elementos muito gerais na interpretação da natureza, muito próximos de satisfazerem os requisitos cartesianos da clareza e distinção per si.

Matematicamente (lingüisticamente) os axiomas de Newton e as reformulações de Euler e d'Alembert conduzem aos mesmos resultados elementares, sendo em princípio equivalentes; contudo importante mencionar que as novas perspectivas generalizam e permitem a aplicação bem sucedida a um conjunto maior de fenômenos, tal como os meteorológicos e hidrodinâmicos, o que representa progresso heurístico, teórico e empírico do programa. Segundo a teoria de racionalidade científica de Lakatos, a mecânica racional newtoniana era um programa progressivo em meados do século XVIII (como parecem indicar os resultados empíricos e teóricos obtidos nesse período e mencionados acima), e logo se justifica o domínio desta perspectiva no ambiente científico do período, em particular face à degeneração do programa cartesiano e da perspectiva de Leibniz, ambas ainda muito atreladas a questões metafísicas que se sobrepunham às questões científicas (ou mais precisamente da fundação metafísica da ciência), o que de certo modo dificultava o desenvolvimento teórico, especialmente da dinâmica.

De certo modo, a reorganização conceitual dos axiomas do movimento newtoniano é própria ao desenvolvimento científico em geral: Newton também tomou emprestados conceitos de seus antecessores e os transformou para introduzi-los em seu sistema (seção 4). Em particular, a segunda lei, afirmando que a força é o princípio causal da mudança na quantidade de movimento e que é proporcional a esta mudança (corporificando o princípio metafísico corrente de que o efeito é proporcional à causa), mostra de um lado a herança cartesiana no pensamento newtoniano (assume-se a expressão para quantidade de movimento e o arcabouço metafísico geral em a lei foi formulada), e de outro a transformação pela qual esta passa nas mãos de d'Alembert, que recusa a idéia de que esta formulação está correta, dado que imbricada em um conceito metafísico destituído de sentido em sua epistemologia.

Em que sentido, então, pode-se falar no programa da mecânica racional newtoniana? Os elementos acima mencionados parecem implicar a recusa de uma aceitação passiva das leis do movimento. A elas se aplica a reflexão, não só conceitual como epistemológica, e a eventual reinterpretação de seus termos, aparentemente até mesmo sua realocação no sistema. A segunda lei de Newton não é encarada, por d'Alembert, como um princípio fundamental, do ponto de vista epistemológico, embora o fosse na prática concreta das investigações dinâmicas. Seria para d'Alembert, portanto, a segunda lei aceitável como hipótese irrefutável?

É um dos pressupostos da filosofia de Lakatos de que a atividade científica é eminentemente crítica e, portanto, a aceitação passiva de um conjunto de hipóteses parece pouco razoável, aceitando esse que se pensa ser o caráter fundamental da atividade científica. Assim sendo, uma das condições de possibilidade da interpretação do desenvolvimento científico por meio de programas de pesquisa seja de que o conjunto de suposições ou hipóteses que constituam o núcleo duro do programa não sejam aceitas apenas por decisão metodológica, mas a cada novo passo do programa (isto é, em cada nova teoria da série) o núcleo seja novamente ratificado, e isto significa que a nova teoria aceita a estrutura ontológica do programa, ainda que esta ratificação seja feita com ressalvas e reordenações das relações internas das proposições do núcleo duro e destas com a heurística positiva. Em particular, se o núcleo duro estabelece relações com os componentes heurísticos, como a investigação da gênese dos *Principia* parece indicar, uma decorrência razoável da mudança científica (corporificada pelo surgimento de novas teorias no programa) e a reorganização das relações estabelecidas entre o núcleo e os outros componentes do programa. Os limites possíveis desta reorganização, contudo, ainda não estão determinados.

Considerações Finais

Se forem aceitos os pressupostos metodológicos e epistemológicos admitidos ao longo deste ensaio para a investigação da história da ciência, pautados na metodologia dos programas de pesquisa científica, formulada por Lakatos, o conceito de núcleo duro de um programa de pesquisa apresenta-se sob uma dupla perspectiva: se por um lado ele parece captar um aspecto essencial da atividade científica, que é o compartilhamento de perspectivas de organização ontológica e nomológica de uma disciplina teórica ou experimental, por outro, do ponto de vista epistemológico - que é a origem remota da noção, segundo a teoria da racionalidade científica de Lakatos - parece haver a necessidade de (re)explicitá-lo como conceito interno a esta teoria, e não uma variável exógena tomada da observação histórica (observação problemática, já que a aceitação passiva de um conjunto de proposições - no caso do programa newtoniano da mecânica racional, das suas leis do movimento - não parece se verificar), ou um conceito metodológico sem substrato epistemológico.

Para que o conceito de núcleo duro desempenhe um papel efetivo como instrumento de análise histórica, admitindo a relação proposta por Lakatos entre história e filosofia da ciência, a questão do desenvolvimento de um programa de pesquisa deve ser reavaliada, pois o desenvolvimento de um programa de pesquisa não parece subsumir-se inteiramente à uma aceitação passiva de um conjunto determinado de suposições como determinação estrutural do mesmo. A inteligibilidade própria de cada tempo com respeito às suposições fundamentais do programa, corporificada pela metafísica influente na ciência de cada tempo, parece ser um fator relevante na análise do desenvolvimento dos programas de pesquisa. Essa metafísica influente, consolidada por um conjunto de suposições ou crenças que evoluem com o tempo, se não formalmente, mas epistêmica e filosoficamente, é *efetivamente* influente no modo de apreensão das suposições compartilhadas entre diferentes cientistas e momentos do desenvolvimento da ciência, fato que não é captado pela noção de núcleo duro tal como ela foi formulada inicialmente por Lakatos.

Os continuadores da metodologia dos programas de pesquisa científica (E. Zaher, J. Worrall, T. Nickles e A. Chalmers entre outros, que não foram salientados neste ensaio) propuseram reformulações dos conceitos lakatosianos, extensões que incrementaram sua teoria da racionalidade científica, sem mencionar os trabalhos críticos, especialmente de Feyerabend e Laudan, que abriram novas perspectivas de leitura da obra de Lakatos, por meio de seus questionamentos. Seja isto, é

possível e razoável uma leitura crítica da obra de Lakatos preservando o essencial de sua teoria da racionalidade, em particular a noção de programa de pesquisa, tal como determinada pelos seus componentes estruturais, o conceito de núcleo duro, a heurística negativa e a heurística positiva.

A recepção da obra newtoniana no continente, portanto, não parece ser apenas um desenvolvimento mais ou menos mecanizado de um programa de pesquisa bem estabelecido. Em particular, está infundida pela iniciativa de construir essa recepção a partir da reorganização conceitual e epistemológica (em particular na obra de d'Alembert), de parte considerável do que se vem tratando neste ensaio como o núcleo duro do programa newtoniano de mecânica racional, isto é, suas leis do movimento e para o subprograma da gravitação, a lei da gravitação.

Embora reconhecendo que parte desta reorganização se dá e é tornada possível pelo desenvolvimento do cálculo diferencial e integral (que corporifica, segundo a teoria da racionalidade de Lakatos, progresso heurístico), não parece ser este desenvolvimento o único fator decisivo. A influência leibniziana e cartesiana, tanto nas concepções infra-estruturais da prática científica, como nas relativas ao material matemático disponível e os meios legítimos de sua utilização, tornam complexa a afirmação de que o núcleo duro da mecânica racional newtoniana é somente um conjunto de suposições irrefutáveis por decisão metodológica de seus defensores. É inegável que a ciência dinâmica no século XVIII toma como elemento estruturante as leis newtonianas, ou melhor, o horizonte conceitual posto por Newton nos *Principia*, e que a dinâmica francesa indiscutivelmente se desenvolve no século XVIII sob a tutela do programa newtoniano de pesquisa.

No entanto, é igualmente notório que não se pode, sem maiores qualificações e determinações, afirmar em sentido estrito que as leis do movimento e da gravitação de Newton são tomadas como irrefutáveis por uma decisão preliminar ao trato dos problemas disponíveis. Euler se mantém mais próximo das perspectivas de Newton, mas busca encontrar uma inteligibilidade distintiva para a noção de força. D'Alembert dá uma formulação original à dinâmica racional segundo variáveis características do movimento, isto é, variações de posição no decorrer do tempo, o que o leva a utilizar a simbolização do cálculo diferencial e integral, junto com Euler. Fato importante, d'Alembert nega substancialidade às forças, o que o coloca em oposição à concepção newtoniana (embora o estatuto epistemológico do conceito de força seja polêmica na obra newtoniana).

Aceito que o núcleo duro de um programa de pesquisa caracteriza o mesmo, é inegável que tanto Euler como d'Alembert são partidários do programa da mecânica racional, pois aceitam a

inércia da matéria como propriedade fundamental dos corpos, a segunda lei (eventualmente reformulada em vista da aplicabilidade algorítmica a problemas mecânicos particulares) e a lei de choques. O tratamento de problemas gravitacionais recorre à lei da gravitação, talvez a lei que é aceita sem maiores críticas, sendo reconhecida como um passo fundamental no desenvolvimento da ciência, por todo o ambiente intelectual do século XVIII.

Entretanto, essa recepção não é passiva. Há todo um esforço por compreender epistemologicamente as leis do movimento e, seguindo o objetivo teórico que deu origem aos *Principia*, reduzir as leis do movimento a proposições (princípios) mais fundamentais. Essa iniciativa que por um lado aceita o estabelecido, mas o reinterpreta e ratifica, parece ser uma característica presente no desenvolvimento científico, compatível com o caráter crítico da atividade, caráter esse afirmado por Lakatos. A ciência, como empreendimento crítico, dificilmente se submeteria à aceitação passiva de quaisquer enunciados.

É portanto necessário reinterpretar a noção de núcleo duro. A partir dos elementos recolhidos pelo estudo de caso, uma melhor caracterização do conceito poderia ser formulada nos seguintes termos: o núcleo duro de um programa de pesquisa é o conjunto mínimo de proposições obtido pela interseção das leis (princípios, axiomas, etc.) assumidas por sucessivas teorias. Se uma série de teorias possuir um tal conjunto mínimo, então essa série pode ser pensada como um programa de pesquisa.

O que implica, exatamente, tal caracterização? Como mencionado, embora a recuperação de Euler da mecânica racional tenha mantido as leis do movimento em uma forma que corresponde à formulação newtoniana, em d'Alembert, embora exista a recuperação das leis do movimento, essa recuperação vem acompanhada de uma reflexão epistemológica que, em sentido estrito, muda os princípios fundamentais. Em particular, o princípio dinâmico fundamental é recuperado por d'Alembert como conclusão dos princípios por ele afirmados para a dinâmica. Entretanto, a observação do desenvolvimento das obras sobre mecânica em d'Alembert deixa claro que, pragmaticamente, as leis de Newton são utilizadas como ferramenta básica para a solução de problemas.

A lei de inércia e a terceira lei do movimento são reconhecidas como princípios, a segunda, deduzida de sua lei de composição dos movimentos e das anteriores, é utilizada como ferramenta fundamental para a solução de problemas em mecânica. Nesse sentido, a reconstrução racional da história do desenvolvimento do programa possuiria um critério de identificação pra o

programa e o critério permite a reconstrução sem implicar a necessidade que a semântica das leis do movimento tenha permanecido constante. É possível, portanto, em uma reconstrução orientada pela idéia de conjunto mínimo de proposições afirmar que a obra de d'Alembert faz parte do programa newtoniano da mecânica racional, dando inteligibilidade tanto ao reconhecimento de filiação intelectual que d'Alembert assume para com Newton, como de sua apropriação particular dessa filiação. O mesmo vale para os trabalhos de Euler, nos termos que lhe são pertinentes.

A utilização das leis de Newton na obra dos mencionados autores é notória. O que se destaca, contudo, é que a recepção das leis envolveu a reflexão epistemológica que, procurando princípios ainda mais fundamentais (que é um objetivo epistemológico) acabou por implicar a reconfiguração do núcleo do programa, incorporando os princípios que se imaginam mais gerais e, a partir deles, deduzindo as leis do movimento. As leis do movimento são mantidas em uma posição central, mas agora são deduzidas de princípios mais gerais, proposições às quais não se pode recusar um papel central (ainda que, no mais das vezes, um papel conceitual e epistemológico) para a teoria em que aparece. O núcleo duro, por assim dizer, permite agregações e, portanto, reconfigurações das relações entre as proposições do núcleo duro. É nesse sentido que o núcleo não parece ser composto de um conjunto de suposições compartilhadas tornadas irrefutáveis por decisão metodológica, mas um conjunto mínimo de proposições que são compartilhadas, que podem, em diferentes momentos do tempo, ser associadas a outros princípios. Esse modelo de racionalidade, baseado em uma estratégia conservacionista das proposições, pode ser comparado ao empirismo sintático, isto é, expressões e modelos matemáticos já disponíveis em geral são mantidos face a questionamentos de uma teoria científica, embora seus termos sejam filosófica e epistemologicamente reinterpretados.

Vimos traçando quadros estáticos da racionalidade científica e comparando-os. Partimos da perspectiva de que a noção de núcleo duro correspondia a um conceito analítico historiográfico e investigamos a gênese de um programa de pesquisa particular (mecânica racional newtoniana). Analisamos o surgimento do programa (e a articulação de seu núcleo duro), sua recepção por Euler e d'Alembert. Essa análise deteve-se longamente no estabelecimento de relações ontogenéticas dos conceitos que cristalizaram o núcleo duro do referido programa (seja isto, o desenvolvimento histórico dos mesmos e seu funcionamento no sistema teórico da dinâmica newtoniana) cujo objetivo era estabelecer uma discussão epistemológica dessas suposições nucleares da mecânica racional.

Sucintamente, propusemos uma interação dialética entre história e epistemologia, no sentido claro de estruturar um modelo que implicasse uma estrutura epistemológica da noção de núcleo duro. Isto é, tentamos observar se existiam características distintivas das proposições que compunham o núcleo duro da mecânica racional, na perspectiva de extrapolá-las para o modelo geral de racionalidade corporificado pela metodologia de Lakatos. Como resultados parciais, observamos claros componentes ontológicos, pragmáticos (capacidade de articular o conhecimento de fundo em uma unidade teórica) e heurísticos (capacidade de sugerir articulações implicando novas previsões, em associação com o cinto de proteção do programa). É inegável, portanto, que as dificuldades se associam à ausência de um modelo dinâmico de racionalidade científica como substrato da pesquisa histórica.

A ausência de um modelo dinâmico de racionalidade (no sentido em que o modelo reticulado de Laudan é um modelo dinâmico) implica passagens abruptas entre o modo como o núcleo duro do programa é associado a cada obra particular. Essa passagem abrupta impôs dificuldades no reconhecimento inequívoco do núcleo duro do programa, ao menos segundo a leitura que propomos. As leis de Newton são recepcionados pelos autores evocados acima, mas não são dogmaticamente recepcionadas. É clara a presença de uma dinâmica interna que relaciona o núcleo duro a elementos epistemológicos e axiológicos que, por fim, promovem a constituição de novos programas de pesquisa. Um exemplo parece ser elucidativo do fato de que o núcleo duro de um programa de pesquisa pode ser pensado, essencialmente, como uma referência e não como um dogma.

A partir da publicação do influente livro *A estrutura das revoluções científicas*, de T. Kuhn, e mesmo antes dele, considera-se freqüentemente que a partir do século XVIII até a formulação da teoria da relatividade no início do século XX a mecânica clássica foi inteiramente dominada pelas perspectivas de Newton (visão de mundo newtoniana, paradigma newtoniano, etc.). A perspectiva de Lakatos, por outro lado, afirma que sendo a prática científica uma atividade essencialmente crítica, a história do desenvolvimento científico é permeada pela competição entre programas de pesquisa. No caso das teorias dinâmicas antes do surgimento da relatividade restrita, qual seria o programa de pesquisa rival?

A mecânica analítica inaugurada por Lagrange, segundo a interpretação acima proposta, constitui um programa de pesquisa rival à mecânica racional newtoniana, mesmo que seu autor afirme apenas que se trata de uma reformulação. A diferença entre a mecânica analítica e a mecânica

racional, no entanto, é clara e inegável: enquanto a primeira se constitui a partir de um princípio de mínima ação (que Lagrange recusa interpretar como 'metafísico' – TRUESDELL :1968, pp. 116 e ss.), a segunda se constitui a partir da idéia de força. Evidentemente recuperam-se, na mecânica analítica, formas equivalentes das leis de Newton, tal como a mecânica racional newtoniana recuperou as leis de Kepler e Galileu. Essa recuperação não indica a subsunção, mas sim o elemento que lhe garante suporte empírico e credibilidade, como se mencionou acima. Mas o fato notável é que o princípio de mínima ação na mecânica analítica de Lagrange tem sua origem nos trabalhos de Euler, o campeão da mecânica racional newtoniana no século XVIII. Isso nos parece apontar para a existência de uma dinâmica interna que correlaciona o núcleo duro com os outros elementos, tanto aqueles da teoria de racionalidade científica de Lakatos - cinto de proteção, heurística positiva, etc. -, como os elementos externos – axiologia , epistemologia etc.

Assim sendo, parecem estar postos os elementos que permitem a divisão de diferentes programas de pesquisa na mecânica no séc. XVIII e a tendência de compartilharem componentes teóricos, epistemológicos e metafísicos comum. Elementos do programa cartesiano acabaram sendo mesclados com idéias de Leibniz, e ambos foram incorporados à obra de d'Alembert (partidário da mecânica newtoniana), que influenciou a mecânica lagrangiana (certamente um novo programa de pesquisa, com vantagens epistêmicas – simplicidade, por exemplo – e empíricas sobre seu rival). Paralelamente a isso, o programa de Newton e Euler acabou se firmando como mais geral, aplicável em maior número de casos, fundamentado na noção de força, com a contrapartida de que a integração das descrições vetoriais advindas desta perspectiva era mais complexa do que a abordagem analítica lagrangiana. A controvérsia a respeito do estatuto do conceito de força adentraria o séc. XIX, em particular na obra de Mach, e em especial, as abordagens rivais de Euler e d'Alembert acabaram sendo vistas como duas abordagens diferentes para uma mesma ciência da mecânica, soterrando a discussão epistemológica e metafísica que lhe permeavam.

Por fim, pretende-se ter mostrado como o conceito de núcleo duro tal como formulado por Lakatos, enquanto construção metodológica para preservar a continuidade verificada no desenvolvimento histórico da ciência parece repousar, considerando as proposições compartilhadas como apenas o esqueleto lógico da ciência, na suposição de que estas não sofrem reconsiderações constantes. Ao que parece, o núcleo duro de um programa de pesquisa possuiria uma semântica constante, o que não se observa no caso analisado da mecânica racional newtoniana. A história efetiva das filiações intelectuais na ciência mostra continuidades e discontinuidades, que se deveria

analisar, no caso das continuidades, de uma parte pelo trabalho de expressão simbólica do conhecimento (pretensão) sobre o mundo, que necessariamente incorpora aspectos ontológicos, metafísicos e ideológicos (enfim, a ciência é uma atividade criadora da mente, atividade que se realiza a partir de condições e elementos dados e que envolvem sempre uma relação dialética entre tradição e inovação).

De outra parte, o objeto a ser representado, isto é, o mundo dos fenômenos, assume-se, possui uma estabilidade considerável. Esta estabilidade de certo modo direciona a evolução do corpo de crenças científicas, pois, pragmaticamente, princípios explicativos universais e bem-sucedidos não são infinitos (embora o possam ser do ponto de vista lógico), de maneira a que o sistema como um todo possua certas propriedades pragmáticas e epistemológicas, tal como consistência (em certo grau), aplicabilidade a um amplo domínio, inteligibilidade, etc.

As discontinuidades verificadas, por outro lado, parecem ser o resultado necessário do progresso filosófico, epistemológico e heurístico, que refinam tanto o âmbito dos fenômenos conhecidos como o das linguagens em que se pode expressá-los. A atividade científica é por natureza crítica e criadora, de modo que as representações de mundo são progressivamente mais elaboradas, entretanto sempre preservando certas estruturas comuns como ontologia de objetos e relações, o que podemos nomear como estratégia conservativa do desenvolvimento do programa. O conceito de núcleo duro parece repousar nesta ontologia que corporifica, de certo modo, a visão de mundo científica de um período.

O programa newtoniano de mecânica racional e sua recepção por grandes cientistas franceses no século XVIII parecem indicar, do ponto de vista historiográfico, o relevo de tais análises para a interpretação histórica da mudança científica e para a compreensão do progresso do conhecimento científico. Por fim, parece razoável supor que certo conjunto de proposições possa de fato articular a pesquisa de um programa no decorrer do tempo, aberta a possibilidade, entretanto, de sua análise e crítica epistemológica e científica.

O núcleo duro, pelo menos no caso da mecânica racional newtoniana, certamente se compõe das leis do movimento e, no caso do subprograma da gravitação, da lei de gravitação. Entretanto, sua recepção envolveu, de certo modo, a ampliação do núcleo do programa, não tanto na reconstrução de Euler (que entretanto, refletindo epistemológica e ontologicamente, coloca em evidência o princípio de mínima ação, fundamento do programa lagrangeano), mas claramente na reconstrução de d'Alembert. Essa reconstrução que amplia o núcleo duro estabelece uma estrutura

final que relaciona os novos princípios com os antigos (que podem ser novos efetivamente ou simplesmente deslocados da estrutura de proposições que configura o programa de pesquisa), demandando, em nosso entender, a investigação dinâmica do desenvolvimento do programa, que aqui não se realiza efetivamente, por falta de ferramentas conceituais e porque não nos propomos a tanto. Fundamentalmente, o desenvolvimento de um programa de pesquisa não envolve somente sua extensão a novos domínios, mas também uma infra-extensão, uma redução cada vez mais ampla dos princípios, ou melhor, a redução das proposições nucleares a proposições cada vez mais gerais.

O conceito epistemológico de núcleo duro, aplicado à investigação historiográfica, serve como elemento de identificação de um programa, que, segundo nossa interpretação, repousa no conjunto mínimo de leis compartilhadas entre diferentes teorias. Essa caracterização leva a reconstrução racional da ciência a apresentar-se de maneira dedutiva, supondo que, direta ou indiretamente, esse conjunto de leis a partir do qual uma teoria se desenvolve é ou explicitado ou pode ser reconhecido. Casos em que tal reconstrução dedutiva de um programa e suas teorias seja mais complexa possivelmente apresentam desafios interessantes ao tipo de abordagem proposto.

Bibliografia

Básica

NEWTON, I.(1686 [1960]). *Mathematical Principles of Natural Philosophy* ; tradução de Andrew Motte e revisada por F. Cajori. California Press.

_____ (1996): Fragmentos disponíveis in Coleção Pensadores; tradução de Carlos Lopes, Pablo Rubem Mariconda e Luiz Possas, Nova Cultural, São Paulo

NEWTON, I. (1990). *Princípios Matemáticos de Filosofia Natural*, v. 1, trad. T.S.F. Ricci, L.G. Brunet, S.T. Gherin & M.H.C. Celia, Nova Stella/Edusp, São Paulo.

_____. (1689). *Philosophiae naturalis Principia Mathematica* (fax-símile da 1º edição). Documento eletrônico disponibilizado pela base de dados Wing-N104.

_____. (1996). *Optica* (trad. André Koch Torres Assis); Edunesp, São Paulo.

Complementar

D'ALEMBERT, J. le Ronde (1994). *Ensaio sobre os Elementos de Filosofia*; Unicamp, Campinas.

_____ (1990). *Traité de Dynamique*; Jacques Garbay, Paris.

BARRA, Eduardo de Oliveira (1994). *Omnis Philosophiae Difficultas* (tese de mestrado); USP, São Paulo.

BOYER, Carl B. (1949). *The History Of The Calculus And Its Conceptual Development*; Dover, New York.

BRACKENRIDGE, J.B. (1995). *The Key to Newton's Dynamics*; California Press, Califórnia.

BUCHDAHL, G. (1988). *Methaphysics and the Philosophy of Science*; CPS, Pittsburgh.

BURTT, E. A. (1984[1991]). *As Bases Metafísicas da Ciência Moderna* ; UnB, Brasília.

BUTTERFIELD, H. (1949 [1992]). *As Origens da Ciência Moderna* ; Edições 70, Lisboa.

CASINI, P. (1983[1995]). *Newton e a Consciência Européia* ; Unesp, São Paulo.

CHALMERS, A. F. (1993). *O que é a ciência afinal?*; Brasiliense, São Paulo.

_____. (1994). *A fabricação da ciência*; Edunesp, São Paulo.

CHANDRASEKHAR, S. (1995). *Newton's Principia for the common reader*; Clarendon Press & Oxford Press, Oxford & New York.

COHEN, I. B & SMITH, G. E. [eds] (2002). *The Cambridge Companion to Newton*; Cambridge

Press, U.K.

_____ (1971). *Introduction to Newton's 'Principia'*; Harvard Press, Harvard..

_____ (1980[1983]). *La revolución newtoniana y la transformación de las ideas científicas*; Alianza, Madrid.

_____ (2002). *Revolucion em la Ciencia*; Gedisa, Barcelona.

COHEN, I.B. & WESTFALL, R. S. (1995[2002]). *Newton : textos, antecedentes, comentários*; Uerj / Contraponto, Rio de Janeiro.

D'ABRO, A. (1950). *The evolution of scientific thought from Newton to Einstein*; Dover Publications, New York.

DESCARTES, R. (1999). *Regras para a Direção do Espírito* (trad. Maria Ermantina Galvão); Martins Fontes, São Paulo.

_____. (1989). *El Mundo: Tratado de la Luz*; Anthropos, Barcelona.

_____. (2000). *Princípios da Filosofia* (trad. Teresa Marcelino); Porto, Porto.

DIJKSTERHUIS, E.J.(1986). *The Mecanization of the World Picture*, Princeton; New Jersey.

DUGAS, R. (1988). *A History of Mechanics*; Dover Publications, New York.

DUHEM, P. (1906[1981]). *La Théorie Physique : Son Objet – Sa Structure*; Vrin, Paris.

_____. (1989). *Algumas reflexões acerca da Física Experimental*; (trad. Nivaldo de Carvalho) in *Ciência e Filosofia*, São Paulo.

ELLIS, Brian D.(1962). *Newton's Concept of Motive Force*; Journal of the History of Ideas, Vol. 23, No. 2; pp. 273-278 (disponível eletronicamente pela JSTOR).

FEYERABEND, P. (1975[1977]). *Contra o Método*; F. Alves, Rio de Janeiro.

FORCE, J.E. & POPKIN, R.H.(1990). *Essays on the context, nature and influence of Issac Newton's Theology*; Kluwer, Holanda.

GALILEI, G.(2000). *Diálogos Sobre os Dois máximos Sistemas do Mundo*; Discurso, São Paulo.

_____. (1638[1986]). *Duas Novas Ciências* (tradução de Letizio Mariconda e Pablo R. Mariconda); Ched & Nova Stella, São Paulo.

GAUKROGER, S. (1982). *The Metaphysics of Impenetrability: Euler's Conception of Force*; The British Journal for the History of Science, Vol. 15, No. 2. (Jul., 1982), pp. 132-154.

GAVROGLU, Kostas; GOUDAROULIS, Yorgos; NICOLACOPOULOS, Pantelis [Orgs] (1989). *Imre Lakatos and theories of scientific change* (Boston studies in the philosophy of science : v. 111); Kluwer Academic Press, Dordrecht [Netherlands]; Boston.

- GLYMOUR, C. (1981). *Theory and Evidence*; Princeton University Press, Princeton.
- _____. (1998). *Thinking Things Through*; MIT Press, Massachusetts.
- GOODMAN, N.(1946). *A Query on Confirmation*; The Journal of Philosophy, Vol. 43, No. 14; pp. 383-385.
- _____. (1955/1973). *Fact, Fiction and Forecast*; Bobbs-Merrill, New York.
- GRANGER, G.G. (1968[1974]). *Filosofia do Estilo* ; Perspectiva, São Paulo.
- GUICCIARDINI, Niccolò (1999). *Reading the Principia*; Cambridge Press.
- HALL, A. Rupert (1962 [1988]). *A revolução na Ciência: 1500 – 1750* ; Edições 70, Viseau
- HEMPEL, C. G. (1965). *Aspects of Scientific Explanation* ; Free Press, New York.
- _____. (1966[1974]). *Filosofia da Ciência Natural* ; Zahar, Rio de Janeiro.
- HOWSON, Colin (1976). *Method and appraisal in the physical sciences*; Cambridge Press, London. New York. Melbourne.
- JABALLAH, H. B. (2000). *La formation du concept de Force dan la Physique moderne* (vol. II); Universidade de Tunis I, Paris.
- JAMMER, M. (1961). *Concepts of Mass in Classical and Modern Physics*; Dover, New York.
- _____. (1957). *Concepts of Force*; Harvard Press, Cambridge-Massachusetts University Press.
- KOYRÉ, A. (1968). *Études newtoniennes*; Gallimard, Paris.
- _____. (1957 [1986]). *Do Mundo Fechado ao Universo Infinito*; Edusp, São Paulo.
- KUHN, T. (1977[1989]). *A Tensão Essencial* ; Edições 70, Lisboa.
- _____. (1957[1990]). *A revolução copernicana* ; Edições 70, Lisboa.
- LACEY, H. M. (1972). *A Linguagem do Espaço e do Tempo* ; Perspectiva, São Paulo.
- LARANJEIRAS, Cássio Costa (2002). *O programa de pesquisa de Ludwig Boltzmann para a mecânica estatística : uma reconstrução racional* ; Tese Doutorado USP, São Paulo.
- LAKATOS, I. (1970[1979]). *Crítica e o desenvolvimento do conhecimento* (trad. Octavio Mendes Cajado); Cultrix, São Paulo.
- _____. (1976). *Proofs and refutations : the logic of mathematical discovery* ; Cambridge Press, Cambridge-Mass.
- _____. & MUSGRAVE, A.[Org.] (1970). *Criticism and the growth knowledge : proceedings*

- of the international colloquium in the philosophy of science*; Cambridge Press, Cambridge-Mass.
- _____. (1974). *Historia de la ciencia y sus reconstrucciones racionales*; Tecnos, Madri.
- _____. (1978). *Philosophical Papers* (Vol. I e II); Cambridge Press, Cambridge.
- LAUDAN, L. (1977). *Progress and its Problems*; Univ. of California Press, Berkeley.
- _____. (1980). *Teorias do método de Platão a Mach*; Cadernos de história e filosofia da ciência, CLE, Campinas.
- _____. (1981). *Science and Hypothesis*; D. Reidel, Boston.
- _____. (1984). *Science and values*; Univ. of California Press, Berkeley.
- _____. & all.(1986[1993]). *Mudança científica : modelos filosóficos e pesquisa histórica* (tradução de Caetano Ernesto Plastino); Revista de Estudos Avançados USP 19, São Paulo.
- LEIBNITZ, G. (1974). *Correspondência Clarke-Leibniz* in Coleção os Pensadores, Abril Cultural, São Paulo.
- LINDBERG, David C. (1982). *On the applicability of mathematics to nature: Roger Bacon and his predecessors*; British Journal for the History of Science, Vol 15.
- LOSEE, J. (1972[1993]). *A historical introduction to the philosophy of science*; Oxford Press, Nova York.
- LOVEJOY, A. O.(1964[2005]). *A grande cadeia do ser*; Palíndromo, São Paulo.
- MACH, E. (1883/1912[1949]). *Desarolo Historico-critico de la Mecanica*; Espasa, Buenos Aires e México.
- MCMULLIN, Ernan (1978). *Newton on matter and activity*; University of Notre Dame Press.
- NAGEL, E. (1961). *The Structure of Science*; Harcourt, Brace & World, New York.
- NICKLES, T. (1987). *Lakatosian Heuristics and Epistemic Support*; British Journal for Philosophy of Science, vol. 38 (pp. 181-205).
- OSLER, Margaret J. (org.) (2000). *Rethinking the Scientific revolution*, Cambridge, U.K.
- PATY, M. (1990). *L'Analyse Critique des Sciences*; L'Harmattan, Paris.
- _____. (1997[2004]). *D'Alembert*; Belles Lettres, Paris.
- _____. (1995). *NEWTON, Isaac*; Encyclopaedia Universalis, vol. 12, 1995, p. 315-317
- (documento eletrônico disponibilizado por HAL-SHS).
- _____. (2001). *D'Alembert, la science newtonienne et l'héritage cartésien* in Corpus (Revue de philosophie, Corpus des oeuvres de philosophie en langue française, Paris), n°38 : *D'Alembert* (éd. par Markovitz, Francine et Szczeciniarz, Jean-Jacques), 2001, 19-64. (Documento eletrônico

disponibilizado pela HAL – SHS).

PEIRCE, C.S (1983/1989). *Escritos coligidos* (trad. Armando Mora D'Oliveira); Coleção Os Pensadores, Abril Cultural, São Paulo.

PESSOA JR. , O . (2007). Notas de aula do curso “Filosofia da Física”, ministrada no Instituto de Física USP São Paulo (disponibilização Eletrônica em <http://www.fflch.usp.br/df/opessoa/FiFi-07.htm>, acessado em 25/01/2008).

PLASTINO, C. E. (1995). *Realismo e Anti-realismo acerca da ciência*; tese de doutorado, USP, São Paulo.

POINCARÉ, H. (1902[1984]). *A ciência e a hipótese: pensamento científico*; ed. Univ. Brasília, Brasília.

POPPER, K. (1975). *Logic of scientific discovery*; Hutchinson, London.

_____. (1982). *Conjecturas e Refutações*; Ed. Univ. Brasília, Brasília.

PUCHKIN, V.N. (1967[1969]). *Heurística: a ciência do pensamento criador*; Zahar, Rio de Janeiro.

RASHED, R. [ed] (1988). *Sciences a L'époque de la révolution française: recherches historiques*; Albert Blanchard, Paris.

ROSSI, PAOLO (1989[1992]). *A Ciência e a Filosofia dos Modernos*; Unesp, São Paulo.

SMITH, D. E. (1923 [1951]). *History of Mathematics (vol I e vol. II)* ; Dover , Nova York.

STRONG, Edward W.(1938). *Mechanical Ideas in the Scientific Thought of the Seventeenth Century*; The American Naturalist, Vol. 72, No. 741; pp. 324-339.

THUILLIER, P. (1988 [1994]). *De Arquimedes a Einstein* ; Jorge Zahar, Rio de Janeiro

TOULMIN, S. (1961). *Foresight and Understanding: An Enquiry into the Aims of Science*; Indiana University Press.

_____. (1972). *Human Understanding: The Collective Use and Evolution of Concepts*; Princeton University Press.

TRUESDELL, C. (1968). *Essays in the history of mechanics*; Springer-Verlag, Berlin; New York.

URBACH, P. (1987). *Francis Bacon's Philosophy of Science* ; Open Court, Illinois.

WESTFALL, Richard S. (1993[1995]). *A vida de Isaac Newton* ; Nova Fronteira, Rio de Janeiro.

WHITROW, G.J.(1949). *On the Foundations of Dynamics*; British journal for the Philosophy of Science, Vol. I, nº 2 ; 92-107

Anexo 1

1.1- Teorias relacionais e teorias absolutistas do espaço e do tempo nos primórdios da física clássica

As assimetrias encontradas na descrição dos fenômenos eletromagnéticos de corpos em movimento sob a suposição de um referencial privilegiado e os sucessivos insucessos na detecção do movimento da Terra em relação ao éter luminífero (ente físico que corporifica o dito referencial privilegiado) implicou, na virada do século XIX e início do XX, a reconsideração sistemática de certas noções fundamentais da física, como a idéia de mensuração de grandezas físicas e, em particular, o significado físico das noções de espaço e tempo por filósofos e físicos tais como Mach e Poincaré.

Tais reconsiderações culminaram por fim com o surgimento e consolidação da teoria da relatividade restrita e posteriormente da geral, que comumente são interpretadas como provas de que o emprego dos conceitos de espaço e tempo absolutos, cuja origem remota se encontra na mecânica newtoniana codificada nos *Principia* e solidificada pela mecânica clássica é no mínimo mal fundamentado. Por outro lado, usualmente se considera também que a relatividade, além de demandar a recusa necessária das noções clássicas de espaço e tempo, implica que certas relações físicas interpretadas geralmente como objetivas- tais como a distância espacial entre os extremos de uma barra ou o intervalo temporal ente dois eventos, registrados por um relógio- passam a ser ontologicamente relativizadas para diferentes observadores, de modo que tais relações perdem seu estatuto objetivo e passam a depender do “ponto de vista” do observador específico que atesta a relação em questão (REDHEAD:1995[1997]; pág. 37).

Sumariamente, o estabelecimento da relatividade em substituição à mecânica clássica parece corporificar, metafisicamente, a fusão da realidade em um contínuo espaço-temporal relativo, em detrimento das noções tradicionais do espaço absoluto e tempo (independente dos eventos e de fluxo uniforme) absoluto. A desconsideração patente com o conceito de espaço e tempo absolutos, em princípio, parece solapar dois aspectos centrais no desenvolvimento das idéias científicas a partir da Modernidade, a saber, a inteligibilidade (científica) do conceito na mecânica newtoniana e a profunda mudança epistêmica do conceito de lei científica que se deu entre a publicação dos *Principia* e *Sobre a Eletrodinâmica dos corpos em movimento*.

A formulação clássica do conceito de espaço absoluto assim se apresenta :

“O espaço absoluto, por sua própria natureza, sem relação com algo externo, permanece sempre semelhante e imóvel; o relativo é certa medida ou dimensão móvel dos espaços absolutos, a qual nossos sentidos determinam por sua situação relativamente aos corpos, e que a plebe emprega em vez do espaço imóvel, como é a dimensão do espaço subterrâneo, aéreo ou celeste determinada por sua posição com respeito à Terra. Na figura e na grandeza, o espaço absoluto e o relativo são a mesma coisa, mas não permanecem sempre numericamente o mesmo. Assim, p.ex., se a Terra se move, um espaço do nosso ar que permanece sempre o mesmo relativamente a terra, ora será uma parte do espaço absoluto no qual passa o a, ora outra parte, e nesse sentido mudar-se-á sempre absolutamente”

Newton (1996): *Principia*; pp.24-25.

É possível divisar a partir do fragmento (e do que segue no Escólio posterior às definições) que Newton defende três proposições fundamentais:

- A) O espaço absoluto existe como uma entidade em si mesmo, não sendo meramente como um sistema de relações entre corpos;
- B) Há um movimento absoluto;
- C) O movimento absoluto se dá em relação ao espaço absoluto e não em relação a qualquer sistema de corpos particulares;

Sistematicamente, a teoria absoluta do espaço pressupõe a existência de “entidades” espaciais irreduzíveis e puras, que se podem nomear lugares ou posições (absolutas). Os corpos ou objetos físicos ocupam posições no espaço e não se confundem com o mesmo. Particular e centralmente, o espaço pode existir na ausência completa de corpos, ou seja, é possível que o espaço seja vazio. As posições, ou melhor, o espaço e o tempo, não dependem ontologicamente da matéria para existir. Mais ainda, a proposição newtoniana do espaço absoluto, sob a ótica de uma análise ontológica, afirma que a dependência é inversa: o espaço pode ser pensado (e portanto pode existir e metafisicamente existe) independente dos objetos materiais, porém estes últimos não podem ser imaginados fora do espaço. Assim sendo, é clara a prioridade ontológica do espaço sobre a matéria e logo a dependência necessária da matéria em relação ao espaço. Tal teoria, embora apresentada sumariamente, implica certas concepções do espaço que corporificam, por assim dizer, a natureza desta entidade:

- i) As relações espaciais entre posições não variam com o tempo. Posições (absolutas) não participam de relações causais, são entidades causalmente inertes (espaço euclidiano);
- ii) Dois corpos distintos não podem ocupar a mesma posição ao mesmo tempo, devido à impenetrabilidade assumida da matéria e ao fato de que cada posição absoluta do espaço é - do ponto de vista lógico- determinada univocamente (embora não haja meios de se o fazer a partir de observações sensíveis)⁶⁶
- iii) Nenhum corpo pode ocupar duas posições espacialmente separadas ao mesmo tempo (dado que cada posição é unívoca);
- iv) Existem dois tipos de movimento. Um corpo se move absolutamente se e somente se ocupa diferentes posições (absolutas) em diferentes tempos. Um corpo se move relativamente se e somente se existe um outro corpo cujas relações espaciais com o primeiro variam com o tempo. É obvio que esta análise indica que não pode haver movimento absoluto sem espaço absoluto.

As considerações sobre o tempo são análogas às apresentadas sobre o espaço, com a ressalva de que o tempo é encarado como uma entidade independente do espaço em fluxo uniforme e sem relação com os eventos físicos. Segundo Newton:

O tempo absoluto, verdadeiro e matemático flui sempre igual por si mesmo e por sua natureza, sem relação com nenhuma coisa externa, chamando-se com outro nome “duração”; o tempo relativo, aparente e vulgar é certa medida sensível e externa da duração por meio do movimento (seja exata, seja desigual), a qual vulgarmente se usa em vez do tempo verdadeiro, como são a hora, o dia, o mês, o ano.

Newton: *Principia*; pág. 24.

Tornou-se um lugar comum a partir do século XIX, e em especial devido às críticas ferozes de filósofos e cientistas como Mach, a recusa das noções de espaço e tempo absolutos como conceitos não científicos. Tal crítica é frequentemente associada com concepções operacionalistas da prática científica e interpretações filosóficas de seus resultados muito próximas a que virão a se consolidar com teoria verificacionista do sentido como erigida pelo positivismo/empirismo lógico.

⁶⁶ O que indica pela parte de Newton o comprometimento com uma interpretação da atividade científica orientada pelo realismo metodológico e metafísico.

Afirma-se que o espaço e o tempo absolutos não podem ser considerados como elementos essenciais das explicações mecânicas e que em particular a teoria codificada nos *Principia* pode ser reconstruídas sem estas noções. Não raro defende-se que o emprego destes conceitos por Newton está associado à imposição de crenças metafísicas ao corpo teórico da mecânica newtoniana. Espaço e tempo absolutos seriam, sob esta ótica, apêndices metafísicos que devem ser desprezados por aqueles interessados em resultados científicos empiricamente justificáveis (LACEY: 1972;pág.126).

Tais críticas, em especial as que partiram de Mach não se sustentam, ao que parece, a uma análise que leve em conta os valores epistêmicos que nortearam a prática científica de Newton. Particularmente, as análises de Mach são permeadas pela expressão de seu próprio projeto filosófico e epistemológico, o que de certo modo o leva a “torcer” a interpretação da obra newtoniana tendo em vista seus próprios objetivos conceituais. Antes de tentar compreender tal leitura, que pode ser encarada como o resgate da perspectiva relacional defendida inicialmente por Descartes e Leibniz (em particular deste último), parece necessário sumarizar o pano de fundo filosófico e epistêmico a partir do qual a noção de espaço e tempo absolutos se legitimaram no interior da prática científica do final do século XVII e boa parte do século XVIII, em especial no que concerne a noção geral de lei científica e o caráter causal a ela associado.

A questão agora desliza para o campo propriamente epistêmico-metodológico. Se a infraestrutura da ciência está bem determinada pela perspectiva ontológica de um universo de causalidade mecânica, criado por um deus geômetra em um espaço euclidiano, funcionando por meio de leis constantes, o passo natural é a interrogação sobre como conhecer este mundo e a preocupação adicional de que este como - o método - deve ser em última instância a autoridade final sobre a ciência.

Isto indica por que a questão do método foi um tema central aos filósofos da natureza do século XVII, por uma razão trivialmente simples: a partir de Copérnico, as observações e experimentações científicas devem ser corrigidas pela razão, pois a experiência ingênua dos sentidos não capta a verdadeira estrutura do mundo; isso implica portanto um papel ativo do sujeito cognoscente sobre a realização da ciência, em oposição ao aristotelismo, que via na experiência imediata dos sentidos os fundamentos do conhecimento da natureza. Nesse sentido, o papel do sujeito cognoscente é fundamental, pois é ele que deve procurar a verdade para além da aparência informada pelos sentidos. Em termos newtonianos:

Mas deduzir os movimentos verdadeiros de suas causas, de seus efeitos e de suas diferenças aparentes, ou, inversamente, deduzir dos movimentos, quer verdadeiros quer aparentes, suas causas e efeitos, é o que se ensinará com mais particularidades nas páginas seguintes. É para esse fim que compus este trabalho.

Newton: *Principia*, Escólio às definições, pág.30 (1996)

As teorias relacionais do espaço e do tempo surgem com Descartes e ganham forma definitiva com Leibniz. No final do século XVII e início do XVIII o debate em torno da questão de se o espaço é uma entidade ontologicamente independente (Newton) ou se é apenas um sistema de relações entre corpos (Descartes - Leibniz) atinge seu auge na correspondência entre Leibniz e Clarke. A concepção de Mach, corporificada no que passou a ser chamado de *Principio de Mach* pode ser compreendida em um sentido lato como a recuperação e a defesa da visão relacionista de Leibniz, atribuindo às estrelas fixas o que na teoria newtoniana era associado ao espaço absoluto.

Antes de tratar-se mais detidamente das concepções de Mach é importante apresentar certas características centrais das primeiras teorias relacionais do espaço e do tempo como formuladas por Descartes e Leibniz.

A Física cartesiana, apoiada na geometrização da matéria através do conceito de *res extensa*, mostrava-se insuficiente no tratamento do movimento, em particular dada a dificuldade de conceituar a noção de velocidade com a precisão necessária a constituição de uma dinâmica. A dificuldade ligava-se a utilização da noção de espaço relativo, que dificultava a construção de um conceito de velocidade operacionalmente concreto e que não se reconciliava com o cálculo de forças proposto pela dinâmica newtoniana. O tratado *Do Peso e do Equilíbrio dos Fluidos* desnuda a incompatibilidade entre a Física cartesiana no tratamento que esta dá ao movimento e a dinâmica newtoniana:

“Posso resumir a teoria de Descartes nas três proposições que seguem:

- (1) Segundo a verdade das coisas, a cada corpo compete exclusivamente um movimento particular (*Princípios*, Parte Segunda, artigos 28, 31 e 32), o qual é definido como sendo o deslocamento de uma parte da matéria ou de um corpo da proximidade dos corpos que o tocam imediatamente – e que são considerados como estando em repouso – à proximidade dos outros (*Princípios*, parte Segunda, artigo 25; Parte Terceira, artigo 28).
- (2) Por um corpo deslocado no seu movimento particular, conforme a mencionada definição, pode-se entender não somente qualquer partícula de matéria, ou um corpo composto de partes relativamente em repouso, mas tudo aquilo que é simultaneamente deslocado, embora, naturalmente, isto

possa consistir em muitas partes que têm movimentos relativos diferentes (*Princípios*, Parte Segunda, artigo 25).

- (3) Além deste movimento peculiar a cada corpo, podem surgir nele inúmeros outros movimentos, isto é, por participação (ou seja, na medida em que faz parte de outros corpos que têm outros movimentos)(*Princípios*, Parte Segunda, artigo 31). Cumpre notar, entretanto, que estes não constituem movimentos no sentido filosófico do termo e em linguagem racional (Parte Terceira, artigo 29), nem segundo o rigor da verdade das coisas (Parte Segunda, artigo 25; Parte Terceira, artigo 28), mas tão somente em linguagem imprópria e de acordo com o modo comum de falar (Parte Segunda, artigos 24,25,28 e 31; Parte Terceira, artigo 29). Esta espécie de movimento, Descartes a Descreve – ao que parece- como sendo a ação em virtude da qual um corpo passa de um lugar a outro (Parte Segunda, artigo 24; Parte Terceira, artigo 28).

(...)A isto se acrescenta o seguinte: quando uma coisa inteira se move, todas as partes que constituem o todo e se movem juntamente com ele estão realmente em repouso. Assim é, a não ser que se admita que as partes se movem ao participarem do movimento do todo, caso em que se deve afirmar que têm inúmeros movimentos segundo a verdade das coisas.”

NEWTON (1996): **Do peso e equilíbrio dos Flúidos**; pp303-305 (grifo nosso).

Apresentam-se neste fragmento os elementos centrais da crítica newtoniana à concepção de velocidade cartesiana e a necessidade da introdução de um referencial absoluto para que as leis cartesianas da inércia e da conservação da quantidade de movimento passem a ter validade científica real em vista do modelo de racionalidade corrente. Estes são os argumentos centrais para a recusa de Newton de uma teoria relacional.

O resultado necessário da interação entre os elementos filosóficos, epistêmicos e metodológicos determinantes da prática científica newtoniana era a asseveração do espaço e do tempo absolutos. Mais precisamente, é notório que a lei da inércia, elencada como primeiro axioma do movimento no sistema newtoniano, tem sua origem conceitual já na obra de Descartes *Princípios da Filosofia*. Note-se a semelhança entre as afirmações de Newton e Descartes:

“Definição III: A força inata (ínsita) da matéria é um poder de resistir pelo qual cada corpo, enquanto depende dele, persevera em seu estado, seja de descanso, seja de movimento uniforme em linha reta.”

Newton: *Principia*; pág.21.

A aproximação desta definição com a concepção cartesiana é bastante latente:

“A Primeira (Lei da natureza) é: cada parte da matéria em particular permanece sempre em um mesmo estado a menos que o encontro com outras a obrigue a mudar”

Descartes: *El Mundo*; pág. 111 (tradução nossa).

A questão fundamental é que motivou Newton à defesa da concepção absolutista do espaço e do tempo se liga à incompatibilidade entre a teoria relacional de Descartes e a lei da inércia. Sicinatamente, pode-se reconstruir as críticas de Newton (expalhadas pela obra, mas particularmente presentes nos tratados *Peso e Equilíbrio dos Flúidos e Livro II dos Principia*) nas seguintes proposições:

- i) A lei da inércia é válida não só por sua dedução metafísica, como apresentada por Descartes, mas particularmente pela sua capacidade explicativa, em espacial a possibilidade de descrever e explicar os movimentos celestes associando a lei da inércia e a lei de força central (primeira e segunda leis do movimento);
- ii) Supondo a validade da lei da inércia, deve-se recusar a teoria relacional do espaço. A lei da inércia garante que é possível atribuir a cada corpo na ausência de forças um movimento unívoco, seja isto, ou o repouso ou o movimento uniforme em linha reta. No entanto, se aceita-se a noção de que o espaço é a relação entre os corpos tangíveis e que portanto não existem posições absolutas mas somente as determináveis a partir de corpos de referência, então para qualquer corpo não é possível asseverar se está sob a ação de forças ou não. Por exemplo, suponha-se um corpo sob a ausência de forças, mas cujos corpos da vizinhança estejam sob a ação de uma força uniforme e na mesma direção. Provocar-se-á um movimento relativo entre o corpo analisado e sua vizinhança e, como não existe um referencial privilegiado de análise, nada impede de se supor o repouso dos corpos da vizinhança e a ação da força sobre o corpo investigado. Em vista da suposição inicial logo deve-se abandonar a possibilidade de asseveração unívoca do estado de movimento do corpo e logo da descrição causal do movimento em geral;
- iii) A lei da inércia serve como princípio explicativo para a dinâmica celeste com resultados surpreendentes, as teorias relacionais falham na explicação desta seção do conhecimento e dos famosos experimentos mentais do balde e dos globos. Logo, ou se mantêm as leis do movimento tal como asseveradas por Newton ou as teorias relacionais do espaço;

- iv) Dado o sucesso dos *Principia* e seus axiomas na explicação dos fenômenos, as teorias relacionais devem estar erradas;
- v) Afirma-se a existência do espaço absoluto e por razões semelhantes do tempo absoluto para a manutenção das leis do movimento e a capacidade epistêmica efetiva da ciência em asseverar causas verdadeiras aos fenômenos.

É a partir deste contexto que se pode afirmar a inteligibilidade científica dos conceitos de espaço e tempo absolutos sob o contexto dos valores epistêmicos, metodológicos e científicos da física newtoniana. Primeiramente, o espaço absoluto parece estar pressuposto na formulação das leis do movimento e da lei da gravitação, em especial no que concerne à perspectiva de pensar as forças como os princípios causais do movimento cuja determinação inequívoca é o objetivo primário da ciência. Além disso, dado o contexto científico do período, onde as leis newtonianas se mostraram adequadas para a explicação de uma ampla gama de fenômenos, a aceitação de teorias relacionais implicaria a recusa das ditas leis.

O *locus* clássico da formulação da teoria relacional do espaço e tempo de Leibniz encontra-se na correspondência deste com Clarke no início do século XVIII:

“...eu sustento ser o espaço algo meramente relativo...sustento ser ele uma ordem de coexistência, assim como o tempo é uma ordem de sucessões. Pois o espaço denota, em termos de possibilidade, uma ordem de coisas que existem ao mesmo tempo, consideradas como existente juntos, sem importar sua maneira de existir. E quando muitas coisas são vistas juntamente, percebe-se a ordem das coisas entre si.”

LEIBNIZ: **Terceira carta a Clarke**; citado a partir de LACEY, H. M.; pág. 128.

Podemos sumarizar a teoria relacional de Leibniz em três proposições:

- A) O espaço não é uma entidade ontologicamente independente, porem meramente um conjunto de relações entre corpos simultaneamente existentes;
- B) Todo movimento é relativo a algum corpo de referência;
- C) Pode-se pensar na existência de um movimento absoluto de um corpo, porém não é o movimento em relação ao espaço absoluto, porém relativo ao corpo que causa o movimento.

A defesa de Leibniz de que o espaço é a ordem de coexistência dos corpos parece indicar que as relações entre os corpos, determinante do espaço, não é prioritariamente orientada por necessidades (pragmáticas e ontológicas) quantitativas, isto é, ao contrário da teoria absoluta do espaço, que implica a univocidade das distâncias entre corpos (ou comprimentos de corpos), a teoria relacional opera sob um âmbito bastante mais qualitativo (do ponto de vista conceitual) na medida em que não parece ser possível asseverar um invariante métrico tal como formulada a teoria de Leibniz. Por outro lado, a partir de considerações metodológicas (seja isto, do ponto da racionalidade científica e do pano de fundo conceitual e empírico reconhecido no início do século XVIII) a teoria relacional do espaço é justificável, na medida em que a análise matemática e observacional/experimental do movimento não parece implicar a existência de um referencial privilegiado a partir do qual os eventos deveriam ser descritos.

Clarke por seu turno defende a teoria newtoniana com argumentos similares aos apresentados acima, centralmente defendendo que do ponto de vista ontológico o espaço e o tempo são quantidades e como tais devem ser univocamente determináveis (como na geometria), e portanto, indicam a existência do espaço e tempo absolutos. A ordem de relação entre eventos e corpos no espaço não pode captar tal univocidade pois, sob a perspectiva relacional, a ordem de sucessão não é evidente, pois dependeria dos observadores envolvidos, mesmo que a ordem dos corpos e eventos de referência seja o mesmo, tanto quanto as posições e efeitos causais, que perdem seu estatuto objetivo, sendo a causa da mudança do movimento sempre logicamente indeterminada (como apontado acima).

Os argumentos principais contra a existência do espaço absoluto podem assim ser formulados:

- i) O que por sua natureza não pode ser observado não existe. Portanto, nem espaço absoluto nem movimento absoluto existem. Seguindo Leibniz:

“Eu respondo, o movimento, na verdade, não depende de ser observado; mas depende de ser possível de ser observado. E quando não há mudança que possa ser observada, não há mudança alguma”

LEIBNIZ: quinta carta a Clarke; citado a partir de LACEY, H. M.; pág. 129.

- ii) O espaço absoluto é, por hipótese, inerte causalmente (para a manutenção da validade das leis do movimento como formuladas por Newton) e logo como há a homogeneidade de todos os pontos, não existe razão suficiente para que se assevere uma ação causal em um ponto ou em outro o que, seguindo Leibniz na centralidade de seu princípio da razão suficiente, é necessário concluir que a criação divina não se sujeita a razão alguma. Se não há razão para um objeto A ser alocada em um ponto P ou P' dado sua indistinguibilidade, então logicamente viola-se o princípio liebniziano de que o real deve ter propriedades causais.
- iii) Por fim, sempre que se analisa o movimento de um corpo, a análise se baseia no movimento relativo a um corpo de referência. Assim sendo, cientificamente, o espaço absoluto (e o tempo absoluto) não faz sentido dado que não possui efeitos determináveis no movimento.

Este último ponto era freqüentemente recusado por Newton em vista da sua argumentação dos experimentos mentais do balde e das esferas. Recomenda-se a leitura de GAZZINELLI (2005) e LACEY (1972) para uma discussão pormenorizada e esclarecedora destes experimentos.

O importante a ser retido, em nossa opinião, é de que sob a ótica da determinação dos verdadeiros agentes causais do movimento (forças), é necessário supor um sistema de referências absoluto, ou seja, um sistema que forneça (logicamente) a correspondência real para as forças medidas. Os conceitos de espaço e tempo absolutos são antes de mais nada ferramentas operacionais que garantem a possibilidade de satisfação dos requisitos epistêmicos vigentes na prática científica do período e mais, os *Principia* foram pensados como possibilitando “inferir os movimentos verdadeiros de suas causas ou inversamente deduzir dos movimentos, quer verdadeiros quer aparentes, suas causas e efeitos”. São estes elementos em conjunto que garantem a inteligibilidade científica dos conceitos de espaço e tempo absolutos na dinâmica newtoniana.

1.2- Hume e Mach: por uma epistemologia e uma ciência relativistas do espaço e do tempo

Embora a dinâmica de Newton tenha alcançado em breve período o status de ciência canônica, as propostas de teorias relacionais do espaço e do tempo continuaram a ser propostas e não raro se propôs reconstruções da dinâmica newtoniana sem o uso do espaço e tempo absolutos. Hume em seu *Tratado da Natureza Humana* afirma que:

“...a idéia de espaço ou extensão não é senão a idéia de pontos visíveis ou tangíveis distribuídos segundo uma certa ordem, segue-se que não podemos formar nenhuma idéia de vácuo, ou seja, de um espaço onde não existe nada de visível ou tangível”

Hume (1739[2000]); pág. 81

Tal posição se choca frontalmente com a física newtoniana mas, por outro lado, mantém as posições centrais de Leibniz e tenta consolidar uma teoria relacional mais clara e compatível com as leis do movimento conhecidas. A filosofia e epistemologia de Mach será o auge deste movimento de renovação e consolidação das teorias relacionais, erigida por este fundamentalmente em sua *História da Mecânica*.

Nesta obra criticam-se duramente os conceitos de espaço e tempo absolutos e através da percepção que a inteligibilidade dos mesmos dependia intrinsecamente de uma certa leitura da dependência das leis de Newton e aqueles elementos, em particular, da lei da inércia, procurou reformulá-la de modo a constituir um substrato adequado para sua teoria do espaço e do tempo, que retomava aspectos centrais das concepções de Leibniz.

O princípio de Mach origina-se nesse sentido de uma longa discussão sobre a lei da inércia e sua inteligibilidade científica. Pode-se asseverá-lo como a afirmação de que a distribuição global da matéria no universo (ou mais precisamente, as estrelas fixas) causalmente determina as propriedades inerciais dos corpos e dos referenciais disponíveis ditos inerciais. A interpretação da inércia de Mach defende que esta é uma manifestação física da interação entre a matéria que causa a resistência à mudança do estado de movimento de um corpo. Isto posto, logo se constata que o princípio não relaciona diretamente o espaço e o tempo, o que colocará a necessidade de avaliar a influência do mesmo na construção conceitual da relatividade. Antes informa que a inércia de qualquer corpo material é a medida de sua ligação dinâmica com a matéria restante no universo, nesse sentido pensado como um sistema fechado de interação.

A crítica de Mach aos conceitos de espaço e tempo vem associada com a defesa de que a lei da inércia não demanda a afirmação de um espaço e tempo absolutos e resgata os argumentos

clássicos de Leibniz contra o espaço absoluto. A crítica de Mach se dirige particularmente a leitura corrente no século XIX de que os teoremas da mecânica são dedutíveis *a priori* –, concepção que remonta provavelmente a Kant – e constituem os fundamentos de toda a ciência possível. Tal interpretação da mecânica e seu estatuto na cadeia do saber foi formulada na concepção mecanicista construída nos séculos XVIII e XIX e fundamentalmente a crítica de Mach vinha colocar como contraponto à mesma uma visão tipicamente empirista, onde o controle dos princípios pela experiência deve ser asseverado e garantido epistemológica e cientificamente.

A inércia deveria então ser interpretada não mais como uma característica dos corpos que se movem em um espaço absoluto e inerte, que indicaria a medida de sua resistência à mudança do movimento quando o corpo é consternado por forças externas. A recusa de Mach deste tipo de análise, pautado por um horizonte positivista, é associada a impossibilidade de relacionar esta lei a um fenômeno experienciado pelas sensações humanas. Logo toda sua argumentação busca a defesa da conceituação da inércia da matéria em termos da correlação causal com a distribuição da matéria nas estrelas fixas, satisfazendo indiretamente os requisitos metodológicos de sua perspectiva filosófica geral.

É preciso notar, e neste aspecto imagina-se encontrar um elemento central na análise da crítica de Mach e em sua aceitação nos meios filosóficos e científicos do final do século XIX, a profunda mudança na concepção de lei científica que se deu entre a época de Newton e de Mach. Pode-se formular tal transformação de valores epistêmicos como a transição entre a busca de substâncias pela atividade científica para a procura de relações funcionais. A origem remota desta transformação provavelmente seja associada à Newton, que embora asseverasse a validade da lei da gravitação, não lhe propunha explicitamente um mecanismo causal ou a possibilidade de que esta fosse uma propriedade intrínseca da matéria.

Assim sendo, a crítica positivista de Mach ressoou um seu ambiente filosófico e científico dada a nova concepção corrente do que seria uma lei científica. O requisito fundamental do século XVII – a descrição de causas verdadeiras ou agentes verdadeiros dos movimentos e em geral dois fenômenos – foi progressivamente sendo substituída pela noção de que o objetivo da atividade científica era encontrar relações (funções) entre os fenômenos.

Pode-se sumarizar a posição de Mach nos seguintes termos:

Admitindo a perspectiva de que as leis científicas são descrições econômicas das sensações e que o espaço e o tempo não aparecem em nossa experiência, deve-se admitir que

- A) O espaço absoluto não existe;
- B) O movimento absoluto não existe, todo movimento deve ser correlacionado a algum outro corpo ou conjunto de corpos tomados como referenciais;
- C) As estrelas fixas e não o espaço absoluto definem e garantem as propriedades inerciais dos corpos.

Mach responde aos experimentos mentais do balde e das esferas acima relacionados nos seguintes termos: as estrelas fixas determinam por ação causal (provavelmente gravitacional) os resultados dos ditos experimentos. No caso do balde, se se girarem as estrelas fixas a superfície da água será deslocada e, na ausência das estrelas fixas não haverá comportamento inercial, o que tornaria injustificado o experimento mental das esferas e seu resultado. As tendências centrífugas dependem intrinsecamente das estrelas fixas. Infelizmente, o argumento de Mach não é suficientemente bem determinado de modo a permitir uma formulação científica (nos termos do próprio Mach) adequada a uma análise mais profunda.

É interessante notar que embora a posição de Mach tenha sido motivada por um horizonte filosófico positivista, ela guiou Einstein a uma perspectiva eminentemente realista. A conclusão de Mach sobre a inércia da matéria em termos de interação tanto quanto sua recusa dos conceitos de espaço e tempo absolutos provavelmente deram a Einstein a perspectiva de uma interpretação relacional – nos moldes tradicionais- do espaço e do tempo em termos de um contínuo unitário relacionado a corpos e eventos. Embora o princípio de Mach não lide particularmente com a idéia de um contínuo de espaço-tempo, a relatividade restrita (implicando o que poderíamos nomear relacionismo métrico) e a relatividade geral (especialmente) relacionam o conteúdo material de um sistema (o universo) com as propriedades do espaço-tempo

Hirosige sumariza claramente o sentido desta influência:

Certamente, a crítica de Mach dos conceitos de espaço e tempo absolutos, aceitando que determinações no espaço e no tempo são não mais que determinações de um evento por outros eventos, deve ter sido sugestiva para Einstein. Porém, ela poderia ser sugestiva somente depois de que ele, enxergando a situação problema a partir de um novo aspecto, tivesse descoberto o novo problema a ser atacado, isto é, somente depois da refutação da visão de mundo mecanicista proposta por Mach, tivesse providenciado a ele novas perspectivas para seus próprios problemas.

HIROSIGE (1976): pág. 81.

A crítica de Mach e sua posição em defesa de uma teoria relacional acabaram por colocar questões fundamentais à visão mecanicista do mundo e à concepção da prioridade da mecânica em relação as demais ciências. O que se mostrou na obra de Mach e que serviu de substrato as teorias relacionais modernas, a relatividade em particular, é de que as forças motrizes são determinadas e determináveis por relações espaciais entre corpos sem prejuízo das leis conhecidas. Conseqüentemente, as forças como causas de movimento são dedutíveis a partir das relações mútuas entre corpos, independente dos referenciais utilizados.

Bibliografia (particular do anexo)

- DESCARTES, René (1989). **El Mundo Tratado de la Luz**; Anthropos, Barcelona.
- HALL, A. Rupert (1962 [1988]). **A revolução na Ciência 1500 – 1750**; Edições 70, Viseau.
- HIROSIGE, Tetu (1976). **Historical Studies in the Physical Sciences**, Vol. 7, Princeton Press.
- HUME, D. (1739[2000]). **Tratado da Natureza Humana**; Unesp, São Paulo.
- KOYRÉ, Alexandre (1957 [1986]). **Do Mundo Fechado ao Universo Infinito**; Edusp, São Paulo.
- LOSEE, J. (1972[1993]). *A historical introduction to the philosophy of science*; Oxford Press, Nova York
- NEWTON, I. . **Mathematical Principles of Natural Philosophy** ; tradução de Andrew Motte e revisada por F. Cajori.; California Press, 1960.
- NEWTON, I.(1996). Fragmentos disponíveis in Coleção Pensadores, com a tradução de Carlos Lopes de Mattos, Pablo Rubem Mariconda e Luiz Possas
- MACH, E. (1883/1912[1949]). **Desarolo Historico-critico de la Mecanica**; Espasa, Buenos Aires e México. Redhead, M. (1995[1997]): **Da Física à Metafísica**; Papirus, Campinas, São Paulo.
- ROSSI, Paolo (1989[1992]). **A Ciência e a Filosofia dos Modernos**; Unesp, São Paulo.
- ZAHAR, Elie (1974). **Programmes of Einstein and Lorentz**; em Howson, C. Method and appraisal in the physical sciences.

Artigos

- Gardner, Michael R.: **Relationism and Relativity**; *The British Journal for the Philosophy of Science*, Vol. 28, No. 3. (Sep., 1977), pp. 215-233.
- Moon , Parry; Spencer, Domina Eberle : **Mach's Principle**; *Philosophy of Science*, Vol. 26, No. 2. (Apr., 1959), pp. 125-134.
- Sachs ,Mendel: **On the Mach Principle and Relative Space-Time**; *The British Journal for the Philosophy of Science*, Vol. 23, No. 2. (May, 1972), pp. 117-119.

- Woodward , James F.; Yourgrau, Wolfgang : **Mach's Principle: Micro- or Macrophysical?**; *The British Journal for the Philosophy of Science*, Vol. 26, No. 2. (Jun., 1975), pp. 137-141.

Anexo 2

Uma análise externalista do programa newtoniano da mecânica racional newtoniana: Filogênese⁶⁷

(...) pois é possível que o sentido e o objetivo mais profundos do newtonianismo – ou antes, de toda a Revolução Científica do século XVII, da qual Newton foi o herdeiro e a expressão suprema - consistam justamente em abolir o mundo do ‘mais ou menos’, o mundo das qualidades e da percepção sensorial, o mundo da avaliação de nossa vida cotidiana, substituindo-o pelo universo (arquimediano) da precisão, das medidas exatas, da determinação rigorosa.

KOYRÉ: *O Significado da Síntese newtoniana*; in Newton:1995[2002]; ed. I.B. Cohen e R. Westfall

Os eventos que marcaram a gênese dos *Principia* são bem conhecidos, mas retornar a eles constitui sempre um ponto de partida singular para compreender e ilustrar as razões que tornaram a obra seminal. Os *Principia* originam-se remotamente a partir da visita de Edmond Halley a Cambridge em agosto de 1684. Nesta visita, Halley (que virá a ser o primeiro editor dos *Principia* e publicará uma ode a Newton na edição da obra) encontra-se com o professor lucasiano que, na ocasião, já possuía uma reputação científica bem estabelecida, embora um pouco decadente, na medida em que havia passado os anos de 1680 basicamente sem publicações, tendo ainda se afastado progressivamente das interlocuções filosóficas (em virtude das polêmicas infundáveis por ocasião da publicação de sua teoria óptica em 1672).

Neste encontro, Halley apresenta uma especulação sobre a lei que manteria os planetas em suas órbitas como sendo proporcional ao inverso do quadrado, perguntando-lhe qual seria, neste caso, a órbita descrita. Prontamente Newton respondeu que seriam elipses e asseverou, para o espanto de Halley, que já as havia calculado anteriormente.

A dedução *post hoc* das linhas gerais que possivelmente conduziram Halley a hipótese da lei de força das órbitas planetárias como proporcional ao inverso do quadrado e Newton à sua resposta (neste momento ainda ‘preliminar’) subjazem aos dados disponíveis então, particularmente as leis de Kepler, a lei de queda dos corpos de Galileu e a lei de força centrípeta de Huygens.

⁶⁷ “A história da matemática e a lógica do descobrimento, isto é, a filogênese e a ontogênese do pensamento matemático não se podem desenvolver sem a crítica e a rejeição definitiva do formalismo”.(Lakatos, Provas e refutações ;página 17). Embora os conceitos de filogênese e ontogênese de conceitos tenham surgido na obra de Lakatos no âmbito de sua filosofia da matemática, estes se apresentam como uma ferramenta útil na análise da história da ciência, visto que permitem de um lado divisar as origens históricas dos conceitos e de outro as transformações dos mesmos quando de sua incorporação em programas de pesquisa. Entenda-se, entretanto, neste ensaio “lógica do descobrimento”, ou ontogênese, como o papel que os conceitos desempenham na estrutura conceitual do programa de pesquisa e seus modos de articulação com o resto da estrutura; de certo modo uma figura particular da “ordem das razões” de uma obra, neste caso, científica.

Evidenciar as relações entre estes resultados científicos prévios (e bem estabelecidos no final do século XVII) descritos nas principais obras científicas do período e os *Principia* requer, em termos algébricos contemporâneos, os seguintes passos:

A velocidade tangencial de um corpo em movimento circular uniforme, por exemplo a lua em seu movimento orbital, é dada pela expressão

$$v = \frac{2\pi r}{T} \quad \text{onde } r \text{ é o raio da órbita e } T \text{ o período orbital}^{68}.$$

E portanto

$$v^2 = \frac{4\pi^2 r^2}{T^2}$$

o que pode ser reescrito como

$$v^2 = \frac{4\pi^2 r^2 r}{T^2 r}$$

ou

$$v^2 = \frac{4\pi^2 r^3}{r T^2}$$

O que é uma relação entre a velocidade orbital tangencial e a terceira lei de Kepler, ou lei harmônica (r^3/T^2), dado que sendo a velocidade orbital tangencial dos planetas aproximadamente constante, r^3/T^2 será constante, o que é a afirmação contida na terceira lei de Kepler. Assumindo-se a validade da lei harmônica (bem corroborada pela Astronomia da época) e observando-se a igualdade acima tem-se :

$$v^2 = \frac{1}{r} 4\pi^2 \frac{r^3}{T^2}, \quad \text{tratando-se somente de um rearranjo da relação}$$

e portanto a dependência

⁶⁸ Na verdade trata-se do módulo da velocidade tangencial média mas que, como aproximação- dado que o movimento é bastante uniforme – toma-se como equivalente ao módulo da velocidade tangencial em qualquer ponto.

$$v^2 \propto \frac{1}{r}$$

fica estabelecida.

Mas lembrando que Huygens já havia encontrado a expressão para a força centrípeta (publicada originalmente em seu *Horologium Oscilatorum*), que em seu sistema significava a força que equilibraria a tendência de um corpo em movimento circular a se afastar do centro da órbita e a força de resistência do meio (expressão redescoberta por Newton provavelmente em algum momento durante seus estudos universitários, possivelmente 1666) como sendo

$$F_{\text{centrífuga}} \propto \frac{v^2}{r}$$

É fácil concluir que

$$F_{\text{centrífuga}} \propto \frac{v^2}{r} = \frac{1}{r^2}$$

e do ponto de vista matemático, como a força centrípeta equilibra uma tendência de afastamento, pode-se pensá-la, desprezando considerações ontológicas, como uma força central ou centrípeta

$$F_{\text{centrípeta}} \propto \frac{1}{r^2}$$

de tal modo que Newton pôde afirmar (junto com Halley, Hooke e Wren, que o fizeram, especulativamente, antes de Newton) sem maiores reflexões que a lei de força das órbitas planetárias seria proporcional ao inverso do quadrado. A intuição de que órbitas elípticas seriam geradas por tal lei de força deriva do aparecimento, no meio do raciocínio, da terceira lei de Kepler e da interpretação de que aquelas compunham um conjunto orgânico, sendo mutuamente deriváveis umas das outras mas, sobretudo, foi o talento matemático de Newton que demonstrou a validade da intuição, deduzindo da lei de força proposta as leis de Kepler todas.

Pode-se afirmar que os *Principia* se inscreveram na ciência do século XVII como a obra fundamental porque a questão de Halley codificava a interrogação científica que se tornou central no período, o problema da causa das órbitas planetárias (ou em termos mais gerais, de um princípio explicativo para as órbitas planetárias). A partir de Ticho Brahe, que aboliu definitivamente as

esferas cristalinas como fatores da manutenção da estabilidade do sistema solar, uma questão intrigava profundamente astrônomos e filósofos em geral: o que manteria os planetas em suas órbitas? Kepler indicou, a partir de suas investigações com os dados de Ticho e dos trabalhos iniciais de Galileu (que por seu turno aboliu definitivamente a distinção entre mundo terrestre e celeste) - e certamente com o auxílio de sua ‘intuição científica’ - que a causa deveria ser uma força de tipo “magnético”, associada ao movimento de rotação do Sol sobre o próprio eixo, sem, no entanto, avançar além desta análise qualitativa em relação à causa (força) que manteria a unidade do sistema planetário, e obviamente sem propor uma formulação quantitativa ou dependências funcionais matematicamente articuladas.

Matemática e filosoficamente, Newton responde a questão supondo que a *força gravitacional* se estendia do Sol até os planetas mais distantes e era a causa dos movimentos planetários. O objetivo central dos *Principia* será a “dedução” desta proposição (COHEN, I. B & SMITH, G. E.: (2002), pp.202-226).

É preciso notar que Kepler, postulando suas leis das órbitas planetárias, apresenta os instrumentos teóricos necessários para formular precisamente o que passa a ser chamado de <problema direto> da astronomia no século XVII: conhecida a órbita de um corpo celeste, determinar a causa (força) que mantém o corpo em movimento nessa órbita. Newton, quando informa Halley de que havia encontrado uma solução para o problema direto⁶⁹, de certo modo informa ao mundo acadêmico europeu que a “questão do século” havia sido resolvida e, portanto, o espanto e a admiração de Halley são não só justificáveis mas condizentes com o feito.

Tal resposta que, como se verá, se substancializa na chamada <lei da gravitação>, está inscrita num sistema de proposições, métodos, pressupostos metodológicos, ontológicos e axiológicos que se formam paulatinamente e tomam sua estrutura definitiva nos *Principia*, mas relacionados intimamente aos resultados estabelecidos por Huygens, Galileu e Kepler. Isto deve sem dúvida ser levado em conta, pois existe na cadeia de razões newtoniana uma íntima correlação entre as suas três leis do movimento –pensadas como axiomas do movimento e cuja validade ele

⁶⁹ Na verdade Halley estabelece a pergunta via o problema indireto, seja isto, dada a força, encontrar a órbita. Mas seguramente Halley percebera que se, através do método de análise e síntese, corrente no ambiente científico da época e basicamente o modelo de racionalidade de solução de problemas de então, dada a solução para o problema inverso, encontrar a solução do problema direto era menos do que uma questão de paciência. Mais precisamente, a seção II e III dos *Principia* vai fazer esse movimento de responder o problema direto, depois o indireto, de maneira geral. Isso permitirá não só lidar com as órbitas planetárias e as órbitas de cometas, mas com qualquer órbita sujeita a uma força central, conhecidos certos determinantes. Nesse sentido, uma das razões para a grande popularidade dos *Principia* nos meios científicos é de que, além de ser um trabalho teórico, ele traz elementos de aplicação à astronomia nas seções IV e IX dos *Principia*.

pretendeu estabelecer partir da base empírica disponível (os resultados prévios de Galileu, Kepler e os teóricos do choque Huygens, Wren e Wallis) e a “dedução” da lei da gravitação. Em especial, a dita lei da gravitação não é encarada por Newton como lei científica propriamente, porque, em primeiro lugar não se propõe uma descrição causal da mesma⁷⁰ e, em segundo, ele adota uma concepção “geometrante” da noção de lei científica. Leis são somente seus “Axiomas ou Leis do Movimento”, apresentados logo após as definições, expressando os verdadeiros princípios explicativos da filosofia natural, obviamente matemáticos, condizente com o estilo geométrico então em voga e, pode-se afirmar, com as concepções platonistas presentes no pensamento newtoniano (KOYRÉ: 1968; PATY: 1995), sendo a força gravitacional uma ‘força universal’, mas não uma lei universal (sendo antes um corolário das leis do movimento), embora seja este um juízo antes estético do que lógico.

Halley visita Newton em agosto de 1684 e os *Principia* são publicados no começo de julho de 1687. Nesse ínterim, as idéias de Newton se articulam e vê-se, por assim dizer, a evolução do pensamento de Newton em direção a construção de sua obra magistral. Já no outono de 1684 Newton remete um pequeno tratado a Halley, “*De Motu Corporum*”, em que as primeiras proposições do que depois virão a ser o livro I e III dos *Principia* são apresentadas. Particularmente, neste tratado, é demonstrado o resultado que tanto espantou Halley: a lei de áreas de Kepler aceitas como verdadeiras pela astronomia do tempo (junto - e possivelmente devido a estas - com sua lei das órbitas, empiricamente verificada e, também presente na astronomia teórica com algumas aplicações observacionais, a lei Harmônica) era demonstrada ser verdadeira para qualquer ação de uma força central. Isso virá a ser um teorema fundamental para “demonstrar” (o sentido deste demonstrar

⁷⁰ A questão da causa da gravidade é uma questão complexa no corpo da obra newtoniana. Nos *Principia* e em vários documentos manuscritos antes da segunda edição (em especial as cartas a Bentley e passagens bastante explícitas dos *Principia*, como o escólio às definições, escólio às leis e o escólio a seção 11 e posteriormente no escólio geral) Newton defende categoricamente que a gravidade não se constituía em qualidade primária da matéria, sendo necessário encontrar sua causa, o que ele não postulava pois os experimentos realizados não o permitiam nada concluir definitivamente; inclusive, nas discussões que se seguiram à publicação dos *Principia* na Royal Society e via correspondências, Newton formulou uma hipótese mecânica da gravidade, que provavelmente foi abandonada devido às contradições que se derivavam da aceitação de uma explicação mecânica nos moldes cartesianos e os princípios matemáticos e resultados dos *Principia*. Por outro lado, os newtonianos como Cotes, tenderam a interpretar a gravidade como qualidade primária intrínseca à matéria, postulando indiretamente a ação à distância, o que gerou o acalorado debate com os neo-cartesianos e Leibniz. Mesmo Newton, em algumas ocasiões, parece tender a assumir esta postura, sem contudo a assumir explicitamente. Entre a segunda e a terceira edições dos *Principia*, Newton parece definitivamente abandonar a idéia de pensar a gravidade como qualidade primária da matéria, embora os newtonianos em geral assim interpretem. É sem dúvida no século XVIII que esta perspectiva, em vista do avanço espetacular da ciência newtoniana então, se consolida e a gravidade passa a ser encarada como intrínseca a matéria. Discutiremos em algum pormenor esta intrigante tensão conceitual ainda neste ensaio.

precisa ser esclarecido), no livro III, o que Newton vai afirmar sobre a veracidade da “atração” entre corpos (atração em sentido matemático primeiramente, logo depois como força universal).

A *Astronomia Nova* de Kepler foi um trabalho profundamente inovador, estabelecendo importantes resultados que em pouco tempo se tornaram observacionalmente justificados, como o fato de que os planetas encontram-se aproximadamente alinhados em um mesmo plano com o Sol (plano da eclíptica) e sobretudo suas três leis do movimento planetário. Em especial, as duas primeiras – lei das órbitas (elípticas) e lei das áreas – foram o fruto de um tratamento matemático árduo dos dados de Ticho Brahe, mas resultaram em uma das mais precisas tábuas de posições planetárias do período – as *Tabulae Rudolphinae*.

Posteriormente, Newton escreve uma segunda parte do “*De Motu*”, que virá a ser o cerne do livro III dos *Principia*. Ainda em 1684 (segundo a datação de DOBBS, que tem alcançado consenso entre os *Newtonian Scholars*) aparece “*Do peso e do Equilíbrio dos Fluidos*” (*De Gravitatione et aequipondio fluidorum*), que contém aspectos importantes para compreender o que virá a ser o livro II dos *Principia*. Neste tratado, publicado postumamente, Newton apresenta a refutação da filosofia cartesiana, sob os aspectos metafísico, metodológico e científico. No livro II dos *Principia*, restará somente a refutação apoiada em argumentos científicos, ou mais precisamente, da impossibilidade da teoria dos vórtices cartesiana explicar coerentemente as leis de Kepler. Interessantemente, o processo pelo qual se mostra a impossibilidade da verdade do sistema cartesiano é alcançado via o exercício de tornar mais determinado, ou melhor, de dar um tratamento matematicamente adequado e poderoso às proposições científicas de Descartes. Constrói-se toda uma teoria hidrodinâmica que, quando aplicada ao caso particular do movimento planetário (que, no sistema cartesiano, era mantido por vórtices de matéria sutil), mostra-se incompatível (incompatibilizável) com as leis de Kepler, que são tomadas nesse caso como suporte epistêmico⁷¹ e limitante da liberdade especulativa de qualquer teoria, com boas razões, como apontava os resultados preditivos e observacionais da astronomia da época.

A defesa de que os planetas se movem em órbitas elípticas, cujo raio vetor (segmento de reta Sol-planeta) varre áreas iguais em tempos iguais, apareceu pela primeira vez no ano de 1609 no livro *Astronomia Nova*, no qual Kepler apresenta resultados fundamentais obtidos através dos dados coletados por Ticho Brahe. Não se sabe com certeza se Newton teve acesso ao texto original de

⁷¹ Nickles, T. (1987) : *Lakatosian Heuristics and Epistemic Support*; BJPS 38, pág. 181-205. Já tratou-se este tema mas a idéia central é de que uma teoria adequada não pode se contrapor às leis de Kepler que, nesse sentido, são leis empíricas de baixo nível bem “corroboradas”.

Kepler, porém seguramente ele conhecia seus resultados fundamentais via a obra de Thomas STREETE *Astronomia Carolina* (1661). Nos anos de 1669 e 1670 Newton dedicou-se ao estudo da *Astronomia Britannica* (1669), de Vicent WING, que também menciona os resultados de Kepler e é bastante incisiva em relação a validade da lei Harmônica ($r^3/T^2=K$). A ‘comprovação’ da lei das órbitas é um problema relativamente simples dado o estado da astronomia técnica de então, que avançara bastante na construção de uma cinemática preditiva e na utilização de telescópios cada vez mais sofisticados (munidos de micrômetros, por exemplo). A lei das áreas não admite uma comprovação experimental direta, mas as aproximações realizadas a partir do cômputo das posições planetárias são significativas no sentido de justificar racionalmente a confiança em sua veracidade. O erro entre as previsões teóricas e as observações varia nas obras secundárias citadas entre 1’51’’ e 20’’ (COHEN, I.B. e SMITH, G.E.: 2002, pág. 205), erros tais que, com segurança, poderiam ser associados às limitações observacionais dos instrumentos.

Como fato, já em meados dos anos de 1670 parece provável que se tivesse estabelecido no espírito de Newton a confiança nas leis de Kepler como leis empíricas bem confirmadas. É também quase certo que o problema da causa que manteria o sistema planetário também estivesse presente, dado que tanto STREETE quanto Wing apontavam em sua obra a questão mas defendiam, sem maiores investigações conceituais, a hipótese cartesiana dos vórtices.

A relação de Newton com os trabalhos de Huygens e Galileu também é central na construção conceitual dos *Principia*. No escólio às leis, Newton cita os resultados daqueles que foram incorporados na obra, particularmente a lei de queda dos corpos de Galileu e as investigações do choque entre partículas de Wallis, Huygens e Wren. Em momentos posteriores, no decorrer de sua argumentação, Newton insere comentários a respeito da equivalência entre algumas proposições deduzidas e resultados anteriores divulgados por outros cientistas, como no escólio da Proposição IV Teorema IV do livro I, em que inicialmente aparece a expressão de força central como proporcional ao inverso do quadrado. Cabe notar que o corolário I da dita Proposição é exatamente a lei de força centrífuga de Huygens. O resultado de Galileu sobre queda dos corpos nesta proposição em particular comparece indiretamente, via a especulação de Huygens, citada no escólio, em relação à proporção entre as forças gravitacionais e a força centrífuga:

Proposição IV. Teorema IV: *As forças centrípetas de corpos, que por movimentos iguais descrevem círculos diferentes, tendem para os mesmos círculos e estão umas para as outras como os quadrados dos arcos descritos em tempos iguais divididos, respectivamente, pelos raios dos círculos.*

Corolário I – Assim, uma vez que aqueles arcos são como as velocidades dos corpos, as forças centrípetas são como os quadrados das velocidades divididos pelos raios.

Corolário VI – Se os tempos periódicos forem como os raios elevados a potência $3/2$. e as velocidades, portanto, inversamente como as raízes quadradas dos raios, as forças centrípetas serão inversamente como os quadrados dos raios; e vice-versa.

Escólio: O caso do sexto Corolário prevalece nos corpos celestes (como Sir Christopher Wren, dr. Hooke e dr. Halley separadamente observaram). Por conseguinte, no que segue, pretendo tratar de forma mais geral o que está relacionado à força centrípeta que decresce com os quadrados das distâncias a partir dos centros.

Além disso, por meio da proposição anterior e de seus corolários, podemos descobrir a proporção de uma força centrípeta para qualquer outra força conhecida, como a da gravidade. Porque se um corpo, por meio de sua gravidade, gira em um círculo concêntrico a Terra, essa gravidade é a força centrífuga daquele corpo. Mas a partir da queda dos corpos pesados, o tempo de uma revolução inteira é obtido, bem como o arco descrito em qualquer tempo dado (pelo Corolário IX desta Proposição). E por tais Proposições, Mr. Huygens, em seu excelente livro *De horologium oscillatorium*, comparou a força da gravidade com as forças centrífugas dos corpos que giram.

Newton (1996): Escólio a Proposição IV, pp. 64-65.

Seguramente Newton fez uso do que se poderia denominar a base experimental, matemática e conceitual disponível então para a construção de sua teoria dinâmica. Tal construção apoiava-se em resultados bem estabelecidos metodológica e conceitualmente através do tratamento dos dados via abdução (indução), tratado na época como método de Análise e Síntese: o que Newton apresentou com os *Principia* foram princípios gerais dos quais se ‘deduziam’ (em sentido nomológico) aquelas leis particulares.

Tal perspectiva leva a uma reflexão necessária sobre a relação entre a teoria e a evidência no trabalho de Newton e mais particularmente, a teoria de justificação utilizada por Newton na defesa de seu sistema. A pergunta natural, de antemão, seria o que justificaria a confiança de Newton nos resultados prévios. Em relação às leis de Kepler, como já afirmou-se, tal confiança justifica-se através da constatação da evolução da astronomia de posição e nas teorias cinemáticas desenvolvidas para a previsão de eventos celestes, cuja concordância não é sujeita a dúvidas cientificamente significativas. Em relação a Galileu e Huygens, os trabalhos de Galileu codificavam uma ampla gama de fenômenos investigados experimentalmente e eram tomados como bastante seguros (embora somente aproximadamente verdadeiros) no período (e ainda hoje), mesmo porque Galileu formulara sua teoria com o cuidado de levar em conta os desvios decorrentes de perturbações experimentais em suas explicações (o que o levou a operar teoricamente com a idéia de condição

ideal na determinação das leis naturais, por exemplo a queda no vácuo como condição limite da queda de corpos em distintos fluidos); Huygens por seu turno determinou com precisão considerável o valor da aceleração local da gravidade terrestre ($g \approx 1000 \text{ cm/s}^2 \approx 10 \text{ m/s}^2$, compatível com o valor atualmente aceito de $g \approx 9,8 \text{ m/s}^2$) o que permitia previsões significativamente precisas em relação a movimentos pendulares, tanto cônicos quanto simples.

Em ambos os casos, a determinação da concordância entre a previsão teórica e o resultado experimental é realizada via comparação de dados (matematicamente tratados) e não há escopo para grandes discordâncias, o que justifica, do ponto de vista científico (pragmático), a confiança nestes resultados por parte de Newton. Filosoficamente essa concordância entre fato experimental e teoria⁷² matemática para o fato não deixa de ser problemática, visto que, grosso modo, o programa newtoniano refuta todas as leis mencionadas. Entretanto, sob a hipótese de leitura que serve de arcabouço a este trabalho, tal objeção não é aceita nos termos em que habitualmente é colocada (conf. acima).

Em vista do argumento desenvolvido, pode assim ser colocada mais uma questão: por que a lei de Huygens de força centrífuga não foi encarada como equivalente à lei da gravitação universal, dado que formalmente apresenta-se uma dependência intrínseca entre as mesmas e, além, Huygens interpretara sua lei como determinante do valor da gravidade local (dentro dos referenciais do programa cartesiano)?

O avanço newtoniano se liga profundamente a busca de generalidade. Huygens aplica o raciocínio para as imediações da superfície terrestre sob a hipótese de um fluxo contínuo de matéria sutil para a Terra que constituiria o elemento mecânico causal da gravitação. O passo newtoniano implicou por um lado o abandono do pressuposto mecânico extrito (ontologicamente representado pelo choque entre partículas como mecanismo causal dos fenômenos, em particular gravitacional) na explicação da gravitação e por outro na suposição, inicialmente indireta (depois fortalecida via argumentação presente na seção III do livro I dos *Principia*) que a lei da força centrífuga era válida para todas as situações de movimento circular-orbital. Esse passo por sua vez parece implicar o que KOYRÉ denominou de “síntese newtoniana”.

⁷²“Quine (1969) e Putnam (1979) ambos argumentaram que devemos aceitar objetos matemáticos abstratos em nossa ontologia, porque a matemática é uma parte indispensável de nossas melhores teorias científicas. Este é o assim chamado argumento da indispensabilidade de Quine-Putnam, que tem sido encarado como um desafio formidável para aqueles que são céticos em relação a objetos abstratos e para aqueles que negariam a existência de objetos matemáticos em particular. Vineberg, Susan (1996): *Confirmation and the Indispensability of Mathematics to Science: Philosophy of Science*, Vol. 63, suplemento (pp. S256-S263).

Em certo sentido, a expressão de KOYRÉ de fato capta a sistematização resultante dos *Principia* e sua relação intrínseca com os trabalhos que o precederam mas, por outro, é essencial notar que os *Principia* avançam para muito além dos dados disponíveis para a sua construção e consolidação, a partir da previsão de diversos movimentos da Terra ('nutação', p.ex.), a explicação do fenômeno das marés e talvez o resultado mais importante: o definitivo estabelecimento das suposições básicas da teoria astronômica copernicana, deriváveis da 'lei da gravitação'.

Para além de uma síntese, pode-se asseverar também o caráter revolucionário do texto pois, a partir dele, descortinou-se uma nova maneira de encarar a realidade e as teorias científicas, na medida em que implicava-se com o tratado a recusa do sistema cartesiano de mundo, dominante na segunda metade do século XVII. Nesse sentido, a impressão de Huygens talvez seja significativa na ilustração do impacto da obra de Newton no ambiente científico do final do século XVII:

O famoso S. Newton tem colocado todas as dificuldades de lado [em relação às leis keplerianas] junto com os vórtices cartesianos; ele mostrou que os planetas permanecem em suas órbitas por sua gravitação em direção ao Sol. E que as excentricidades são necessariamente elípticas.

HUYGENS, *Oeuvres*, vol. 21, p. 143 (citado a partir de SNELDERS, H. A. M.: 1989, pág.209).

Por fim, é interessante notar o jogo de afastamento e aproximação das obras de Newton e Descartes a partir dos títulos das obras seminais dos dois autores. De um lado vê-se Descartes construir seu sistema de mundo a partir dos *Princípios da Filosofia*. O elemento importante nesta obra fundamental do século XVII era expor a filosofia e os princípios filosóficos subjacentes e estruturantes da filosofia natural (em especial a física) cartesianas. Por outro lado Newton apresenta os *Princípios Matemáticos da Filosofia Natural*. O próprio título da obra deixa entrever o diálogo cerrado com Descartes. Essencialmente a concordância de que a filosofia se organiza através de princípios; no entanto, a natureza destes é absolutamente distintas para cada um dos autores. Para Descartes, a raiz do conhecimento encontra-se na metafísica; já Newton se atém aos princípios matemáticos. Se de certo modo nos *Principia* há uma redução considerável às pretensões do conhecimento, que nesta obra se quer apenas do mundo natural, ao contrário da abordagem cartesiana, há também um comprometimento com concepções de faceta neo-platônica latentes em sua visão de mundo. Seguindo PATY:

Newton concebia seu trabalho científico como fazendo parte disto que ele chamava filosofia natural, que não é mais que uma simples retomada do tema

galileano do livro da natureza, e se insere na corrente neoplatônica de Cambridge. Se ele se inspira em Descartes, por certa concepção de razão e do papel das matemáticas, é assim para se demarcar em relação à Descartes, e os *Princípios matemáticos da filosofia natural* são em grande parte uma refutação dos *Princípios da Filosofia*.

Seu platonismo transparece em sua concepção das matemáticas como exprimindo a verdade e a realidade do mundo que transcende as aparências, tal como ele se exprime notadamente nas definições das grandezas “verdadeiras e matemáticas”, como o espaço e o tempo absolutos, que são a condição de sua matematização.

PATY: (1999), pág. 9 (tradução nossa).

Conceitualmente, a questão do espaço e do tempo constituem-se em um dos pontos de ruptura de Newton com o pensamento cartesiano (conf. anexo 1). A filosofia de Descartes pensava ter demonstrado que não há espaço distinto do corpo, que extensão, matéria e espaço são idênticos. Ele o fez, de uma parte mostrando que o corpo não difere em nada da extensão, isto é, que se nós abstrairmos do corpo todas as qualidades sensíveis e segundas, tais como cor, cheiro, calor, etc., uma só permanece : sua extensão em comprimento, largura e profundidade e, de outra parte, sublinhando que o espaço vazio não é nada e não pode logo ter nenhuma determinação porque todas, tais como distância, dimensão, etc. exigem um sujeito ou uma substância a qual aderir. Newton inverte tal perspectiva: o espaço vazio não é um nada pois podemos pensar suas propriedades. Tal interpretação, que distingue corpo e espaço e ainda introduz o vazio (veja-se a crítica mordaz à Descartes que Newton produziu em seu tratado ‘*Do peso e do equilíbrio dos fluidos*’) será o um elemento essencial no tratamento matemático do movimento tal como proposto pela dinâmica newtoniana. Segundo KOYRÉ:

A introdução do vazio – com seu correlato, a atração – na visão newtoniana de mundo, apesar das enormes dificuldades físicas e metafísicas implicadas nessa concepção (ação à distância, existência do nada) foi um golpe de gênio e um passo decisivo. Esse passo permitiu a Newton constatar e unir, ao mesmo tempo, e fazê-lo realmente, e não na aparência, como Descartes – a descontinuidade da matéria e a continuidade do espaço. A estrutura corpuscular da matéria, enfaticamente afirmada, constituiu uma base sólida para a aplicação da dinâmica matemática à natureza.

(KOYRÉ: *O Significado da Síntese newtoniana*; in Newton :1995[2002], ed.I.B. Cohen e R. Westfall; pág. 91)

Outro aspecto importante a ser percebido na análise da obra newtoniana e em particular nas diversas contendas em que se envolveu o professor lucasiano será a consolidação das comunidades científicas e a participação ativa de Newton nas mesmas. Ideologicamente estas

instituições teceram uma importante relação com os valores e objetivos difundidos da filosofia natural do século XVII. Comunidades científicas estáveis e expedientes de comunicação científica de ampla circulação surgiram na segunda metade do século XVII e a própria observação de que um grupo de pessoas estabelece uma sociedade formal, que se comunica através de correspondências e institui periódicos de divulgação das investigações correntes⁷³ deve implicar o compartilhamento de objetivos, métodos e valores em um nível mínimo que permita a comunicação (logo, recusa-se a tese de incomensurabilidade entre teorias, pelo menos de uma incomensurabilidade estrita⁷⁴, simbolizada pela não comunicabilidade entre membros de diferentes paradigmas).

Por sua vez, a aceitação de que valores, métodos e objetivos que são compartilhados implica na possibilidade de uma avaliação ‘internalista’⁷⁵ (obviamente recorrendo a aspectos externos à prática científica, quando forem pertinentes) do desenvolvimento científico. Esses aspectos são relevantes pois a própria carreira científica de Newton foi marcada pela participação em uma instituição científica transnacional (Newton foi membro e presidente da *Royal Society* e seus debates com Leibniz foram viabilizados através de correspondências que eram publicadas pela instituição – as *Philosophical Transactions*, além é claro da dependência estabelecida com o trabalho de outros cientistas, como os resultados astronômicos de Flamsteed, etc.).

Por fim, a estrutura do mundo na visão newtoniana pressupõe uma hierarquia de causas eficientes, das quais passa-se das menos gerais para as mais gerais. O exemplo marcante deste aspecto é a gravitação: ela seguramente é causa dos movimentos planetários (dado que estes são matematicamente explicados por ela⁷⁶), mas a causa da gravitação não é conhecida (o que não quer dizer que ela não possa vir a ser conhecida). Newton inclusive admite que a causa da gravidade deve receber uma explicação mecânica (tal como os cartesianos exigiam, como exposto nas cartas à Bentley); a questão é que o ‘estilo newtoniano’ de prática científica não o implicava em necessariamente produzir de imediato uma explicação completa dos fenômenos (ou melhor, um quadro pictórico que explique mecanicamente os fenômenos). O que lhe importava era prosseguir por passos seguros, ou seja, não introduzir ficções no corpo do conhecimento científico.

⁷³ Citemos alguns que surgiram especificamente no período em questão: *Philosophical Transactions*, da Royal Society de Londres; *Jornal des Sçavants e Acta Eruditorum*, de Leipzig (conf. Cohen: 1980[1993]; cap. 1)

⁷⁴ Cabe ressaltar que Kuhn também recusa esta tese, em especial em seu “Seconds Thoughts about Paradigms”, presente em “The Essential Tension”.

⁷⁵ Que aqui quer dizer essencialmente pautada no desenvolvimento conceitual.

⁷⁶ Conf. cap. 4 para a discussão do conceito epistemológico de explicação.

Anexo 3

Os vários resultados experimentais de Galileu sobre os movimentos dos corpos ajudaram Newton a compor a base de seu trabalho. Newton mostrou como obter modelos matemáticos para descrever processos físicos, que são, em essência, conseqüências de um conjunto de leis. Ele admitia não conhecer a natureza da gravidade, entretanto, foi capaz de deduzir a lei que rege o

comportamento dos corpos sob sua ação. E, com base nesta lei, explicou a órbita dos cometas, que podem ser elipses, parábolas ou hipérbolas (dependendo da velocidade do cometa), com o Sol em um dos focos da seção cônica.

A seguir pretende-se reconstruir a derivação da lei da gravitação universal através das leis de Kepler e das leis do movimento de Newton.

Supõe-se um sistema isolado com duas massas: m e M , viajando livremente pelo espaço, não afetadas por força alguma, exceto por sua mútua gravitação. A lei das órbitas de Kepler (primeira lei) diz que a órbita C (matematicamente o traço de uma função vetorial $r(t)$) será uma hipérbole, uma cônica contida num plano fixo II passando pela origem (foco da cônica). Logo, o produto vetorial $r(t) \times r'(t)$ é um vetor perpendicular a II e, sendo uma cônica uma curva "convexa", o ângulo β entre $r(t)$ e $r''(t)$ satisfaz:

$$0 \leq \beta < \frac{\pi}{2}. \quad (01)$$

Pela lei das áreas de Kepler (segunda lei), a variação da área varrida pelo vetor $\vec{r}(t)$, em função de t , $(\frac{dA}{dt})$ é constante. Assim, $r(t) \times r'(t)$ é um vetor constante $N_0 = r(t) \times r'(t)$.

Derivando ambos os membros dessa igualdade obtêm-se:

$$\begin{aligned} \frac{d(\vec{r}(t) \times \vec{r}'(t))}{dt} &= \vec{r}'(t) \times \vec{r}'(t) + \vec{r}(t) \times \vec{r}''(t) \\ &= \vec{r}(t) \times \vec{r}''(t) = 0. \end{aligned} \quad (02)$$

Do princípio da dinâmica do movimento de Newton (segunda lei) $\vec{r}''(t) = \frac{\vec{f}}{m}$ que junto com (02) resulta:

$$0 = \vec{r}(t) \times \vec{r}''(t) = \vec{r}(t) \times \frac{\vec{f}(t)}{m} \quad (03)$$

Ou seja, $\vec{r}(t)$ e $\vec{f}(t)$ são linearmente dependentes. Usando (01) pode-se afirmar que $\vec{f}(t)$ aponta na direção oposta da direção do vetor $\vec{r}(t)$ e, portanto, diretamente para a massa M . Logo obtêm-se :

$$\begin{aligned} \vec{f}(t) &= [r'' - r(\theta')^2] \frac{\vec{r}(t)}{\|\vec{r}(t)\|}, \\ f &= -m[r'' - r(\theta')^2], \end{aligned} \quad (04)$$

onde, $(')$ denota a derivada com relação ao tempo t . Além disso, a constante $\alpha = \|N_0\|$ satisfaz a igualdade):

$$\theta'(t) = \frac{\alpha}{r^2(t)}. \quad (05)$$

Agora, da lei das órbitas de Kepler (primeira lei) temos que as órbitas são cônicas de equação polar

$$r = r(t) = \frac{p}{1 - e \cos \theta(t)} \Leftrightarrow e \cos \theta = \frac{r - p}{r}, \quad (06)$$

para alguma constante $p = de$, onde a constante e é sua excentricidade. Derivando (06), usando a regra da cadeia e a equação (05) obtêm-se:

$$r' = \left(\frac{-ep \sin \theta}{(1 - e \cos \theta)^2} \right) \theta' = \frac{-r^2 e \sin \theta}{p} \frac{a}{r^2} = \frac{-ae}{p} \sin \theta.$$

Derivando novamente e usando (06) temos:

$$r'' = \frac{-ae}{p} \cos \theta \theta' = -\frac{a}{p} \frac{r - p}{r} \frac{a}{r^2} = -\frac{a^2}{r^3} \left[\frac{r}{p} - 1 \right].$$

Logo, de (05) pode-se escrever:

$$r'' - r[\theta']^2 = -\frac{a^2}{r^3} \left[\frac{r}{p} - 1 + 1 \right] = -\frac{a^2}{p} \left[\frac{1}{r^2} \right].$$

Dessa equação e das igualdades (03) e (04) conclui-se a efetiva correlação abdutiva da lei da gravitação universal de Newton e das leis de Kepler.

Fonte: <http://www.sato.prof.ufu.br/leisKepler/node7.html>. (acessado em 24/01/2008).