

**EDSON ADRIANO MOREIRA**

**O PROBLEMA DE NEWTON: A MATÉRIA  
ESSENCIALMENTE INERTE *VERSUS* A EVIDENTE  
ATIVIDADE NA NATUREZA**

Dissertação de Mestrado apresentada ao  
Departamento de Filosofia do Instituto de  
Filosofia e Ciências Humanas da Universidade  
Estadual de Campinas sob a orientação da Prof<sup>a</sup>.  
Dr<sup>a</sup>. Fátima Regina Rodrigues Évora.

**CAMPINAS**  
2009

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA  
BIBLIOTECA DO IFCH - UNICAMP

M813p **Moreira, Edson Adriano**  
**O problema de Newton: a matéria essencialmente inerte versus a evidente atividade na natureza / Edson Adriano Moreira.**  
- - Campinas, SP : [s. n.], 2009.

**Orientador: Fátima Regina Rodrigues Évora.**  
**Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Filosofia e Ciências Humanas.**

**1. Newton, Isaac, Sir, 1642-1727. 2. Epistemologia.**  
**3. Gravitação. 4. Matéria. I. Évora, Fátima Regina Rodrigues.**  
**II. Universidade Estadual de Campinas. Instituto de Filosofia e Ciências Humanas. III. Título.**

(msh\ifch)

**Título em inglês: Newton's problem: the essentially inert matter versus the evident activity in nature**

**Palavras-chave em inglês (keywords):** **Newton, Isaac, Sir, 1642-1727**  
**Epistemology**  
**Gravitation**  
**Matter**

**Área de Concentração: Filosofia**

**Titulação: Mestre em Filosofia**

**Banca examinadora: Fátima Regina Rodrigues Évora, Bento Prado de Almeida Ferraz Neto, Anastásia Guidi Itokazu.**

**Data da defesa: 27-02-2009**

**Programa de Pós-Graduação: Filosofia**

*Edson Adriano Moreira*

**O PROBLEMA DE NEWTON: A MATÉRIA ESSENCIALMENTE INERTE *VERSUS* A  
EVIDENTE ATIVIDADE NA NATUREZA**

Dissertação de Mestrado apresentada ao  
Departamento de Filosofia do Instituto de  
Filosofia e Ciências Humanas da Universidade  
Estadual de Campinas sob a orientação da Prof.  
Dr<sup>a</sup>. Fátima Regina Rodrigues Évora.

Este exemplar corresponde à redação  
final da Dissertação defendida e  
aprovada pela Comissão Julgadora em  
27 /02/ 2009.

**BANCA**

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Fátima Regina Rodrigues Évora (UNICAMP – Dept.º de Filosofia)

Prof. Dr. Bento Prado de Almeida Ferraz Neto (UFSCAR - Dept.º de Filosofia)

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Anastásia Guidi Itokazu (Pós-doutoranda, UNICAMP - Dept.º de  
Filosofia)

**Suplentes:**

Prof. Dr. Márcio Augusto Damin Custódio (UFBA - Dept.º de Filosofia)

Prof. Dr. Érico Andrade Marques de Oliveira (UFPE - Dept.º de Filosofia)

**Fevereiro/2009**

Aos meus pais e à Guaraciara, pelo amor e incentivo.

## AGRADECIMENTOS

Expresso aqui meus agradecimentos à **FAPESP**, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, cujo apoio financeiro foi fundamental para a realização deste trabalho.

Agradeço especialmente à Prof<sup>ª</sup>. Fátima Regina Rodrigues Évora, pela dedicação e rigor com que vem me orientando desde a graduação.

Agradeço também aos professores Márcio Augusto Damini Custódio e Bento Prado de Almeida Ferraz Neto, que formaram a banca do meu Exame de Qualificação. As valiosas críticas e sugestões feitas por ambos, naquela ocasião, foram muito importantes para confecção desta Dissertação.

Agradeço aos membros da Banca Examinadora pela disponibilidade e pela prontidão com que aceitaram o convite para dela fazer parte.

Agradeço, por fim, aos membros do grupo de pesquisa “Revolução Científica dos Séculos XVI e XVII: Origens Influências e Bases Científicas e Filosóficas”, pelo apoio e encorajamento, e aos colegas de curso Mateus Ricardo F. Ferreira e Hélio Ázara de Oliveira, pela paciência na leitura das versões prévias de partes deste texto, pelos seus valiosos comentários, e pela amizade que têm me dedicado desde que cheguei a Campinas.

## **RESUMO**

Essa dissertação analisa o chamado “problema de Newton”, isto é, o problema de conciliar conceitualmente a inatividade essencial da matéria com a evidente atividade na natureza representada pela força de gravitação universal. Num primeiro momento, temos por objetivo examinar a gênese desse problema e, num segundo momento, os argumentos que Newton desenvolve procurando rebatê-lo.

**Palavras-chave:** Newton, Epistemologia, Gravitação, Matéria.

## **ABSTRACT**

This thesis analyses the so-called “Newton’s problem”, that is, the problem of conceptually conciliating the essential inactivity of matter with the evident activity in nature represented by the universal gravitation force. In a first moment, we are intended to examine the origin of this problem and, in a second moment, the arguments Newton develop in order to solve it.

**Keywords:** Newton, Epistemology, Gravitation, Matter.

## SUMÁRIO

<b>Introdução</b>	<b>01</b>
<b>Capítulo I: A Passividade da Matéria</b>	
<b>1. A Matéria nos textos de Newton</b>	<b>11</b>
1.1. <i>O Contexto Dinâmico do Principia</i>	13
1.2. <i>O Conceito de Matéria</i>	19
1.3. <i>A Inércia da Matéria</i>	29
1.4. <i>Considerações Finais do Primeiro Capítulo</i>	40
<b>Capítulo II: O Argumento para a Gravitação Universal</b>	
<b>2. Como Analisar o Argumento</b>	<b>43</b>
2.1. <i>Prolegômenos ao Argumento: As Regras para Filosofar e os Fenômenos</i>	44
2.2. <i>Análise das Regras para Filosofar</i>	46
2.3. <i>Análise dos Fenômenos</i>	49
2.4. <i>O Argumento Propriamente Dito</i>	52
2.4.1. <i>Inferências dos Fenômenos</i>	52
2.4.2. <i>A Unificação das Forças</i>	58
2.4.3. <i>Generalização por Indução</i>	63
2.4.4. <i>Gravitação em Direção à Terra</i>	69
2.5. <i>Considerações Finais do Segundo Capítulo</i>	71
<b>Capítulo III: O Problema de Newton</b>	
<b>3. A Matéria Inerte versus a Atividade na Natureza</b>	<b>73</b>
3.1. <i>As Críticas dos Cartesianos à Teoria de Newton</i>	74
3.2. <i>O Problema de Newton como o Problema de se Explicar a Causa da Gravidade</i>	79
3.3. <i>O “Hypotheses Non Fingo” como resposta ao Problema da Causa da Gravidade</i>	83
3.4. <i>Buscando um Sentido para o “Hypotheses Non Fingo”</i>	89
3.5. <i>Considerações Finais do Terceiro Capítulo</i>	97
<b>Referências Bibliográficas</b>	<b>99</b>

## Introdução

Pode a matéria ser considerada ativa a partir da sua própria natureza? Poder-se-ia supor que o princípio de gravitação universal, a partir do qual obviamente decorre o sucesso do *Principia*, levaria Newton a dar uma sonora resposta afirmativa a essa questão ou, de outra maneira, que a crença na função inerentemente ativa da matéria havia-lhe favorecido na obtenção da noção de gravitação. Mas, de fato, o oposto parece ter sido o caso. [...] Ele parece dizer que, se alguma coisa possui dentro de si uma fonte de atividade, isso não pode ser *justamente* a matéria; deve haver um outro princípio, um “princípio ativo”, distinto (embora não necessariamente separado) da matéria envolvida. [...] Newton viu-se forçado a buscar fora da matéria a fonte do movimento, e isso talvez mais do que qualquer outro fator foi o que deu à sua ontologia uma tamanha complexidade. (McMullin, 1978, p. 29).

A publicação do *Philosophiae naturalis principia mathematica*<sup>1</sup> estabelece um importante marco na história do pensamento ocidental. A obra promoveu uma nova e surpreendente síntese das realizações científicas dos antecessores de Newton em torno de um único conceito. Assim, ele acreditava haver explicado todos os movimentos dos corpos celestes e dos mares terrestres por meio do princípio de gravitação universal.

Pela primeira vez havia uma teoria sobre um “princípio ativo” na natureza cujas confirmações experimentais eram quase inatacáveis e com um rigor inferencial tamanho que nada devia às mais sólidas demonstrações geométricas, de tal modo que indagar pela “realidade da gravidade” parecia, para muitos dos contemporâneos de Newton, quase uma pergunta sem sentido. Entretanto, a ausência de uma metafísica da natureza capaz de conferir inteligibilidade e sustentabilidade metodológica à “força da gravidade”– que parecia agir à distância e promover autênticas interações entre os corpos– ameaçava pôr abaixo a teoria de Newton. Some-se a isso que, no *Principia*,

---

<sup>1</sup> A partir daqui, por uma questão de praticidade, iremos nos referir a obra apenas como “*Principia*”. Todas as citações de trechos referentes a ela que aparecem nesta Dissertação apresentam, salvo indicação em contrário, a paginação do texto original em latim da 3ª edição (1726) contida nos dois volumes publicados pela Cambridge (1972), editados por Alexandre Koyré, I. Bernard Cohen & Anne Whitmann; edição utilizada por grande parte dos historiadores e intérpretes de Newton como obra de referência das passagens citadas na literatura especializada.

O *Principia* foi publicado em três edições: 1687, 1713 e 1726.

temos a matéria como sendo essencialmente inerte, o que fica explícito na Primeira Lei do Movimento (ou princípio da inércia). Surge, assim, o “problema de Newton”: como tornar compreensível a inatividade essencial da matéria diante da evidente atividade na natureza? Se, como parece ser o caso, existe de fato uma fonte de atividade na natureza, qual poderia ser o seu substrato real, uma vez que, em princípio, está eliminada a possibilidade de que ele seja a própria matéria inativa? As tentativas de responder a essas perguntas, sejam elas contra ou a favor da teoria de Newton, geraram um longo debate que se estende ao longo de todo o século seguinte e envolve figuras da magnitude de Leibniz, Huygens, Clarke, entre outros.

A teoria de Newton não nasceu num terreno vazio. Os esforços de Copérnico<sup>2</sup>, Tycho Brahe<sup>3</sup>, Galileu<sup>4</sup> e Kepler<sup>5</sup>, suas inúmeras e significativas revisões de maior ou menor alcance nas doutrinas tradicionais dos movimentos naturais, resultaram, por um lado, numa série de conquistas para a filosofia natural e, por outro, no abandono progressivo de quase todos os princípios da física aristotélica e escolástica; nasce, dessa forma, uma “nova” filosofia natural. Tais mudanças tiveram uma intensa repercussão nos círculos científicos e filosóficos da Europa, tanto assim que o conjunto delas é hoje designado como a “revolução científica” do século XVII. Não havia, no entanto, até o final da primeira metade daquele século, um sistema metafísico suficientemente forte capaz de fundamentar os pressupostos conceituais e metodológicos da “nova” filosofia. Essa lacuna só começou a ser preenchida em 1644, com a publicação do *Principia philosophiae* de Descartes, que passou, desde então, a influenciar toda uma geração de

---

<sup>2</sup> Vide *De Revolutionibus Orbium Coelestium* (1543).

<sup>3</sup> Vide *De mundi aetherei recentioribus phaenomenis* (1588).

<sup>4</sup> Vide *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo* (1632) e *Discorsi e Dimostrazioni Matematiche Intorno a Due Nuove Scienze* (1638).

<sup>5</sup> Vide *Astronomia nova* (1609), *Epitome Astronomiae Copernicanae* (1618-21) e *Harmonices Mundi* (1619).

jovens estudantes, entre os quais estava aquele que, certamente, foi um dos seus mais assíduos e perspicazes leitores britânicos: Isaac Newton.

A cada nova evidência de operações naturais que julgasse não passíveis de explicação por meio das qualidades manifestas da matéria, a tradição do aristotelismo escolástico recorria a uma série de “qualidades ocultas”, atribuindo forças aos corpos como se lhes fossem propriedades essenciais. Isso redundou num emprego explicativo abusivo de “princípios ativos” da natureza. Descartes, por sua vez, concebe a matéria como sendo essencialmente extensão e, por isso, também a entende como essencialmente inerte. Para o filósofo, toda e qualquer mudança nos estados da matéria extensa deve ser explicada exclusivamente mediante princípios implicados na sua natureza “matemática”. Ele considera essa redução de todos os efeitos naturais aos princípios “claros e distintos” da matéria e do movimento a principal ruptura “terapêutica” da sua metafísica com a “antiga” filosofia natural.<sup>6</sup>

Newton compartilhava inteiramente da crítica de Descartes às “qualidades ocultas” dos escolásticos<sup>7</sup>. Nesse sentido, ele foi bastante influenciado por Descartes. Newton não somente herdou o princípio metafísico da inatividade essencial da matéria da filosofia cartesiana— embora o justifique de uma maneira totalmente diferente— como deu a ele uma grande importância no seu sistema de mecânica racional; assim o seu princípio de inércia tornou-se a Primeira Lei do Movimento: “todo corpo permanece em seu estado de repouso ou de movimento retilíneo e uniforme em linha reta a menos que seja forçado a mudar esse estado por causa de forças impressas”. Entretanto, havia razões suficientemente fortes para que ele divergisse de uma série de outros princípios metafísicos cartesianos. Veremos que foi justamente essa atitude de Newton de, por um lado, aceitar a inatividade essencial da matéria e, por outro, rejeitar alguns outros

---

<sup>6</sup> Cf. *Principia philosophiae*, IV, p. 187.

<sup>7</sup> A este respeito Cf. NEWTON, 1972, p. 381, e 1979a, p. 55.

princípios cartesianos que suscitou para ele um enorme problema e deu à sua ontologia uma tamanha complexidade.

Na época em que Newton iniciou seus estudos filosóficos, difundia-se rapidamente a suspeita de que os princípios metafísicos da filosofia cartesiana engendrariam sérias implicações para os assuntos da religião. Para Descartes está vedada a possibilidade de ocorrerem interações reais entre substâncias materiais e imateriais. Em outras palavras, não pode haver interação real entre corpo e alma<sup>8</sup>. Assim, todas as mudanças e transformações no universo material dependeriam apenas remotamente da intervenção divina, visto ter sido apenas no momento da criação que, segundo Descartes, Deus agiu sobre esse universo, implantando nele os princípios mecânicos pelos quais seria agora inteiramente governado. Ora, isso atingia diretamente a crença na ação voluntária (e atual) de Deus sobre o universo material, o que transformou o cartesianismo, aos olhos de seus contemporâneos, num quase-sinônimo de ateísmo. Este foi um dos motivos que levou Newton a tecer suas primeiras críticas a Descartes, defendendo, contra este, a presença de “princípios ativos na natureza”<sup>9</sup>. Mas, após a publicação do seu *Philosophiae naturalis principia mathematica* (1687)<sup>10</sup>, Newton terá não apenas razões teológicas para discordar da filosofia cartesiana, mas acreditará ter ele próprio descoberto a necessidade de um “princípio ativo” na natureza. Esta nossa Dissertação tentará mostrar como e porque isso ocorre.

*Principia* é a obra que marca a conclusão do trabalho de Newton sobre o “sistema do mundo”, isto é, o sistema físico da terra, planetas, cometas, sol e estrelas fixas. Nela o autor procura explicar os movimentos destes corpos celestes e dos mares

---

<sup>8</sup> Embora esse seja um ponto bastante controverso entre os estudiosos de Descartes, não entraremos aqui nas discussões a ele referentes, pois isso fugiria ao escopo da nossa Dissertação.

<sup>9</sup> Tais críticas aparecem num manuscrito intitulado “*De Gravitatione et aequipondio fluidorum*” (Cf. Hall & Hall, 1962, pp. 89-156, e Newton, 1759a, pp. 59-90), composto por volta de 1670. Uma ótima análise desse manuscrito pode ser encontrada em Barra, 1994, pp. 35-54 e Barra, 1995.

<sup>10</sup> Cujo título, parece-nos, faz alusão direta à obra de Descartes.

terrestres por meio do princípio de gravitação universal, segundo o qual todos os planetas pesam (ou gravitam) uns sobre os outros. Pode-se descrever esse programa newtoniano de explicação causal do “sistema do mundo” como composto de duas fases distintas. A primeira seria a construção “matemática” de um sistema mecânico fundado nas definições e axiomas do movimento e em suas principais propriedades demonstradas para situações idealizadas (com massas pontuais, movimentos livres de atrito, choques elásticos, etc.). Nesta fase, pode-se atribuir aos corpos propriedades dinâmicas (como, por exemplo, força e atração), sem a necessidade de um comprometimento em afirmar que ditas propriedades deveriam ser tomadas como causas reais e verdadeiras dos movimentos que delas resultassem. Já na segunda fase, as coisas tornam-se bastante diferentes. Nela, passam a ser considerados corpos reais e atuais (planetas, satélites, cometas, estrelas, projéteis, marés, etc.); e o mesmo ocorre no que diz respeito aos movimentos (rotação, translação, queda livre, etc.) desses corpos. Assim, Newton julga estar trabalhando com autênticos “fenômenos”. As suas maiores dificuldades apareciam exatamente no momento em que ele tenta fazer a passagem daquelas condições dinâmicas “idealizadas” para outras que pudessem ser tidas como “reais”. Assim, o posicionamento do autor no que diz respeito à “realidade” dessa causa única por meio da qual ele pretende explicar todo o “sistema do mundo” é bastante direto e explícito: “a gravidade realmente existe”<sup>11</sup>. Com efeito, as evidências experimentais e o rigor inferencial da teoria newtoniana eram extremamente convincentes, parecendo não deixar dúvidas acerca da real existência dessa força. Além disso, todas as propriedades dessa força poderiam, em princípio, ser inteiramente derivadas das propriedades quantitativas da matéria— a gravidade é diretamente proporcional ao produto das massas e inversamente proporcional ao quadrado da

---

<sup>11</sup> *Principia*, 1972, p. 943.

distância entre os corpos que se atraem. E a teoria possuía um rigor inferencial comparável às demonstrações da geometria euclidiana. Havia, portanto, uma teoria sobre um “princípio ativo” na natureza cujas fontes de evidências, pela primeira vez na história, não poderiam ser deixadas de lado e cujo sucesso explanatório e preditivo foi tamanho que, após sua publicação em 1687, colocou em decadência o *Principia philosophiae* de Descartes, fazendo com que os vestígios do grande impacto que esta obra causara na física, durante as primeiras décadas de sua publicação, desaparecessem quase que por completo.

Por todos esses motivos era, para muitos dos contemporâneos de Newton, quase sem propósito exigir maiores evidências de que “a gravidade realmente existe”, isto é, parecia evidente que havia um “princípio ativo” na natureza. Mas, por outro lado, vimos que Newton considera a matéria como sendo essencialmente inerte, e, portanto, por mais que a gravidade possa estar associada às suas propriedades quantitativas (como dito há pouco), é impossível que ela lhe seja essencial ou se torne inteligível mediante apenas suas propriedades essenciais. É nesse ponto que surge um impasse, ao qual passaremos a chamar de “problema de Newton”. Em linhas gerais, ele pode ser resumido como o problema de conciliar conceitualmente a inatividade essencial da matéria com a evidente atividade na natureza<sup>12</sup>. Tal problema colocou Newton diante do seguinte dilema: “ou [Newton] bem recuava à posição de Descartes e admitia *ad hoc* a redutibilidade da gravidade às propriedades ‘geométricas’ da matéria, ou bem recuava ainda mais às ‘qualidades ocultas’ escolásticas e sucumbia ao apelo à proliferação de ‘princípios ativos’ na natureza”<sup>13</sup>.

---

<sup>12</sup> Como nos diz Barra, a origem desse problema é certamente muito anterior a Newton, mas é apenas após a teoria da gravitação universal que ele irrompe de forma mais dramática, exigindo um “instrumental analítico com os quais as filosofias aristotélica e cartesiana não estavam equipadas” (Barra, 2000, p. 26).

<sup>13</sup> Barra, 2000, p. 28.

Newton demonstra ter absoluta consciência do problema com o qual se confrontou e o descreve como sendo o problema de identificar a “causa” da gravidade. Pois, caso possuísse uma causa ainda mais remota, a gravidade não deveria ser considerada uma qualidade essencial dos corpos, mas seria ela própria um efeito de alguma outra qualidade mais elementar da matéria. No entanto, qual seria essa qualidade? Como ela produziria todas aquelas propriedades que Newton “descobriu” acerca da gravidade? Tais perguntas pareciam colocar em xeque não somente a credibilidade, mas também a própria sustentação da teoria de Newton. Consequentemente abriu-se uma via para inúmeras críticas contra essa teoria. Por um lado, a irreduzibilidade do conceito newtoniano de gravitação universal aos princípios da matéria e do movimento oriundos da física cartesiana permitiu aos adeptos dessa física enxergar nele um caráter arbitrário e/ou absurdo e, portanto, que deveria ser rejeitado nas explicações físicas. Por outro lado, o fato de a gravitação universal newtoniana não se explicar por nenhum mecanismo natural e, por conseguinte, pela própria natureza das coisas, permitiu a Leibniz formular sérias críticas metafísicas à teoria da gravitação, dizendo que a força da gravidade explicar-se-ia ou como um milagre ou por meio das qualidades ocultas dos escolásticos e que, por isso, não passaria de uma mera reminiscência dos preconceitos escolásticos.

Todas essas críticas provocaram, então, um debate que se estendeu ao longo de todo o século XVIII; a discussão era, desde o início, acerca de princípios metafísicos alternativos que fossem capazes de fundamentar os pressupostos conceituais e metodológicos da ciência newtoniana e que, assim, sustentassem uma visão de mundo não-aristotélica e, a partir daquele momento, também não-cartesiana, visto que o grande sucesso explicativo e preditivo da teoria de Newton mostrava que ela merecia consideração.

A nossa intenção nesta Dissertação é: dado o “problema de Newton”, investigar a sua gênese e analisar os argumentos que Newton apresenta procurando rebatê-lo. Para tanto, analisaremos, num primeiro momento, os princípios newtonianos da “mecânica racional”, presentes no Livro I do *Principia*. Esta é uma análise indispensável, pois esses princípios incluem alguns conceitos de fundamental importância para se compreender as discussões que se seguiram em torno do “problema de Newton” e estão intimamente relacionados com as primeiras idéias de Newton sobre a dinâmica dos movimentos circulares e com as exigências impostas pelo seu sistema de “mecânica racional”. Num segundo momento, analisaremos o famoso argumento de Newton para a dita lei da gravitação universal, presente no início do Livro III do *Principia*. Uma vez cientes dos expedientes utilizados por ele para chegar à força de gravitação universal, poderemos, finalmente, entender como a postulação da atração gravitacional entre os corpos faz com que o “Problema de Newton” irrompa com tamanha força.

Por fim, analisaremos as sucessivas tentativas do autor de esclarecer suas convicções sobre a natureza dessa força. Assim, entenderemos melhor o modo como Newton lida com o problema de conciliar conceitualmente a inatividade essencial da matéria com a evidente atividade na natureza. Como veremos, o autor tomará a seguinte posição diante dos críticos de seu tempo: ele procura reforçar os vínculos das suas conclusões com os princípios metodológicos da “filosofia experimental” a fim de tentar justificar a sua incapacidade “momentânea” de conferir maior inteligibilidade aos pressupostos metafísicos de sua teoria.<sup>14</sup>

---

<sup>14</sup> Isto já foi abordado de forma preliminar durante a nossa Iniciação Científica, quando analisávamos a resposta que Newton apresenta (no Escólio Geral do Livro III do *Principia*) a uma crítica recorrente dos cartesianos, segundo a qual o princípio de gravitação universal seria uma hipótese absurda e/ou arbitrária. Nesta Dissertação, realizaremos uma análise mais ampla deste ponto, analisando não somente as convicções de Newton sobre a natureza da gravitação universal, mas buscando ressaltar os vínculos intrínsecos dessa questão com o “problema de Newton”. Além disso, não ficaremos restritos apenas ao

Esta Dissertação está dividida em três capítulos:

No Capítulo I, tentaremos explicitar em que sentido a matéria é dita um *princípio passivo* (isto é, essencialmente inerte) dentro da dinâmica do *Principia*.

No Capítulo II, analisaremos o argumento de Newton para a gravitação universal, a fim de explicitar os procedimentos empregados pelo qual o autor para postular uma força de atração universal entre os corpos.

Por fim, no Capítulo III, buscaremos esclarecer como o “Problema de Newton” pode, em última instância, ser identificado com o *problema de encontrar uma causa para a gravidade*, o qual, como nós veremos, Newton reconhece como legítimo, mas, ao mesmo tempo, diz-se incapaz de resolver. Nesse contexto analisaremos como o “problema da causa da gravidade” gera uma série de críticas dos cartesianos ao princípio de gravitação universal, as quais apontam para a ausência de uma metafísica da natureza capaz de conferir inteligibilidade e sustentabilidade à força da gravidade. Feito isso, pretendemos mostrar que Newton emprega um expediente “*metodológico*” a fim de afastar essas críticas e, assim, promover a aceitabilidade de sua teoria.

---

*Principia*, mas também levaremos em consideração importantes passagens do *Opticks*, de algumas outras obras de Newton anteriores ao *Principia* e trechos de sua correspondência pessoal.

## Capítulo I: A Passividade da Matéria

### 1. A Matéria nos textos de Newton

Desde os seus escritos de juventude, Isaac Newton (1643-1727) concebe a matéria como incapaz de mover-se por si mesma. Assim, a partir de uma leitura dos textos do autor, vemos que neles a “matéria” é frequentemente tomada, quase que por definição, como “aquilo que é movido”, o princípio passivo dos sistemas mecânicos. Além disso, Newton parece assumir uma dicotomia entre matéria e espírito que acabará por engendrar sérias dificuldades para o seu projeto de “filosofia natural”, sobretudo, na sua versão mais acabada, qual seja: aquela que está presente no *Principia*.

A concepção newtoniana da matéria como um princípio passivo do movimento não pode ser totalmente desligada daquela tradição, originada em Aristóteles, segundo a qual todo movimento requer um motor ou uma força motriz. Torna-se evidente nos rascunhos para a *Questão 31(23)* do *Opticks*<sup>15</sup>, a adesão de Newton à tese central da mecânica aristotélica: “tudo o que está em movimento, é movido por algo diferente de si mesmo”<sup>16</sup>, que implica na incapacidade dos corpos para, por si mesmos, iniciar e/ou manter o movimento<sup>17</sup>. Frente a essa *passividade* da “matéria”, teríamos, por outro lado, a atividade do “espírito”, incluindo não somente Deus, mas também todas as atividades naturais responsáveis pelos vários tipos de movimento na natureza. Ademais, um segundo motivo a ser considerado no posicionamento de Newton de tomar a matéria como um princípio inerte tem um fundo de inspiração teológica: a sua crença na doutrina cristã da criação do mundo por Deus. Newton considerava tal doutrina como implicando na total dependência do mundo da atividade do Criador. Isto, por sua vez, ele freqüentemente interpreta como significando que toda a atividade no mundo provém necessariamente da ação direta de Deus. De forma que, para Newton, atribuir à matéria

---

<sup>15</sup> Cujas primeira edição, em latim, data de 1706.

<sup>16</sup> Cf. NEWTON, 1974, Add. 3970, f.619r.

princípios ativos responsáveis pelo movimento seria um sinônimo de ateísmo. Ele não tinha, portanto, qualquer alternativa que não fosse fazer da matéria um princípio passivo por natureza. Essas concepções adotadas por Newton explicam inclusive alguns pontos do conflito existente entre o seu pensamento e o de Descartes. Vejamos isso com detalhes.

Por um lado, Newton foi bastante influenciado por Descartes: nesse sentido, podemos citar inclusive a concepção acerca da inatividade essencial da matéria que “foi um dos princípios que menos se modificou – embora sua justificação seja inteiramente outra – na transição da filosofia natural cartesiana para a newtoniana”<sup>18</sup>. Mas, por outro lado (e este é o ponto que nos interessa aqui), Newton divergia de uma série de pressupostos metafísicos cartesianos. Quando Newton iniciou seus estudos filosóficos, pairava na atmosfera da época uma forte suspeita de que alguns dos princípios metafísicos cartesianos seriam contrários a certos dogmas religiosos. Por exemplo, em Descartes não se concebe a possibilidade e ocorrerem efetivamente interações reais entre corpo e alma. Desta forma, toda e qualquer mudança no domínio do material tem apenas uma dependência remota da intervenção de Deus, pois, segundo Descartes, Ele agiu sobre o universo material apenas no momento da criação, colocando nele os princípios mecânicos pelos quais, desde então, ele seria completamente dirigido; este é um dos elementos centrais do “mecanicismo” cartesiano. Isso, por sua vez, atingiria diretamente a diretamente a crença na ação voluntária (e atual) de Deus sobre o universo material, fazendo com que o cartesianismo, para alguns dos contemporâneos de Newton, passe a ser tomado como implicando uma posição de ateísmo. É neste mesmo sentido que Newton irá formular as suas críticas iniciais contra Descartes, defendendo que há de faro “princípios ativos” na natureza. Assim, após publicar o *Principia*, além

---

<sup>17</sup> Para uma discussão detalhada da teoria aristotélica do movimento, Cf. ÉVORA, 2002 e 2005.

dessas razões teológicas, Newton terá ainda um outro motivo para discordar da filosofia cartesiana, acreditando ter ele próprio descoberto a necessidade de um “princípio ativo” na natureza, um princípio de atração mútua entre a matéria. Mas, apesar da atração ser uma qualidade universal da matéria, o autor insiste: ela não pode lhe ser uma qualidade essencial/inata<sup>19</sup>. Assim, ele procura manter a matéria como um “princípio passivo” dentro da mecânica do *Principia*, o que, como veremos, é uma tarefa bastante complicada.

### **1.1. O Contexto Dinâmico do Principia**

Pelo principal resultado científico alcançado no *Principia*: o princípio de gravitação universal— segundo o qual todos os planetas pesam (ou gravitam) uns sobre os outros—, Newton acreditava haver explicado todos os movimentos dos corpos celestes e dos mares terrestres. Nesse sentido, a obra marca a conclusão do trabalho de Newton sobre o “sistema do mundo”, isto é, o sistema físico da terra, planetas, cometas, sol e estrelas fixas. Surgia, assim, uma teoria que gozava de confirmações experimentais extremamente convincentes e que possuía um rigor inferencial comparável ao das sólidas demonstrações da geometria euclidiana, de forma que colocar em dúvida a “realidade da gravidade” parecia, para muitos dos contemporâneos de Newton, estar totalmente fora de cogitação. Entretanto, não havia ainda uma metafísica da natureza que pudesse conferir inteligibilidade e sustentação metodológica à “força da gravidade”— a qual, sabemos, parecia agir à distância, de forma a promover autênticas

---

<sup>18</sup> BARRA, 2000, p. 26. Para um cotejo detalhado entre a física newtoniana e a cartesiana, Cf. BARRA, 1994.

<sup>19</sup> Este é justamente um dos pontos que discutiremos adiante nessa nossa Dissertação de Mestrado, dado a sua fundamental importância para a compreensão do “problema de Newton” (como esperamos ter deixado claro na Introdução da Dissertação).

interações entre os corpos<sup>20</sup>. Isso, por sua vez, apresentava-se como uma séria ameaça à teoria de Newton.

Por esse motivo, embora ele tenha afirmado no *Principia* que pretendia apenas oferecer uma “noção matemática” das forças discutidas, “sem considerar as suas causas e bases físicas”<sup>21</sup>, nunca abandonou por completo a convicção de que elas ainda poderiam ser alcançadas; notavelmente, Newton empregou grande parte de seus esforços nos anos subsequentes à publicação da obra procurando identificá-las<sup>22</sup>. Ora, todo esse itinerário parece já pré-estabelecido no próprio projeto do *Principia*:

Em Matemática, devemos investigar as quantidades de forças com suas proporções conseqüentes sob quaisquer condições supostas; então, quando consideramos a Física, comparamos essas proporções com os fenômenos da Natureza, a fim de saber que condições dessas forças correspondem aos vários tipos de corpos atrativos. Tendo em vista essas considerações, argumentamos com maior segurança no que se refere às naturezas físicas, causas e proporções das forças. (*Principia*, Livro I, Prop. 69, Escólio)

Teríamos, portanto, três níveis ou estágios de investigação acerca das forças da natureza: (i) o *matemático*, no qual é feita uma análise matemática das conseqüências de

---

<sup>20</sup> Todas as propriedades dessa força poderiam, em princípio, ser inteiramente derivadas das propriedades quantitativas da matéria— a gravidade é diretamente proporcional ao produto das massas e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre os corpos que se atraem— e, além disso, as confirmações experimentais da sua real existência eram extremamente convincentes. Entretanto, foi justamente a forma como Newton estabeleceu a sua teoria, isto é, sem precisar lidar com nenhum tipo de corpúsculo invisível para explicar o modo como opera a gravidade— ao contrário de Descartes que, postula a hipótese da “matéria inicial” para que a gravidade que atua nos corpos pesados (sejam eles planetas ou objetos terrestres) se deva a *colisão* ou, se preferirmos, a *choques mecânicos* entre as partículas destes corpos e os corpúsculos invisíveis (as partículas da “matéria inicial”)—, o que influenciou alguns de seus contemporâneos, sobretudo os cartesianos, a supor que a gravitação universal newtoniana implicava a ação à distância entre os planetas, isto é, em que a ação entre os planetas poderia se dar através de um meio desprovido de qualquer matéria, um meio vazio. Isso levou os cartesianos a tecerem sérias críticas à teoria newtoniana, acusando-a de possuir um caráter “arbitrário e absurdo”, denuncia esta que o próprio Newton procurou insistentemente afastar. Por motivos semelhantes, Leibniz também irá criticar a teoria de Newton, afirmando que a gravitação universal newtoniana deveria se explicar ou como um milagre ou por meio de uma qualidade oculta. Trataremos de toda essa ampla problemática mais adiante.

<sup>21</sup> *Principia*, Livro I, Def. VIII.

<sup>22</sup> Ao menos por enquanto, não entraremos na questão de se Newton obteve ou não sucesso nessa busca. Entretanto, cabe salientar que essa era uma questão de fundamental importância para ele, pois as críticas mais incisivas dirigidas contra a aceitabilidade e a sustentabilidade da sua teoria enquanto uma legítima “filosofia natural” decorrem justamente do problema de se explicar a causa última da gravidade. Isso também será analisado adiante.

diferentes condições de “força”; (ii) o *físico*, estabelecendo quais leis<sup>23</sup> de força ocorrem atualmente na Natureza; e, finalmente, (iii) um estágio mais *filosófico*, onde seriam discutidas as *causas últimas* das várias forças.<sup>24</sup> Assim, podemos descrever o programa newtoniano de explicação causal do “sistema do mundo” como composto de duas fases distintas. A primeira (estágio matemático) consiste na construção “matemática” de um sistema de mecânica racional baseado nas definições e axiomas do movimento e em suas principais propriedades demonstradas para situações idealizadas (massas pontuais, movimentos livres de atrito, choques elásticos, etc.). Nesta fase, é possível que se atribua propriedades dinâmicas aos corpos (como, por exemplo, força e atração) sem comprometer-se com a suposição de que tais propriedades seriam as causas reais e verdadeiras dos movimentos que delas resultassem. Na segunda fase (nível físico), porém, as coisas ocorrem de modo bastante diverso. Os corpos a serem considerados tornam-se reais e atuais (planetas, satélites, cometas, estrelas, projéteis, marés, etc.) e o mesmo ocorre no tocante aos seus movimentos (rotação, translação, queda livre, etc.), que passam a ser tidos como autênticos “fenômenos”. As maiores dificuldades enfrentadas por Newton estavam justamente na realização dessa transição das condições dinâmicas “idealizadas” para aquelas que pudessem ser consideradas “reais”. Quando então indagado a respeito da realidade dessa causa única— a gravidade— mediante a qual se explica todo o “sistema do mundo”, o autor posiciona-se da forma mais direta e explícita possível: “a gravidade realmente existe”, argumentando, inclusive, que ela “origina-se de alguma causa”. Porém, ele se diz incapaz de identificar positivamente essa causa: “ainda não pude deduzir a razão dessas propriedades da gravidade a partir

---

<sup>23</sup> “Lei” no sentido de uma relação necessária e quantificável entre causa/efeito. Devemos notar que: “causa” aqui deve ser entendida não no sentido de uma explicação última, mas sim como a “causa das forças naturais que atuam entre/nos os corpos”, qual seja, a gravidade; desta causa decorrem, como “efeitos”, os movimentos dos corpos celestes e dos mares.

<sup>24</sup> Para uma discussão detalhada da metodologia empregada por Newton no *Principia*, Cf. COHEN, 1967, 1980 e 1985; KOYRÉ, 1968; WESTFALL, 1977; e BARRA, 1994 e 2000.

dos fenômenos”<sup>25</sup>. Resumindo, Newton procurou restringir o *Principia* aos dois primeiros estágios, os quais ele acreditava ter realizado com sucesso, deixando, então, as considerações mais “filosóficas” sobre a sua teoria para serem trabalhadas posteriormente.

Além dessa intrincada questão (a) referente à natureza da força, isto é, a pergunta pela causa da gravidade, havia, ainda, a discussão (b) referente à realidade do vazio (consequência da ação à distância), que a mecânica do *Principia* parecia postular<sup>26</sup>. Isto engendrou o problema da distinção entre corpo e vazio, em consequência do qual Newton desenvolveu grande parte da discussão formal do movimento no *Principia*. Todos esses problemas possuem uma estreita ligação com a maneira pela qual será entendido o conceito de matéria. De fato, (a) qual seria a fonte da atividade na natureza (representada pela força de gravitação universal) dado que, em princípio, está vedada a possibilidade de que ela possa ser a matéria identificada como um princípio passivo do movimento? Ademais, (b) não há como nos decidirmos se existe realmente um vazio e, por conseguinte, se a força da gravidade atua ou não à distância (isto é: sem ser transmitida através de um meio “material”), a não ser que possamos identificar as propriedades da matéria, propriedades pelas quais poderíamos “separar” as entidades “corpóreas” das “incorpóreas” e, conseqüentemente, distinguir, de um lado, um meio material e, de outro, o vazio.

Não é por acaso que justamente em meio às discussões referentes ao conceito newtoniano de matéria surge a maior das dificuldades até então apresentadas à teoria da gravitação universal: o chamado “problema de Newton”, o qual, como vimos, se constitui no impasse de conciliar conceitualmente a inatividade essencial da matéria

---

<sup>25</sup> A esse respeito, Cf. o famoso “Escólio Geral”: texto inserido ao final do Livro III do *Principia*, a partir da segunda edição da obra (1713), e sabidamente endereçado aos críticos (principalmente os cartesianos) da teoria da gravitação universal.

<sup>26</sup> Cf. Nota 20 acima.

com a evidente atividade na natureza representada pela força de gravitação universal. A questão que se coloca para a teoria newtoniana é a seguinte: se, conforme parece ser o caso, há realmente uma fonte de atividade na natureza, qual seria, então, o seu substrato último, dado que, em princípio, este não ser a própria matéria, que é inativa?<sup>27</sup> Os esforços visando responder a essa pergunta, sejam eles contra ou contra ou a favor da teoria de Newton, deram origem a uma longa e importante discussão filosófica que atravessa todo o século posterior à publicação do *Principia*, chegando até mesmo aos dias atuais. De fato, ainda hoje os historiadores da ciência estão divididos quanto a como devemos entender os papéis atribuídos ao conceito de matéria no *Principia* e, em particular, se eles podem de fato ser reunidos em um único sistema consistente de mecânica<sup>28</sup>. De nossa parte, procuraremos tratar o problema decompondo-o em seus elementos fundamentais, verificando de que modo eles estão inter-relacionados e quais as conseqüências disto para o empreendimento que Newton se propõe a realizar na referida obra. Torna-se evidente, então, a necessidade de se analisar pormenorizadamente o conceito newtoniano de matéria. Isso será feito principalmente mediante um estudo (a) dos princípios newtonianos da “mecânica racional” e (b) das Regras para Filosofar, contidos, respectivamente, nos Livros I e III do *Principia*.

Antes, porém, de investigar essas proposições dos Livros I e III, cumpre-nos apresentar o que Newton considera como sendo a única fonte de evidência para tais princípios e que, por conseguinte, permite-nos chegar ao conhecimento daquilo que

---

<sup>27</sup> Essa nossa formulação do problema está baseada naquela proposta por Eduardo Barra, de quem tomamos emprestada a própria expressão “problema de Newton” (Cf. Barra, 2000, pp. 25-9). Barra, por sua vez, como ele próprio afirma, está se apoiando nas análises de McMullin. Cabe aqui, antes de darmos seqüência a nossa análise, fazermos uma pequena pausa a fim de que possamos tornar claras algumas questões a respeito do referencial teórico que empregamos na confecção deste primeiro capítulo da nossa Dissertação. Embora tenhamos consultado uma ampla bibliografia secundária e, ainda, alguns comentários presentes nas traduções do *Principia* utilizadas, a principal referência para o nosso trabalho de análise teórica foi o livro *Newton on Matter and Activity* (não por acaso, o mesmo citado pelo professor Barra), de Ernan McMullin. Por conseguinte, a nossa leitura das partes selecionadas do *Principia* relevantes para esta pesquisa está, em grande medida, ancorada naquela do professor McMullin.

chamamos de “matéria” ou “corpo” (termos usualmente tomados por Newton como sendo sinônimos). Para tanto, nos será de grande utilidade a seguinte passagem retirada de um rascunho do Escólio Geral:

A partir dos fenômenos, conhecemos as propriedades das coisas e, a partir das propriedades, concluímos que as coisas existem e as chamamos de substâncias; mas não temos quaisquer idéias das substâncias. Vemos apenas as figuras e cores dos corpos, ouvimos apenas os sons, tocamos apenas as superfícies externas, cheiramos os odores e degustamos os sabores: as substâncias ou essências mesmas nós não conhecemos por meio de nenhum sentido nem de nenhuma ação reflexiva e, por isso, não temos mais idéia delas do que um cego tem das cores. E, quando se diz que temos uma idéia de Deus ou uma idéia de corpo, nada deve ser entendido exceto que temos uma idéia das propriedades ou atributos de Deus ou uma idéia das propriedades pelas quais os corpos se distinguem de Deus ou uns dos outros. Por isso que em nenhum lugar discutimos sobre as idéias das substâncias abstraídas das propriedades, nem deduzimos nenhuma conclusão a partir delas. (NEWTON, 1962, p. 354)<sup>29</sup>

Ao analisar esse trecho, notamos a presença de certo tipo de “epistemologia fenomenalista” – a qual fundamenta não apenas a aceitação e a rejeição das entidades que admitimos existir na natureza como, também, o próprio conhecimento que podemos ter de tais entidades<sup>30</sup> – aliada a uma espécie de “ceticismo geral” no que diz respeito a nossa capacidade de conhecer as substâncias ou essências mesmas das coisas<sup>31</sup>. Essa mesma postura faz-se também presente num trecho posterior do mesmo rascunho supracitado do Escólio Geral, de forma ainda mais enfática. Desta vez, Newton inclusive a exemplifica ao discorrer sobre a impenetrabilidade. Cito:

Nós não conhecemos as substâncias das coisas. Nós não temos nenhuma idéia delas. Nós apenas deduzimos suas propriedades dos fenômenos, e das propriedades o que as substâncias podem ser. Que os corpos não penetram uns aos outros nós deduzimos dos fenômenos exclusivamente; que as substâncias de diferentes tipos não penetram umas as outras de modo algum se mostra dos fenômenos. [...] [Entretanto,] nós não devemos afirmar precipitadamente que isto [a impenetrabilidade das substâncias] não pode ser inferido dos fenômenos. (1962, p. 360-61)

---

<sup>28</sup> A este respeito, Cf. WESTFALL, 1971 e MCMULLIN, 1978, sobretudo o quinto capítulo desta última intitulado “*Epilogue: Matter and Activity in Later Natural Philosophy*”, pp. 111-27.

<sup>29</sup> Sobre a validade do uso de passagens contidas em textos que Newton não publicou, empregadas como recursos auxiliares na interpretação daqueles publicados, Cf. MCMULLIN, 1978, pp. 4 e 8.

<sup>30</sup> Cf. BARRA, 1995, pp. 231-33.

<sup>31</sup> Cf. MCMULLIN, 1978, p. 8.

Assim, parece não restar dúvidas de que Newton procurará definir o que seja a substância material a partir das suas propriedades, as quais, por sua vez, ele afirma nos serem acessíveis somente por meio dos fenômenos. Feitas essas considerações, esperamos ter tornado mais claros alguns dos pressupostos epistemológicos que serão empregados ao longo da nossa análise do conceito de matéria presente no *Principia*.

## 1.2. O Conceito de Matéria

Poderíamos, num primeiro momento, ser tentados a supor “matéria” e “quantidade de matéria”<sup>32</sup> como termos intercambiáveis e, conseqüentemente, aceitar que o conceito de matéria (ou corpo) no *Principia* é aquilo que Newton define como “massa”, ou seja, o produto da densidade pelo volume<sup>33</sup>. Isso em certa medida, poderia parecer algo plausível, devido ao que o próprio Newton diz, no pequeno comentário que se segue à Definição I: “É essa mesma quantidade que doravante denominarei pelo nome de *corpo* ou *massa*. E a mesma é conhecida através do peso de cada corpo, como descobri em experimentos com pêndulos [...]” (grifos nossos). Tal leitura seria conveniente caso o *Principia* fosse apenas um tratado de *mecânica*. Entretanto, este certamente não é o caso: Newton estava empenhado em construir uma verdadeira “filosofia natural” em torno e além do *Principia* (uma tarefa que ocupou grande parte da sua vida antes e após a publicação do livro e na qual o conceito de matéria desempenha um papel crucial). Nesse sentido, o próprio peso dos corpos é visto como uma conseqüência da atração entre eles, mas essa (como veremos) é apenas uma das várias propriedades “universais” da matéria. Portanto, entender “matéria” como “massa”

---

<sup>32</sup> Definição I: A quantidade de matéria é a medida da mesma, obtida conjuntamente a partir de sua densidade e volume.

<sup>33</sup> Para algumas considerações sobre essa definição de massa como o produto da densidade e do volume Cf. MACH, *Die Mechanik in ihrer Entwicklung*, Leipzig, 1921, p. 188; CREW, *The Rise of Modern Physics*, Baltimore, 1928, p. 124; HOPPE, *Archiv für Geschichte der Mathematik, der Naturwissenschaften und der Technik*, n. s., vol. II, 1929, pp. 354-361; Apud NEWTON, 2002 [1687],

implicaria uma definição incompleta da primeira, e, além disso, em deixar de lado uma série de outras qualidades físicas dos corpos na natureza. Analisemos, então, o modo como Newton procurará estabelecer uma definição (completa) de matéria no *Principia*.

Como apontado anteriormente, devemos estar atentos ao fato de que Newton buscará definir a matéria a partir das suas propriedades. Sendo assim, podemos entender a terceira das “Regras para Filosofar” – pela qual o autor pretende determinar quais são as qualidades ou propriedades universais do corpo ou matéria conhecidas através dos experimentos – como sendo a sua principal tentativa de definir materialidade no *Principia*. Segundo essa Regra:

As qualidades dos corpos que não admitem intensificação nem redução, e que resultam pertencer a todos os corpos dentro do campo de nossos experimentos, devem considerar-se qualidades universais de quaisquer tipos de corpos. (*Principia*, Livro III, Regra III)

No comentário a tal regra, Newton lista quais seriam essas qualidades *universais* da matéria: “extensão, dureza, impenetrabilidade, mobilidade e inércia” e, por fim, “um princípio de gravitação mútua”; “universais”, no sentido de que são necessariamente predicados/atributos de todos os corpos, por contraste às qualidades como: calor, umidade, luminosidade, cor, transparência e acidez<sup>34</sup>, as quais nem todos os corpos possuem e que, portanto, são desprovidas do *status* “universal”.

Cabe aqui, uma observação importante: embora alguns comentadores assumam que tais qualidades, ditas “universais”, podem ser também consideradas como “essenciais”<sup>35</sup>, devemos levar em conta a existência de duas fortes objeções a essa interpretação. A primeira delas derivada daquele posicionamento epistemológico de

---

Apêndice, Nota 11, pp. 311-12. Sendo que nesta última obra há um cotejo entre as interpretações presentes nas outras três e, ainda, considerações adicionais.

<sup>34</sup> Essas propriedades são listadas por Newton apenas em um rascunho anterior do comentário a Regra III (Cf. NEWTON, 1974, 4005, f.81r.), mas, embora tenham sido cortadas da versão publicada do texto, nos são aqui de grande ajuda para um melhor entendimento do termo “universal”.

<sup>35</sup> Cf., por exemplo, MCGUIRE, 1968.

Newton (aquilo que acima chamamos pelo nome de “ceticismo geral”) segundo o qual somos incapazes de conhecer as “substâncias ou essências” mesmas das coisas. Além disso, devido à concepção dualista da época, se as qualidades “universais” fossem “essenciais”, isso implicaria no *ocultamento* dessas mesmas qualidades<sup>36</sup>. Ora, a postura epistemológica que Newton assume em relação ao conhecimento que podemos ter das entidades que admitimos existir na natureza (postura à qual nos referimos acima como sendo um tipo de “epistemologia fenomenalista”) enfatiza justamente o contrário: as qualidades “universais” são completamente *acessíveis aos sentidos*.

A segunda objeção diz respeito à discussão em torno do *status* a ser conferido à gravidade. Se qualidades como a impenetrabilidade, por exemplo, pudessem ser chamadas de “essenciais”, seria difícil negar este título também à gravidade, dado que não parece haver uma diferença significativa entre o modo como esta e aquelas foram estabelecidas enquanto “universais”<sup>37</sup>. Entretanto, é sabido que Newton irá negar categoricamente que a gravidade possa ser “essencial” (ou, pelos mesmo motivos, “inata”) à matéria<sup>38</sup>.

Assim, algo é dito “material” na medida em que apresenta todas aquelas qualidades consideradas “universais” (mas não “essenciais”) da matéria. A Regra III nos oferece, então, como afirma McMullin, uma “definição acessível de matéria em termos das qualidades primárias familiares ao pensamento do início do século dezessete” e, por sua vez, contrária ao “co-princípio indeterminado da substância que ela [a matéria] tinha sido na filosofia grega e medieval”; nesse sentido, podemos dizer que Newton procura estabelecer o domínio de aplicabilidade dos conceitos e métodos da nova “filosofia

---

<sup>36</sup> É nesse sentido que Leibniz, em sua correspondência com Clarke, critica a gravitação universal como sendo uma qualidade oculta da matéria. Cf. LEIBNIZ, 1956. Para uma análise detalhada dessa crítica de Leibniz à teoria newtoniana, Cf. BARRA, 2002.

<sup>37</sup> Tanto Newton quanto Cotes estavam cientes dessa dificuldade. Cf. Regra III, p. 400 e Introduction to *Principia*, p. xxvi.

<sup>38</sup> Analisaremos pormenorizadamente este ponto adiante.

experimental” de um modo “totalmente concreto”<sup>39</sup>. Ser material é, portanto, ser extenso, sólido, móvel, possuir inércia, atrair todos os outros corpos e ser igualmente atraído por eles, e, por conseguinte, estar sujeito às leis da mecânica.

Ao que nos parece, o próprio Newton, no comentário introdutório ao Livro III, faz questão de deixar claras as suas pretensões a esse respeito:

Nos Livros precedentes eu expus os princípios da filosofia [leia-se “filosofia natural”, como indica o próprio título da obra: “*Princípios Matemáticos da Filosofia Natural*”], não tanto filosóficos como matemáticos, sobre os quais resulta possível fundamentar nossos raciocínios em assuntos filosóficos. Estes princípios são as leis e condições de certos movimentos e forças, que dizem respeito especialmente à filosofia. [...] É preciso ainda demonstrar a partir desses mesmos princípios a constituição do Sistema do Mundo. (*Principia*, p. 397)

As “Regras para Filosofar”, que se seguem a tal comentário, desempenham justamente a função de ajudar na aplicação desses princípios “matemáticos”<sup>40</sup> ao âmbito da física ou “filosofia natural” a fim de determinar as leis de força que regem os movimentos planetários e, assim, demonstrar a “constituição do Sistema do Mundo”. Nessa tarefa, a Regra III em especial cumpre um papel de fundamental importância, pois é por meio dela que Newton pretende ter estabelecido a universalidade das condições necessárias e suficientes para a aplicação dos princípios matemáticos ao domínio físico<sup>41</sup>.

Entretanto, não podemos deixar de levantar aqui uma pergunta importantíssima: Newton consegue efetivamente, por meio da Regra III, gerar a lista das qualidades universais? A relevância dessa questão deve-se obviamente ao fato de que, como vimos, é justamente por ser definida por meio de tais qualidades que a matéria é tida como sujeita às leis da mecânica, isto é, como passível de receber um tratamento matemático—condição *sine qua non* para o sucesso do empreendimento que Newton se propõe a

---

<sup>39</sup> Cf. MCMULLIN, 1978, p. 21.

<sup>40</sup> Os quais são expostos, principalmente, nas Definições, Leis do Movimento, e nas três primeiras seções do Livro I, como observa Newton ao final desse seu comentário introdutório ao Livro III.

realizar no *Principia*. A fim de responder a tal pergunta, analisemos mais atentamente a Regra III e o comentário que a segue. Consideremos, em especial, o tratamento dado por Newton à dureza e à impenetrabilidade, dois casos de qualidades ditas “universais” que parecem apresentar algumas peculiaridades importantes a serem estudadas no tocante à nossa análise.

Quando Newton vai discutir dureza, ao invés de afirmar que todos os corpos da nossa experiência são duros (seguindo, assim, uma argumentação semelhante àquela empregada na discussão das demais qualidades), ele diz apenas que “*muitos* corpos” são duros (grifo nosso); e, na seqüência, afirma que tal dureza pode ser explicada somente postulando-se a dureza das partículas indivisas que constituem não apenas estes “corpos que tocamos”<sup>42</sup> como também “*todos os outros*”. Ora, isso significa dizer que *todas* as partículas indivisas são duras. Teríamos, portanto, a dureza como uma qualidade universal aplicável a todas as partículas primordiais, mas não necessariamente a todos os corpos por elas constituídos (alguns dos quais evidentemente não são duros). À luz dessas considerações, poderíamos, então, dizer que Newton falhou ao tentar estabelecer a dureza como sendo uma qualidade universal da matéria? Não. Antes, somos levados a supor que, quando se refere à “matéria” ou “corpo” nesse contexto, Newton, em última instância, parece ter em mente as partículas primordiais, pois como explicamos acima, é somente postulando a dureza de tais partículas que Newton consegue explicar a dureza de *alguns* corpos macroscópicos da nossa experiência. Segundo o autor, todas essas partículas mínimas (embora nem todos os corpos por elas compostos) são “extensas, duras, impenetráveis, móveis e dotadas de inércia”. O que garante a aplicabilidade das

---

<sup>41</sup> Para considerações adicionais a respeito do uso da Regra III, Cf. Nota 49 abaixo.

<sup>42</sup> A expressão “corpos que tocamos” parece indicar aqui, mais uma vez, um apelo aos sentidos. Assim, poderíamos definir “dureza” como aquela qualidade dos corpos *sensíveis* de resistir à pressão, ao corte, etc. Entretanto, a dureza das partículas primordiais que (segundo Newton) constituem esses corpos não pode, de maneira nenhuma, nos ser dada na nossa experiência sensível dos corpos macroscópicos. Isto será visto logo a seguir.

propriedades dos corpos observados ao domínio das partículas primordiais é justamente o uso que Newton faz da Regra III<sup>43</sup>.

Analisemos, agora, a discussão acerca da impenetrabilidade. Newton afirma no comentário à Regra III: “que todos os corpos são impenetráveis nós concluímos não da razão, mas da sensação. Os corpos que nós manuseamos, verificamos [serem] impenetráveis [...]”. Entretanto, ao que parece, tal afirmação nem sempre se sustenta. Consideremos o porquê disso.

Como o próprio Newton reconhece, apesar da aparência de solidez, os corpos da nossa experiência são “muito mais rarefeitos do que normalmente se acredita” (1962, p. 316). Isto é, existem vacuidades<sup>44</sup> permeando esses corpos. O exemplo por ele oferecido na seqüência da passagem anterior não deixa dúvidas a esse respeito:

O ouro não é sólido; ele abunda em poros. Por isso ele é dissolvido quando águas ácidas o penetram, e o mercúrio entrando através de seus poros penetra facilmente em suas partes interiores e as branqueia próximo ao centro. (*Ibidem*)<sup>45</sup>

Assim, apesar da aparência de solidez, o ouro não é de fato nem sólido nem impenetrável<sup>46</sup>. Não podemos deixar de comparar esta passagem com o texto do Corolário 4, Proposição 6, Livro III, da edição publicada do *Principia*— onde Newton admite a necessidade de se aceitar a existência de um “espaço ou vazio” entre as

---

<sup>43</sup> Para uma análise dessa possibilidade de se transitar do domínio do micro para o macroscópico, e vice-versa, Cf. MCMULLIN, 1978, pp. 17-21.

<sup>44</sup> No sentido forte do termo, isto é, como um vazio existente entre as partículas dos corpos.

<sup>45</sup> Ambos os trechos supracitados foram retirados de um rascunho para a edição projetada do *Principia* no ano de 1690. É interessante notar nessas passagens que Newton parece estar opondo solidez à *rarefação*. Nesse sentido, quanto menos rarefeito um corpo (isto é, quanto menos vacuidades existirem entre as partículas que o compõem), mais sólido ele será, de modo que no nível macroscópico teríamos apenas uma solidez relativa. Por outro lado, a “solidez absoluta” seria uma propriedade dos “corpos” apenas quando entendidos como “partículas primordiais”. Assim, mais uma vez, quando Newton diz que a solidez é uma propriedade universal da matéria, podemos supor que ao pensar em “matéria” ele tem em mente tais partículas.

<sup>46</sup> Entretanto, Newton não estaria aqui violando o axioma de que “dois corpos não ocupam o mesmo lugar no espaço” se, novamente, entendermos “corpos” no sentido de “partículas primordiais”. As águas ácidas, ou o mercúrio, por exemplo, não penetram de fato nessas partículas (elas sim são “impenetráveis” no sentido forte do termo), mas, antes, ocupam os espaços vazios existentes entre elas e, assim, pode-se dizer que penetram realmente apenas nos corpos macroscópicos.

partículas constituintes dos corpos sólidos<sup>47</sup> – e, desta forma, pensarmos que o que acontece com o ouro se estenderia, em maior ou menor grau, a todos os corpos da nossa experiência (de fato, pelas observações encontramos na natureza corpos mais ou menos sólidos, lembrando novamente que a “solidez” é oposta à “rarefação”). Entretanto, isso parece difícil de conciliar com a posição sustentada por Newton no comentário à Regra III – no qual ele afirma que pela experiência verificamos que “todos os corpos são impenetráveis” –; posição esta defendida pelo autor já desde os rascunhos que deram origem à versão publicada do texto, como podemos ver pelo trecho abaixo citado:

Outro princípio é que a matéria é impenetrável pela matéria. Isto é geralmente considerado como uma máxima conhecida por nós pela luz da Natureza, se bem que nós não conhecemos nada dos corpos a não ser pelos sentidos. Nós verificamos pela experiência cotidiana que os corpos resistem uns aos outros sempre que estão juntos, e não podem por nenhuma força ser compelidos a penetrar as dimensões um do outro. (NEWTON, 1974, Add. 3970, f.479r.)

Teria Newton então fracassado na tentativa de estabelecer a impenetrabilidade como uma das qualidades universais da matéria? Aqui também, como ocorreu no caso da dureza, a resposta é negativa. Mais uma vez, as dificuldades podem ser superadas se considerarmos que ele está entendendo “matéria” no sentido das partículas primordiais. Tanto no rascunho como no texto publicado do comentário a Regra III, a inferência realizada é clara: uma vez que a impenetrabilidade é uma propriedade universal de todos os corpos que nós observamos, ela deve, então, ser uma propriedade universal da matéria. Segundo Newton, “tais observações ocorrem todo dia para cada homem”, de forma que “esta propriedade dos corpos é admitida por todos os homens sem disputa” (*Ibidem*). Ele está tentando, assim, a partir da experiência dos corpos, fazer da

---

<sup>47</sup> Em todo caso, como bem observa o professor McMullin, dado que Newton evidentemente acreditava que as partículas primordiais tinham a mesma densidade, as diferenças macroscópicas de densidade só poderiam ser explicadas concedendo-se a existência de um vazio entre as partículas constituintes dos corpos. Cf. MCMULLIN, 1978, p. 134, nota 52. Para considerações adicionais sobre essa questão Cf. JAMMER, 1961, pp. 67-8.

impenetrabilidade uma propriedade empírica da matéria. Isso, a exemplo do que já havia sido feito no caso da dureza, é possível graças à Regra III<sup>48</sup>.

Vemos, portanto, que, ao tentar gerar a lista das qualidades universais por meio dessa terceira Regra, Newton se posiciona entre dois tipos de epistemologia bastante diferentes. De um lado, teríamos a empirista, segundo a qual as “qualidades universais” seriam consideradas qualidades sensíveis que todos os corpos da nossa experiência partilham em comum; elas poderiam, assim, ser definidas como qualidades que nos são dadas à percepção. Por esta interpretação, a Regra III seria entendida como uma instância do princípio da indução. Assim, dado que todos os corpos sensíveis da nossa experiência apresentam a qualidade *X*, inferimos que *todos* os corpos universalmente (incluindo aqueles não observados, ou seja, aqueles que estão além da nossa experiência) possuem *X*. A força do método da “filosofia experimental” repousaria justamente nesse seu apelo indutivo, o qual o próprio Newton faz questão de salientar no Escólio Geral:

Nessa filosofia as proposições particulares são inferidas dos fenômenos, e posteriormente tornadas gerais por indução. Assim, a impenetrabilidade, a mobilidade e a força impulsiva dos corpos e as leis dos movimentos e da gravidade foram descobertas. (*Principia*, p. 547)

Entretanto, a validade deste tipo de inferência vem sendo questionada já desde Aristóteles e os lógicos medievais. A questão seria: é legítimo, a partir de uma afirmação sobre particulares, passar a um enunciado universal sobre toda uma classe? Tal questão torna-se ainda mais complexa frente à metodologia científica, adotada por uma parcela considerável da comunidade científica/filosófica, em voga na época da publicação do *Principia*, na qual a experiência é tida como a fonte última do conhecimento científico. Ora, a experiência é, evidentemente, limitada a um conjunto

---

<sup>48</sup> Ver Nota 43 acima.

finito de instâncias possíveis dos predicados envolvidos, assim, em última caso, seria impossível se pronunciar sobre o universal. Como, então, poderia Newton ter empregado com sucesso tal tipo de inferência, a ponto de fundamentar nele o próprio método da sua “filosofia experimental”? A resposta é: assumindo a homogeneidade entre os casos particulares e o domínio do universal; o que significa entendê-los como sendo caracterizados pelos mesmos predicados e cobertos pelas mesmas leis. Contudo, esse procedimento ao qual recorre Newton vem sofrendo sérias críticas desde a publicação do *Principia*. Além disso, pelo menos duas das qualidades que, pela Regra III, Newton lista como possuindo *status* universal não são de fato comuns a todos os corpos da nossa experiência (isto é, comuns aos corpos macroscópicos), são elas como vimos: dureza e impenetrabilidade. Atualmente, o modo como Newton usa a Regra III no *Principia* é visto como um caso típico de “falácia de composição” e, nesse sentido, considerado pelos cientistas e filósofos da ciência como uma máxima inadmissível no procedimento científico.<sup>49</sup>

Por outro lado, teríamos Newton advogando uma epistemologia muito diferente daquela empirista que acabamos de expor. Como veremos a seguir, isso se torna evidente quando ele procura estabelecer a atração como uma propriedade universal. No comentário à Regra III, ao discorrer sobre tal propriedade, Newton afirma: “mostra-se por experimentos e observações astronômicas” que todos os corpos gravitam em direção a Terra, e que “nosso mar gravita em direção à Lua”. Entretanto, como faz questão de salientar McMullin, “há claramente um esquema interpretativo em alto grau envolvido aqui”<sup>50</sup>. Em outras palavras, não é a atração que é percebida nos corpos da nossa experiência, mas sim a regularidade com que eles caem; ver isto como “atração” (isto é,

---

<sup>49</sup> Para saber mais sobre o uso da indução no contexto da Regra III, Cf. o Capítulo 2: “*Newton and Boyle and transdiction*” de MANDELBAUM, 1964; MCGUIRE, “*Atoms and the Analogy of Nature: Newton’s Third Rule of Philosophizing*”, 1970; e, MCMULLIN, 1978, especialmente o item 1.3 “*Induction and the ‘Analogy of Nature’*”.

como uma instância da mesma força responsável pelos movimentos planetários) requer toda a estrutura teórica do *Principia*. Está claro, portanto, que a atração não nos é dada diretamente na experiência— como, por exemplo, a mobilidade do corpo o é—, mas torna-se a nós “acessível” somente pela teoria que experimentos e sofisticadas observações astronômicas sugerem. Ora, isso representa um grande afastamento do procedimento indutivo e, por conseguinte, denota uma epistemologia bastante diferente da empirista. Ademais, a estrutura do argumento que trata da dureza também não é indutiva: as partículas primordiais são ditas “duras” não porque a dureza seja uma qualidade universal dos corpos aos quais temos acesso por meio da experiência (e possa, assim, ser indutivamente atribuída a todos os corpos indistintamente, incluindo tais partículas); pelo contrário, é somente partindo-se da postulação de que essas partículas são duras que a dureza apresentada por *alguns* desses corpos sensíveis observados pode ser explicada<sup>51</sup>.

Após toda essa exposição, podemos, finalmente, entender um pouco melhor o tipo de definição de matéria que Newton nos proporciona por meio das “qualidades universais”. Não é uma definição estritamente empirista, pois as qualidades da matéria não nos são inteiramente dadas pela observação. Ela possui também um caráter em certo sentido reducionista, dado que pelas qualidades universais da matéria (e uma variedade de forças e princípios ativos— dos quais, segundo Newton, somente alguns eram até então conhecidos) todos os fenômenos naturais podem ser explicados<sup>52</sup>. De fato, ele não precisa lançar mão de nenhuma outra qualidade além das descritas na Regra III para cumprir com o seu projeto de “filosofia natural”, pelo qual pretende explicar o “sistema

---

<sup>50</sup> MCMULLIN, 1978, p. 24.

<sup>51</sup> Como vimos anteriormente, apenas tais partículas podem denotar precisamente o que Newton entende por corpo ou matéria neste contexto.

<sup>52</sup> Assim, as “Qualidades secundárias, tais como cor, são reais, mas não são mais do que disposições, cujas bases ontológicas podem ser entendidas em termos dos movimentos e relações das partículas primordiais” (MCMULLIN, 1978, p. 26).

do mundo” mediante a aplicação de princípios matemáticos ao domínio dos corpos naturais.

### 1.3. A *Inércia da Matéria*

Neste item, procuraremos esclarecer o modo pelo qual Newton pretende caracterizar a matéria como essencialmente inerte e as dificuldades intrínsecas a este processo<sup>53</sup>. Para tanto, a nossa principal fonte de recursos será uma análise conjunta das Definições e Leis do Movimento, presentes no início do Livro I do *Principia*. Entretanto, antes de adentrarmos nesses textos, será importante termos bem claras algumas definições (presentes em um manuscrito composto provavelmente por volta de 1670 e que os comentadores convencionaram chamar de “*De Gravitatione*”) que em muito poderão nos ajudar na compreensão de algumas das noções que Newton emprega no *Principia*. Começemos pela definição de força:

Força (*vis*) é o princípio causal do movimento e do repouso. É um princípio externo que impresso em algum corpo gera, destrói ou muda de algum modo seu movimento; ou é um princípio interno pelo qual o movimento ou o repouso inculcido ao corpo (*corpore indita*) é conservado, e qualquer ser esforça-se (*conatur*) para preservar-se em seu estado e resiste ao movimento. (NEWTON, *apud* Hall & Hall, 1962, p. 114)

Seguem-se a essa, nesse mesmo manuscrito, as definições de *conatus*, *impetus* e *inertia*. Segundo Newton: “*conatus* é a força impedida, ou a força à qual se opõe resistência”; “*impetus* é a força que se imprime em outra coisa”; e “*inertia* é a força interna do corpo para que seu estado não seja facilmente modificado por uma força externa aplicada sobre ele” (*ibidem*). Uma vez de posse dessas importantes definições,

---

<sup>53</sup> Antes, porém, de dar início a essa tarefa, é importante ter em mente que no *Principia* Newton estava reformulando a concepção de matéria até então disponível. Assim, como nos diz o professor McMullin, “Não é de se surpreender [...] que tensões e inconsistências sejam encontradas” nos textos de Newton (1978, p. 43). De nossa parte, procuraremos analisar o conceito de matéria buscando, na medida do possível, encontrar uma interpretação coerente com o texto do *Principia* que permita-nos entender em que sentido a matéria é tomada na referida obra como um “princípio passivo” do movimento.

podemos, agora, retornar ao *Principia* a fim de prosseguirmos com a nossa análise da matéria definida como um princípio passivo do movimento na referida obra.

Nessa direção, temos a Definição III do *Principia* e o pequeno comentário que a acompanha expressando a mais significativa das tentativas de Newton de expor aquilo que ele entende por “natureza inerte da matéria”. Neles, o autor nos diz:

***Definição III***

A *vis insita*, ou força inata da matéria, é um poder de resistir, através do qual todo corpo, no que depende dele, mantém seu estado presente, seja ele de repouso ou de movimento uniforme em linha reta.

Sobre isto, Newton comenta:

Essa força é sempre proporcional ao corpo ao qual ela pertence, e em nada difere da inatividade da massa, a não ser pela nossa maneira de concebê-la. A partir da natureza inerte da matéria, um corpo não tem seu estado de repouso ou de movimento facilmente alterado. Nesse sentido, essa *vis insita* pode, por um nome mais apropriado, ser chamada de inércia (*vis inertiae*) ou força de inatividade. Mas um corpo só exerce essa força quando outra força, imprimida sobre ele, procura mudar sua condição; e o exercício dessa força pode ser considerado tanto como resistência quanto como impulso; resistência na medida em que, para conservar seu estado presente, o corpo opõe-se à força imprimida; e impulso na medida em que o corpo, não cedendo facilmente à força imprimida por um outro, esforça-se para mudar o estado deste outro corpo [...].

Já numa primeira leitura dessas passagens, podemos notar o quão complexa se afigura a questão acerca da inércia da matéria aqui tratada. A matéria é dita inerte, contudo, isso não implica numa passividade total, mas pelo contrário que é somente com dificuldade que se pode alterar o seu estado de repouso ou de movimento. Nesse sentido, “inércia” denota resistência à mudança de movimento e está associada ao aspecto material dos corpos. Além disso, a atribuição à matéria supostamente inerte de algo chamado “força” (*vis*) evidentemente gera uma tensão interna ao texto, mesmo tendo Newton afirmado que essa força “em nada difere da inatividade” – para complicar ainda mais, veremos que ela certamente difere da inatividade e, também, da força

definida no contexto da Lei II<sup>54</sup>–; e, ao menos num primeiro momento, soa também um tanto quanto estranha a afirmação de que, pelo exercício da força de inércia, os corpos exercem um “impulso”.

Antes, porém, de lidar com todas essas dificuldades, vamos fazer uma outra parada a fim de citar algumas passagens e definições (presentes desta vez no próprio texto do *Principia*) que nos serão de fundamental importância para tentar solucioná-las. Primeiramente, não podemos nos esquecer da Definição IV, onde Newton define “força imprimida”, isto é, o “princípio ativo” do movimento dos corpos, o qual representa, portanto, a contraparte da inatividade material, e sem o qual esta não pode ser satisfatoriamente entendida. Cito:

***Definição IV***

Uma força imprimida (*vis impressa*) é uma ação exercida sobre um corpo a fim de alterar seu estado, seja de repouso, seja de movimento uniforme em uma linha reta.

No comentário a tal definição, Newton afirma:

Essa força consiste apenas na ação, e não permanece no corpo quando termina a ação. Pois um corpo mantém todo novo estado que ele adquire, somente por sua inércia. Mas as forças imprimidas têm origens diferentes, tais como de percussão, de pressão e de força centrípeta.

Além dessas passagens, são importantes outros dois contextos no *Principia* onde as forças ditas “inatas” parecem desempenhar um papel explicitamente ativo. O primeiro deles é (i) o Corolário I<sup>55</sup> das Leis do Movimento, que trata da composição de forças. Nesse corolário duas “forças” são tomadas como a causa de um movimento *uniforme*; trata-se, portanto, de dois *impulsos* aplicados em ângulo e que dão início a um

---

<sup>54</sup> Lei II: A mudança de movimento é proporcional à força motora imprimida, e é produzida na direção da linha reta na qual aquela força é impressa.

<sup>55</sup> Corolário I: Um corpo, submetido a duas forças simultaneamente, descreverá a diagonal de um paralelogramo no mesmo tempo em que ele descreveria os lados pela ação daquelas forças separadamente.

movimento uniforme<sup>56</sup>. O segundo contexto é (ii) uma passagem da Proposição I<sup>57</sup> (do Livro I, Seção II), que trata da relação existente entre a área e o tempo numa trajetória em torno de um centro de força imóvel. Em tal proposição Newton combina a *vis insita* do corpo— a qual provoca o seu movimento uniforme por meio de uma série de impulsos— com a *vis impressa* da força central— que atua sobre o corpo por impulsos externos a ele, os quais provocam o seu movimento em direção ao centro—, dessa combinação resultaria o movimento desse corpo em torno do centro. Observando ambos os contextos, podemos notar que em cada um deles Newton atribui um tipo diferente de papel à “força inata” da matéria: em (i) ela seria responsável por gerar o movimento uniforme; em (ii) ela teria uma função ativa no movimento sob forças centrais.

Por tudo isso, fica evidente a dificuldade de se entender em que sentido Newton toma a matéria como sendo essencialmente inerte, sobretudo se considerarmos a tensão existente entre os conceitos correlatos de *matéria* e *força*. Como auxílio nessa questão, vamos, agora, retornar ao *De Gravitatione*<sup>58</sup>, com o intuito de estabelecermos uma distinção prévia entre os três diferentes sentidos em que Newton emprega o termo “força” (*vis*) na ocasião em que vai defini-lo neste manuscrito, para que, em seguida, possamos analisar propriamente o texto da Definição III e do pequeno comentário que a segue, presentes no início do Livro I do *Principia*, procurando, assim, identificar quais desses três possíveis sentidos de “força” (estabelecidos no *De Gravitatione*) estão de fato presentes na referida Definição<sup>59</sup>. Poderemos, assim, determinar mais precisamente

---

<sup>56</sup> Cf. MCMULLIN, 1978, p. 34.

<sup>57</sup> Proposição I: As áreas que os corpos que giram descrevem por meio de raios traçados até um centro de força imóvel situam-se nos mesmos planos imóveis, e são proporcionais aos tempos nos quais elas são descritas.

<sup>58</sup> Salientamos, novamente, que o apelo a algumas passagens do *De Gravitatione* é um auxílio importantíssimo para alcançarmos uma melhor compreensão do texto do *Principia*, dado que nesse manuscrito (composto, como dissemos, provavelmente por volta de 1670) estão já presentes alguns dos conceitos centrais que serão utilizados e desenvolvidos nesta obra.

<sup>59</sup> Esse expediente metodológico, do qual lançaremos mão a fim facilitar a análise das passagens do *Principia* que nos propusemos a realizar, tem inspiração no trabalho de Ernan McMullin. Em seu livro *Newton on Matter and Activity*, o professor McMullin propõe distinguirmos entre *Vis conservans*, *Vis*

os papéis que Newton confere à “*vis insita*” nas passagens analisadas do *Principia* e o modo como nelas eles estão relacionados. Isso, por sua vez, nos auxiliará a entender a maneira pela qual a matéria é tida como um princípio passivo do movimento na referida obra.

Como visto anteriormente, no *De Gravitatione*, Newton começa a definir “força” (*vis*) como: “o princípio causal do movimento e do repouso” (*apud* Hall & Hall, 1962, p. 114). Logo em seguida, ele afirma que esse é “um *princípio externo* que impresso em algum corpo *gera, destrói ou muda de algum modo seu movimento*” (*Ibidem*; grifos nossos). Neste trecho, Newton claramente usa o termo “força” para identificar a força que se imprime de fora sobre o corpo para alterar o seu estado presente. Tal força seria correspondente àquilo que ficou conhecido como “força motriz *externa*” no sentido padrão da mecânica posterior ao *Principia* (e pode, assim, ser tomada como uma “força *imprimida*” no sentido presente na Lei II desta obra). Poderíamos denominá-la, então, seguindo McMullin, de “*vis impressa*” (VI).

Na seqüência da definição, Newton diz que força é, ainda, “um princípio interno pelo qual o movimento ou o repouso inculido ao corpo é *conservado*” (*apud* Hall & Hall, 1962, p. 114; grifo nosso). Neste sentido ele parece usar o mesmo termo “força” para se referir a certa força de conservação, responsável pela manutenção do movimento uniforme de um corpo. A este tipo de força McMullin se refere pelo nome de “*vis conservans*” (VC), uma força que age em instantes sucessivos como uma seqüência de impulsos na direção do movimento do corpo, e que é medida pelo impulso necessário para trazer o corpo do repouso à sua velocidade atual. O comentador nos adverte que a

---

*resistens* e *Vis impressa*. Ele faz isso justamente com o mesmo objetivo pelo qual a utilizaremos aqui: “poder tornar mais fácil traçar o nosso caminho através do texto laboriosamente construído, onde Newton está ainda procurando pela melhor terminologia para comunicar aquilo que ele quer dizer” (A esse respeito, Cf. MCMULLIN, 1978, pp. 35-7). Mas, ainda que McMullin não faça nenhuma referência direta ao *De Gravitatione* como uma fonte para estabelecer a distinção proposta, veremos que ela está em grande medida amparada no texto do manuscrito.

*vis conservans* não deve ser confundida com uma *força imprimida* no sentido da Lei II do *Principia*. Ambas influenciam no movimento por meio de impulsos sucessivos e instantâneos, entretanto, a primeira conserva o movimento enquanto que a última o altera<sup>60</sup>; além disso, a VC é uma “força inata”, isto é, ela é uma força inerente ao corpo enquanto tal, e não algo externo que lhe foi adicionado.

Para finalizar a definição de força no *De Gravitatione*, Newton afirma também que, por esse princípio, “qualquer ser esforça-se para preservar-se em seu estado e *resiste* ao movimento” (Hall & Hall, 1962, p. 114; grifo nosso). Neste último trecho, Newton estaria usando o termo “força” como indicando um tipo de força de resistência. Este tipo de força McMullin chama de “*vis resistens*” (VR), salientando, ainda, que ela é igual e oposta a *vis impressa* (VI), a qual é responsável pelo seu aparecimento. Assim, ela é exercida somente quando uma força age para mudar o movimento de um corpo, não sendo operante quando o movimento é uniforme. Além disso, a medida da VC é a mesma da VI que a faz aparecer, e isso claramente envolve uma instância a Lei III<sup>61</sup>. Vejamos: quando um corpo, digamos A, age sobre outro corpo, digamos B, B reage. Essa reação pode ser considerada de dois modos: por um lado, com relação a B, ela é uma VR; por outro lado, com relação a A, ela é uma VI, na medida em que ela muda o estado de movimento de A. Em todo o caso o ponto fundamental aqui é, ainda seguindo a interpretação McMullin, entender a resistência como sendo de algum modo ontologicamente responsável por essa reação.

Embora possamos pensar a VI e a VR como dois lados de uma mesma moeda, devemos tomar certo cuidado com isso. A questão é bem mais complicada do que parece numa primeira vista: quando A age sobre B, esta ação, com respeito a B, é uma

---

<sup>60</sup> Para uma comparação detalhada entre esses dois tipos de força, Cf. MCMULLIN, 1978, Nota 74, pp. 136-37.

<sup>61</sup> Lei III: A toda ação há sempre oposta uma reação igual ou, as ações mútuas de dois corpos um sobre o outro são sempre iguais e dirigidas a partes opostas.

VI; mas a resistência que ela provoca em B é uma VR. Esta reação em B também é, por sua vez, responsável de algum modo por uma outra reação (VI) em A, mas certamente elas não são iguais (como afirma a Lei III), ou teríamos um eminente paradoxo: se forças iguais e opostas agem sobre um mesmo corpo, disso não resulta nenhuma mudança de movimento. A fim de evitar essas dificuldades, devemos entender a Lei III como “envolvendo não somente duas *vires impressae*, mas também duas ‘forças de resistência’ (VR) correlativas, responsáveis e ao mesmo tempo trazidas à tona pelas forças imprimidas”<sup>62</sup>.

Dadas essas três maneiras diferentes em que Newton emprega o termo “força” no *De Gravitatione*, a partir das quais procuramos estabelecer nossa distinção entre VI, VC e VR, voltemos ao texto do *Principia* e vejamos em que medida esta distinção pode nos ser útil na tentativa de resolvermos os problemas referentes ao contexto da Definição III. Como veremos: tal distinção irá nos permitir, num primeiro momento, considerar separadamente os complicados conceitos que Newton trabalha nessa terceira Definição e no pequeno comentário subsequente a ela; feito isso, poderemos, posteriormente, relacionar tais conceitos a fim de entendermos em que sentido a matéria pode ser dita inerte nesse contexto. Mas, vamos então à análise dos textos da Definição III e do seu pequeno comentário. Poderíamos, numa leitura apressada dessas passagens, interpretar: (i) a *vis insita*— uma vez que o seu papel específico é manter o corpo em seu estado presente— como uma VC; e, (ii) a *vis inertiae*— pela a ênfase dada à sua função de resistir a mudança de movimento— como uma VR. Entretanto, tal interpretação parece não ter apoio textual, pois o próprio Newton afirma que a *vis insita* e a *vis inertiae* diferem somente em nome: “essa *vis insita* pode [...] ser chamada de *vis inertiae*” (trecho do comentário a Definição III), o que certamente não é o caso no

---

<sup>62</sup> MCMULLIN, 1978, p. 37.

concernente à VC e à VR. De fato, manter um corpo em movimento com uma “força” proporcional à massa desse corpo e atuante na direção do movimento do corpo (papel da VC) definitivamente não é o mesmo que resistir à mudança de movimento com uma “força” igual e oposta à força imprimida (papel da VR). Faz-se necessário, então, analisar a Definição III com um pouco mais de cautela.

Newton parece estabelecer dois contextos diferentes no tratamento das “forças” ao nível da Definição III. Por um lado, ao descrever a *vis insita*, ele assume um corpo em movimento *uniforme*; por outro lado, a *vis inertiae* é exercida somente quando uma outra força é impressa sobre o corpo, isto é, trata-se de um contexto onde o movimento é *não-uniforme*. A *vis insita* é, então, de alguma maneira, responsável pela manutenção do movimento uniforme. Tal papel, como veremos, será descrito de dois modos bastante diferentes e dificilmente passíveis de serem conciliados.

Por um lado, a *vis insita* assemelha-se a uma VC na medida em que conserva o movimento. Como vimos, na Proposição I, a *vis insita* é descrita como uma “força” que provoca um movimento uniforme por meio de uma série de impulsos (tal “força” será combinada com os impulsos gerados por um centro de força. Dessa combinação resultaria a movimento do corpo em torno desse centro). Entretanto, essa “força” inata agindo na direção do movimento é considerada uma força somente no sentido de ser representada por um impulso, o que certamente foi de grande utilidade na análise matemática da Proposição I<sup>63</sup>. Mas, em última instância, não podemos deixar de notar que a “força inata” parece denotar algum tipo de função causal do movimento no contexto da Proposição I<sup>64</sup> e, nesse sentido, parece desempenhar uma função semelhante àquela exercida por uma *vis impressa*. Isso se afigura bastante estranho, pois a “força

---

<sup>63</sup> A esse respeito, Cf. MCMULLIN, 1978, p. 38.

<sup>64</sup> Para maiores informações sobre o conceito de força na mecânica do Século XII, Cf. COHEN, 1970.

inata” tem a função de manter o estado presente do corpo e não a de iniciar um movimento.

Por outro lado, além da função de conservar o movimento, o outro papel atribuído à *vis insita* consiste num “poder de resistir”, que poder ser interpretado em dois sentidos:

- (i) o sentido mais fraco seria o de “evitar a mudança de movimento”. Nesse sentido a *vis insita* seria uma VC, pois conservar o movimento implica em evitar a mudança de movimento;

- (ii) o sentido mais forte (e, certamente, aquele que Newton tinha em mente ao redigir a Definição III e o pequeno comentário que a segue) é o de “resistir à mudança”. Isso se depreende do trecho onde Newton, procurando explicar a *vis insita*, afirma ser por causa da natureza inerte da matéria que “um corpo não tem seu estado de repouso ou movimento facilmente alterado” (trecho retirado do comentário de Newton à Definição III). Nesse sentido, acaso poderíamos entender o “poder de resistir” como uma disposição que é atualizada quando uma força *impressa* age sobre o corpo a fim de mudar o seu movimento? Isso, a princípio, parece ser justamente aquilo que Newton tem em mente quando, ao tomar *vis insita* pelo nome de *vis inertiae*, diz que um corpo só “exerce” essa força quando uma força imprimida atua para alterar a sua condição. Entretanto, devido à importância deste ponto, não podemos correr o risco de cometer um engano interpretativo por realizar uma análise demasiado apressada. Isso requer, portanto, que nos detenhamos um pouco mais sobre essa questão.

Como afirma Newton, há dois modos pelos quais o “exercício” da *vis inertiae* pode ser considerado: como resistência, e como impulso. *Resistência* na medida em que, “para conservar seu estado, o corpo opõe-se à força imprimida”; *impulso* (*impetus*) na medida em que o corpo “não cedendo facilmente à força imprimida por um outro,

esforça-se para mudar o estado deste outro corpo” (ambos os trechos são do comentário de Newton que acompanha a Definição III). Nesse contexto, poderíamos identificar três elementos distintos envolvidos no “exercício” da *vis inertiae*, cada um deles desempenhando um tipo de papel causal: (i) o esforço (*conatus*) para mudar o estado do outro corpo. A esse esforço em um dado corpo, digamos A, é atribuído certo tipo de responsabilidade pela força externa de reação atuante sobre um outro corpo, digamos B; (ii) a resistência da qual o *conatus* aparentemente deriva; e (iii) a manutenção do estado presente do corpo, a qual pode ser considerada uma consequência da resistência. Teríamos, portanto, a resistência como o “aspecto ontologicamente básico” (nos termos de McMullin) da *vis inertiae*, dado que se seguem dessa resistência tanto o *conatus* quanto a conservação do estado do corpo<sup>65</sup>. Nessa direção, teríamos já um primeiro vislumbre do sentido pelo qual a matéria é dita inerte. Mas, prossigamos com nossa análise a fim de tornar a questão ainda mais acessível.

Falávamos acima da resistência como o traço característico fundamental da *vis inertiae*. Vamos, agora, relacionar isso com aquilo que havíamos discutido um pouco antes, a saber, que parece haver dois contextos diferentes envolvidos no tratamento das “forças” ao nível da Definição III<sup>66</sup>. De fato, Newton menciona a resistência duas vezes na referida definição: (a) quando ele diz ser a *vis insita* um “poder de resistir”, uma disposição possuída pelo corpo em um movimento uniforme; e (b) onde ele afirma que a *vis inertiae* é uma “força de resistência” exercida somente quando uma outra força imprimida procura mudar o movimento do corpo (isto é, no contexto de um movimento não-uniforme). Poderiam, então, a *vis insita* e a *vis inertiae* ser consideradas, respectivamente, como disposição e como atualização, no sentido em que sugere

---

<sup>65</sup> Assim, ao que parece, teríamos “quatro princípios atuando em um corpo que age sobre outro corpo: a força externa agindo sobre ele (VI), a resistência que o corpo apresenta (VR), o *conatus* para alterar o movimento do outro corpo, e a força inata responsável por conservar o movimento presente do corpo (VC) por impulso” (MCMULLIN, 1978, pp. 39-40).

McGuire?<sup>67</sup> Num primeiro momento, somos tentados a deixar de lado o aspecto de conservação (VC) da *vis insita* e a considerar apenas o seu “poder de resistir”, entendendo-o como uma disposição latente nos corpos em movimento uniforme, disposição esta que seria atualizada em termos de *vis inertiae* (considerada enquanto resistência) quando um corpo age sobre outro e, assim, dar uma resposta afirmativa à pergunta. Contudo, essa interpretação não se sustenta, pois é difícil tomar a *vis insita* como uma disposição simplesmente. Pelo contrário, de acordo com a Proposição I, a sua função de conservação está *constantemente operando* e, por isso, ela não poderia ser considerada apenas como uma disposição. Mas, e quanto a considerar a *vis inertiae* como atualização? Nesse sentido, devemos tomar cuidado ao entender a função de “manter o estado presente de um corpo”, dependendo de a qual “força” ela está relacionada. No caso da *vis insita*– tomada como uma VC, isto é, uma “força” de conservação que atua por meio de impulsos para manter o movimento uniforme– “manter o estado presente de um corpo” significa atuar como a causa do movimento uniforme desse corpo. Por outro lado, a *vis inertiae*– considerada como uma VR– não manteria de fato o estado de um corpo, pois ela *tenderia* a fazer isso se opondo à força externa, entretanto, como bem observa McMullin, essa “‘tendência’ não contribui para a análise do movimento em termos de impulsos”<sup>68</sup>, e Newton estabeleceu justamente os

---

<sup>66</sup> Conforme exposto anteriormente.

<sup>67</sup> Segundo McGuire, há “dois tipos de ‘princípios explicativos’ irredutivelmente diferentes no *Principia*: os impulsos externos, que são causas para Newton, e uma *vis insita* interna a cada partícula de matéria”. Por essa “‘propriedade’ interna, inerente e inata de todos os corpos”, cujo nome é “*vis insita*”, McGuire afirma que se poderia explicar o movimento inercial no *Principia*. Ele defende que ela seria uma disposição absoluta (ou “não-geométrica”) de um corpo na natureza, isto é, independente das posições e movimentos dos outros corpos e até mesmo da existência deles. Por outro lado, a *vis inertiae* (chamada por McGuire de “estado de *inertiae*”) é tratada como uma atualização ou “manifestação dessa ‘propriedade’ [*vis insita*] oculta” e, assim, ele entende a *vis inertiae* como resultante da interação entre os corpos e, nesse sentido, como uma disposição “geométrica”, isto é, dependente da existência e das ações desses outros corpos. Cf. MCGUIRE, 1970, pp. 189-90.

Devemos notar que esse tipo de interpretação é favorecido pela própria linguagem que Newton emprega no *Principia*, onde a *vis insita* é descrita como uma ação atuando contra uma força imposta. Entretanto, vale lembrar que essa *vis insita* não deve ser confundida com a *vis imprimida*, no sentido em que a última é definida na Lei II.

<sup>68</sup> MCMULLIN, 1978, p. 40.

impulsos como a base conceitual no tratamento dinâmico das forças<sup>69</sup>. Assim, em última instância, a *vis inertiae* não é uma atualização no sentido proposto por McGuire. Vemos, portanto, a importância de se considerar os dois contextos envolvidos no tratamento das “forças” na Definição III. É somente a partir dessa diferenciação que podemos compreender o “manter o estado presente” do corpo como representando, no final das contas, dois aspectos bastante diferentes na análise causal de Newton, a saber: (i) a manutenção ativa do movimento uniforme pela *vis insita* e (ii) a “neutralização” por parte da *vis inertiae* de uma força imprimida, o que evoca o contexto de um movimento não-uniforme.

#### **1.4. Considerações Finais do Primeiro Capítulo**

Após toda essa discussão podemos, agora, entender um pouco melhor as funções que Newton atribui à matéria na Definição III e, finalmente, verificar quais são as principais dificuldades a se resolver a fim de que possamos interpretar consistentemente a matéria como um “princípio passivo” na explicação do movimento no *Principia*. Primeiramente, à *vis insita* é atribuída uma função de conservação (VC), ela seria, assim, continuamente responsável pela *manutenção* do movimento uniforme de um corpo que não está sujeito à ação de forças externas. Isso, por um lado, possibilita representar a ação dessa *vis insita* em termos de uma seqüência de impulsos na direção do movimento do corpo, mas, por outro lado, deixa ainda a desejar uma “explicação” última para o movimento uniforme. Em segundo lugar, a *vis inertiae* é tomada como responsável pela reação que altera o movimento do corpo agente. Mas isso parece atribuir a essa *vis* o papel de verdadeira atividade, o que está em flagrante contraste com o sentido original dado por Newton ao termo “inércia”, a saber, “força de inatividade”.

---

<sup>69</sup> Para uma análise detalhada a este esse respeito, Cf. BARRA, 1994, sobretudo o seu tópico 2.2 *A Consolidação das Idéias Mecânicas de Newton: A Mecânica Celeste e a Concepção Dinâmica dos*

Por fim, resta ainda o caráter ambíguo da noção de “resistência”: (a) no contexto da *vis insita*, ela seria responsável de algum modo pela conservação do movimento uniforme; e (b) no contexto da *vis inertiae*, ela parece ser o membro de um “equilíbrio fictício” de forças responsável pela “manutenção do estado presente” do corpo; neste contexto, ela poderia ser considerada simultaneamente uma “força de resistência” (VR) e uma “força impressa” (VI), o que se afigura um tanto quanto problemático<sup>70</sup>.

Por tudo isso, torna-se evidente que, apesar de Newton afirmar a *vis insita* e a *vis inertiae* como diferindo somente em nome, as funções dinâmicas por ele atribuídas a cada uma dessas *vires* não são exatamente as mesmas. Ademais, ambas apresentam uma natureza dual com traços difíceis de serem conciliados entre si: (i) à *vis insita* é atribuída tanto a característica de conservação do movimento (VC), como a função de resistir a mudança de movimento (VR); (ii) a *vis inertiae*, por sua vez, é proposta tanto como uma reação à força imprimida (VR) como um esforço (*conatus*) para mudar o estado de outro corpo. Sendo assim, como poderíamos interpretar todos esses aspectos acima discutidos de modo a reuni-los numa concepção unívoca que expresse consistentemente a matéria enquanto um “princípio passivo” do movimento no interior da dinâmica do *Principia*? Ora, considerando que todos eles têm a sua *fonte em algum tipo de passividade corporal*. A *vis insita* é uma função, inata à matéria, que mantém o corpo em um movimento que ele já possuía; a *vis inertiae* é a resistência com a qual o corpo responde a qualquer tentativa de alteração do seu movimento por parte de um outro corpo (estando essa resistência situada nesse primeiro corpo); por fim, o *conatus*, que, como vimos, deriva dessa resistência da *vis inertiae*, é um esforço pelo qual um corpo procura mudar o estado de movimento de outro corpo que está agindo sobre ele. Assim, tanto a *vis insita*, quanto a *vis inertiae* e o *conatus*, estão, de algum modo,

---

*Movimentos*, pp. 35-60.

<sup>70</sup> Para uma discussão detalhada desta questão, Cf. MCMULLIN, 1978, pp. 41-2.

associados à tendência da matéria de conservar qualquer movimento que ela possua e de impor movimento por meio da reação em consequência da sua resistência; esses três elementos são sempre proporcionais à quantidade de matéria do corpo, embora nenhum deles possa ser medido apenas por ela<sup>71</sup>. A matéria é, portanto, dita um “princípio passivo” do movimento, na medida em que todas essas suas propriedades acima descritas derivam, em último caso, de algum tipo de *passividade corporal*. Em outras palavras: a matéria jamais poderia por si própria iniciar um movimento, pelo contrário, na dinâmica do *Principia* ela é exatamente “aquilo que é movido” pela ação de uma força impressa externa.

Analisaremos, no próximo capítulo, o argumento de Newton para derivar o seu princípio de gravitação universal. Isso será de grande importância por dois motivos: nos permitirá entender como ele postula uma atração gravitacional entre os corpos e, ainda, o que propriamente ele entende como sendo o procedimento de deduzir proposições a partir dos fenômenos. Essas serão informações indispensáveis para que possamos compreender propriamente como surge o problema de Newton e, também, como ele pretende afastar as críticas a sua teoria.

---

<sup>71</sup> A este respeito, Cf. MCMULLIN, 1978, p. 43.

## Capítulo 2: O Argumento para a Gravitação Universal

### 2. Como Analisar o Argumento

O célebre argumento de Newton para a gravitação universal é cotado pelos estudiosos como um dos mais complexos e polêmicos na história do pensamento. Isso fica evidente ao nos depararmos com o grau de dificuldade que ele envolve e com as várias controvérsias que lhe dizem respeito. O argumento propriamente dito abarca somente as proposições de I a VII do início do Livro III do *Principia*; sua construção, no entanto, depende diretamente dos pressupostos, ou “princípios”, presentes nos Livros I e II. Tais princípios, como o próprio título da obra indica, são “princípios matemáticos”. Vários deles, inclusive, “podem custar demasiado tempo inclusive aos leitores doutos em matemáticas” (*Principia*, p. 460). Sendo assim, o que fazer para se chegar ao argumento quando não se possui tanta perícia em matemática? Neste caso, o próprio Newton nos orienta: “Bastará que se leiam cuidadosamente as Definições, as Leis do Movimento e as três primeiras seções do Livro primeiro, para passar logo a este Livro sobre o sistema do mundo [e, conseqüentemente, ao argumento para a lei de gravitação universal], consultando as demais Proposições dos outros dois [os Livros I e II] segundo o requeiram seu arbítrio e as referências do texto” (NEWTON. *Principia*, p. 460). Assim, a nossa estratégia de abordagem do *Principia* e, particularmente, do argumento para a lei de gravitação universal seguiram exatamente este itinerário oferecido pelo autor. Além disso, para darmos conta dos problemas relativos ao vocabulário específico (termos matemáticos e astronômicos) empregado nas passagens analisadas, foram de grande utilidade alguns comentários sobre a metodologia newtoniana e as ditas leis de Kepler<sup>72</sup>. Antes, porém, de investigar as proposições de I a

---

<sup>72</sup> Cf. a Bibliografia ao final da Dissertação.

VII do livro terceiro, cumpre-nos apresentar as Regras para Filosofar e os Fenômenos, que precedem tais proposições e funcionam, assim, como prolegômenos ao argumento.

### **2.1. Prolegômenos ao Argumento: As Regras para Filosofar<sup>73</sup> [*“Regulae philosophandi”*] e os Fenômenos [*“Phaenomena”*]**

O *Principia* está dividido em três grandes partes: Livro I. O Movimento dos Corpos [*De motu corporum liber primus*]<sup>74</sup>; Livro II. O Movimento dos Corpos (em meios resistentes) [*De motu corporum liber secundus*]; e, Livro III. Do Sistema do Mundo [*De systemate mundi*]. Conforme dissemos, ele foi publicado em três edições, a saber, 1687, 1713 e 1726. Comparando-se essas três edições, é difícil deixar de notar algo bastante interessante ao abrir o Livro III: as expressões *“Regulae philosophandi”* e *“Phaenomena”* aparecem somente na segunda e terceira edições da obra. Na primeira edição, ao invés dessas duas expressões temos uma única– *“Hypotheses”*–, a qual intitula uma série de nove proposições– as *Hypotheses* I, II, III, IV, V, VI, VII, VIII e IX. Essas *Hypotheses*, da primeira para a segunda e terceira edições, tiveram não apenas o seu título alterado, mas sofreram várias outras modificações<sup>75</sup>. Assim, na terceira e última edição da obra, temos uma série de quatro proposições intituladas *“Regulae philosophandi”*– as *Regulae* I, II, III e IV– seguidas por outras seis chamadas de

---

<sup>73</sup> Conhecidas também como “Regras do Raciocínio em Filosofia”, por causa de Andrew Motte que, em sua famosa tradução para o inglês do *Principia– Sir Isaac Newton’s Mathematical Principles of Natural and His System of the World* (London, 1979)–, traduz a expressão *“Regulae philosophandi”* por “Rules of Reasoning in Philosophy”.

<sup>74</sup> O qual é precedido por oito Definições [*Definitiones*] e sete ditos Axiomas ou Leis do Movimento [*Axiomata, sive Leges Motus*].

<sup>75</sup> Newton altera o enunciado de algumas delas, muda uma de lugar, exclui outra e, por fim, acrescenta outras duas. Nossa intenção, no entanto, devido ao escopo dessa Dissertação, não é entrar nos pormenores dessas mudanças. Cumpre-nos apenas dizer que elas se deram por conta da crescente aversão por parte de Newton às “hipoteses”, o que decorre, sobretudo, das críticas dos cartesianos ao princípio de gravitação universal (isso será analisado pormenorizadamente adiante). Um estudo detalhado dessas alterações no texto do *Principia* pode ser encontrado em KOYRÉ. Newton’s *“Regulae Philosophandi”*, *Newtonian Studies*, 1968, pp. 261-72, e, do mesmo autor, Pour une édition critique des œuvres de Newton, *Revue d’Histoire des Sciences* 8, 1955, pp. 19-37; Cf., também, BARRA. Em que sentido Newton pode dizer *“Hypotheses non fingo”*?, *Cadernos de História e Filosofia da Ciência*, 1995, p. 236. Para nosso objetivo aqui é suficiente analisar o produto final de todas essas modificações, isto é, as quatro *Regulae philosophandi* e os seis *Phaenomena*, presentes no início do Livro III da terceira edição da obra.

“*Phaenomena*” – os *Phaenomena* I, II, III, IV, V e VI. Apresentaremos, agora, essas dez proposições em conjunto e, em seguida, iremos analisá-las uma a uma.

*Regula* [Regra] I. Não se deve para as coisas naturais admitir mais causas que as verdadeiras e suficientes para explicar seus fenômenos. (*Principia*, p. 461)

*Regula* II. Por conseguinte, deve-se atribuir, tanto quanto possível, aos mesmos efeitos as mesmas causas. (*Ibidem*)

*Regula* III. As qualidades dos corpos que não admitem intensificação nem redução, e que resultam pertencer a todos os corpos dentro do campo de nossos experimentos, devem considerar-se qualidades universais de quaisquer tipos de corpos. (*Ibidem*)

*Regula* IV. Em filosofia experimental devem-se reconhecer proposições inferidas por indução geral a partir de fenômenos como exatas ou como muito aproximadamente verdadeiras, não obstante quaisquer hipóteses contrárias, até que se produzam outros fenômenos capazes de fazer mais precisas essas proposições ou sujeitas a exceções. (*Principia*, p. 463)

*Phaenomenon* [Fenômeno] I. Que os planetas circunjovianos descrevem, mediante raios traçados ao centro de Júpiter, áreas proporcionais aos tempos de descrição, e que seus tempos periódicos, com as estrelas fixas em repouso, são como a  $3/2$  potência de suas distâncias a seu centro. (*Idem*, p. 465)

*Phaenomenon* II. Que os planetas que circundam Saturno descrevem, mediante raios traçados ao centro de Saturno, áreas proporcionais aos tempos de descrição, e que seus tempos periódicos, com as estrelas fixas em repouso, são como a  $3/2$  potência de suas distâncias a seu centro. (*Idem*, p.466)

*Phaenomenon* III. Que os cinco planetas primários, Mercúrio, Vênus, Marte, Júpiter e Saturno, giram em suas diversas órbitas ao redor do Sol. (*Idem*, p. 468)

*Phaenomenon* IV. Que, com as estrelas fixas em repouso, os tempos periódicos dos cinco planetas primários e (tanto do Sol em torno da Terra como) da Terra em torno do Sol são como a  $3/2$  potência de suas distâncias médias ao Sol. (*Ibidem*)

*Phaenomenon* V. Que os planetas primários não descrevem mediante raios traçados até a Terra áreas em absoluto proporcionais aos tempos, mas as áreas que descrevem mediante raios traçados até o Sol são proporcionais ao tempo de descrição. (*Principia*, p. 469)

*Phaenomenon* VI. Que a Lua, mediante um raio traçado ao centro da Terra, descreve uma área proporcional ao tempo de descrição. (*Idem*, p. 470)

Após ter apresentado essas dessas dez proposições em conjunto, iremos, agora, analisá-las separadamente. Para tanto, mesmo correndo o risco de parecermos prolixos, vamos repetir, novamente, cada uma delas, a fim de que o leitor não tenha que ficar o tempo todo voltando a esta página.

## ***2.2. Análise das Regras para Filosofar***

### *Regra I.*

Não se deve para as coisas naturais admitir mais causas que as verdadeiras e suficientes para explicar seus fenômenos.

Esta primeira regra expressa o princípio fundamental da simplicidade da Natureza. Ela funciona, assim, como um princípio de parcimônia, presente já nas obras de Guilherme de Ockham (século XVI) e, por este motivo, conhecido também como “princípio de Ockham”.

### *Regra II*

Por conseguinte, deve-se atribuir, tanto quanto possível, aos mesmos efeitos as mesmas causas.

A segunda regra, tomada por Newton como uma consequência ou implicação da primeira, será usada para garantir certas identificações teóricas no interior do argumento para a lei de gravitação universal. Isto será discutido adiante, mais precisamente, quando formos analisar as sete ditas Proposições do livro III. Como nota William Harper, essas duas primeiras regras, juntas, indicam que, para explicar os fenômenos naturais, deve-se optar por causas comuns sempre que elas possam ser encontradas<sup>76</sup>.

---

<sup>76</sup> Cf. HARPER. Newton's argument for universal gravitation, *The Cambridge Companion to Newton*, 2002, p. 183.

Assim, mesmo nesta primeira leitura, fica já bastante claro o caráter metodológico das Regras I e II: elas propõem princípios formais e gerais para a ciência da natureza<sup>77</sup>.

### *Regra III*

As qualidades dos corpos que não admitem intensificação nem redução, e que resultam pertencer a todos os corpos dentro do campo de nossos experimentos, devem considerar-se qualidades universais de quaisquer tipos de corpos.

A Regra III, acrescentada por Newton na segunda edição do *Principia*, nada mais é do que uma instância do princípio da indução, o qual Steven French nos apresenta numa forma concisa e trivial: “se um grande número de A’s observados, sob uma ampla variedade de condições, possuírem, sem exceção, [uma] qualidade B, então [,] todos os A’s têm B” (1989, p. 37). Acompanha a terceira regra uma longa explicação, ao final da qual Newton discorre sobre a gravitação universal<sup>78</sup>. Quanto a isto, é interessante observar que, antes mesmo de começar o argumento propriamente dito, Newton oferece aos leitores uma visão prévia de como a Regra III poderia ser utilizada para se chegar à forma final da lei de gravitação universal. Vale notar, também, que, com esta regra, Newton opõe o empirismo da sua “filosofia experimental” ao apriorismo do método das hipóteses<sup>79</sup>, defendendo o primeiro e rejeitando o último. A este respeito ele é categórico: “[...] não devemos abandonar a evidência dos experimentos por sonhos e vãs ficções [...]”<sup>80</sup> (*Principia*, p. 462). Contudo, as declarações de Newton a favor do empirismo não foram suficientes para convencer os adeptos do método das hipóteses; muito pelo contrário, elas reforçaram ainda mais a sua rejeição à “filosofia natural”<sup>81</sup>, o que gerou uma intensa discussão (nem sempre

---

<sup>77</sup> A este respeito, Cf. KOYRÉ. Newton’s “*Regulae Philosophandi*”, *Newtonian Studies*, 1968, p. 263.

<sup>78</sup> Cf. NEWTON. *Principia*, p. 463.

<sup>79</sup> Método que tinha como expoentes Descartes e Leibniz, os ditos “Filósofos Continentais”.

<sup>80</sup> Trecho do texto que sucede a Regra III.

<sup>81</sup> Para maiores detalhes sobre este ponto, Cf. KOYRÉ. Newton’s “*Regulae Philosophandi*”, *Newtonian Studies*, 1968, p. 268.

amistosa) entre as partes. Particularmente, um dos pontos principais dessa disputa era o desacordo existente entre Newton e os cartesianos a respeito do conceito de hipótese. Estes diziam ser o princípio de gravitação universal, o principal resultado científico alcançado no *Principia*, uma hipótese arbitrária. Newton, por sua vez, defendia-se alegando não fazer hipóteses (“*hypotheses non fingo*”), mas que a gravitação universal havia sido “deduzida a partir dos fenômenos” (*Principia*, p. 746). Assim, na terceira e última edição da obra, ele insere uma quarta regra, considerada pelos comentadores como sendo dirigida exatamente contra essa crítica dos cartesianos.

#### *Regra IV*

Em filosofia experimental devem-se reconhecer proposições inferidas por indução geral a partir de fenômenos como exatas ou como muito aproximadamente verdadeiras, não obstante quaisquer hipóteses contrárias, até que se produzam outros fenômenos capazes de fazer mais precisas essas proposições ou sujeitas a exceções.

Finalmente, esta quarta regra (ou “a regra da prudência e do bom-senso”, como ficou conhecida) defende que as proposições derivadas dos fenômenos por indução<sup>82</sup> devem ser tidas e sustentadas como “exatas ou [...] muito aproximadamente verdadeiras”, independentemente de qualquer hipótese contrária. Em outras palavras, em filosofia experimental, os argumentos indutivos devem ser admitidos como verdadeiros apesar das hipóteses que possam ser levantadas contrariamente. Isso vale até que outros fenômenos contradigam ou restrinjam tais argumentos.

#### *Visão Geral Sobre as Quatro Regras*

Costuma-se entender essas quatro regras como um conjunto de axiomas metodológicos adotados por Newton no seu argumento para a lei de gravitação

---

<sup>82</sup> Nesse segundo capítulo pretendemos justamente explicitar o modo como Newton deriva a lei de gravitação universal.

universal. Elas ofereceriam, assim, um “pequeno resumo dos pontos de vista lógico e epistemológico [assumidos pelo autor]” (KOYRÉ, 1968, p. 262). Mas, apesar do consenso quanto ao papel metodológico das Regras, quando se fala do modo como elas foram empregadas no corpo do argumento para a lei de gravitação universal, surgem algumas divergências entre os comentaristas. Clark Glymour, por exemplo, diz que Newton as teria usado para passar de certas instâncias de hipóteses às próprias hipóteses<sup>83</sup>; M. Hesse, outro conhecido comentarista, argumenta que Newton as empregou para simplificar os procedimentos até chegar à lei de gravitação universal<sup>84</sup>; Steven French, por sua vez, considera as interpretações de Glymour e de Hesse “ultra-simplificações” e se nega a agrupar as Regras sob um mesmo esquema que procure mostrar que todas elas foram utilizadas da mesma forma<sup>85</sup>. De nossa parte, podemos dizer que optamos por uma estratégia similar a utilizada French, isto é, acompanhando a seqüência do argumento para a lei de gravitação universal, buscaremos entender o modo como Newton utilizou cada uma das Regras em separado.

### **2.3. Análise dos Fenômenos**

#### *Fenômeno I*

Que os planetas circunjovianos descrevem, mediante raios traçados ao centro de Júpiter, áreas proporcionais aos tempos de descrição, e que seus tempos periódicos, com as estrelas fixas em repouso, são como a  $3/2$  potência de suas distâncias a seu centro.

O fenômeno primeiro consiste de duas partes. A primeira delas enuncia que os planetas circunjovianos, ou satélites de Júpiter, por raios traçados até o centro do referido planeta, descrevem áreas proporcionais aos tempos em torno desse centro. Esta

---

<sup>83</sup> Cf. GLYMOUR. *Theory and Evidence*, 1980, p. 204.

<sup>84</sup> Cf. HESSE. *Forces and Fields*, 1961, p. 147.

<sup>85</sup> Cf. FRENCH. A estrutura do argumento de Newton para a lei da gravitação universal, *Cadernos de História e Filosofia da Ciência*, 1989, p. 37 e ss.

é a chamada “lei de áreas”<sup>86</sup> (ou “segunda lei”) de Kepler para esses satélites com respeito ao centro de Júpiter. A segunda parte deste fenômeno diz que os tempos periódicos das órbitas de tais satélites, estando as estrelas fixas em repouso, são como a  $3/2$  potência de suas distâncias ao centro de Júpiter. Esta é a “lei harmônica” (ou “terceira lei”) de Kepler para essas órbitas.

### *Fenômeno II*

Que os planetas que circundam Saturno descrevem, mediante raios traçados ao centro de Saturno, áreas proporcionais aos tempos de descrição, e que seus tempos periódicos, com as estrelas fixas em repouso, são como a  $3/2$  potência de suas distâncias a seu centro.

No segundo fenômeno há, novamente, uma aplicação de instâncias da segunda e terceira leis de Kepler. Desta vez, no entanto, isso é feito em relação aos satélites de Saturno.

### *Fenômeno III*

Que os cinco planetas primários, Mercúrio, Vênus, Marte, Júpiter e Saturno, giram em suas diversas órbitas ao redor do Sol.

Este terceiro fenômeno, como fica patente, afirma que os planetas primários descrevem órbitas em torno do Sol. É interessante que Newton não tenha incluído a Terra como um desses planetas. Assim, segundo Harper, tal fenômeno seria compatível com o sistema geo-heliocêntrico de Tycho Brahe<sup>87</sup>.

---

<sup>86</sup> Segundo Curtis Wilson, Leibniz foi o primeiro autor a chamar as regras de Kepler para o movimento planetário de “leis”. Isso teria ocorrido em 1689, quando Leibniz, já depois de ter lido a primeira edição do *Principia* de Newton, publica o seu *Tentamen de motuum coelestium causis*. A este respeito, Cf. WILSON, C. “From Kepler to Newton: Telling the Tale”, in Richard H. Dalitz and Michael Nauenberg (eds.), *The Foundations of Newtonian Scholarship*, Singapore: World Scientific, pp. 223-42, 2000.

#### *Fenômeno IV*

Que, com as estrelas fixas em repouso, os tempos periódicos dos cinco planetas primários e (tanto do Sol em torno da Terra como) da Terra em torno do Sol são como a  $3/2$  potência de suas distâncias médias ao Sol.

No quarto fenômeno, Newton declara que os cinco planetas primários obedecem à lei harmônica, ou terceira lei de Kepler. No texto que sucede ao enunciado do fenômeno, ele apresenta dados observacionais do próprio Kepler e do astrônomo francês Boulliau que corroboram a sua afirmação.

#### *Fenômeno V*

Que os planetas primários não descrevem mediante raios traçados até a Terra áreas em absoluto proporcionais aos tempos, mas as áreas que descrevem mediante raios traçados até o Sol são proporcionais ao tempo de descrição.

O fenômeno quinto, por sua vez, é nada mais que a aplicação da lei de áreas (ou segunda lei) de Kepler aos mesmos cinco planetas acima citados.

#### *Fenômeno VI*

Que a Lua, mediante um raio traçado ao centro da Terra, descreve uma área proporcional ao tempo de descrição.

Por fim, no sexto fenômeno, Newton afirma que a Lua, com respeito ao centro da Terra, obedece à lei de áreas. Na seqüência do texto ele argumenta que isso é determinado comparando-se o movimento aparente da Lua com seu diâmetro aparente. Diz, ainda, que “certamente” a ação do Sol perturba ligeiramente o movimento da Lua,

---

<sup>87</sup> Neste sistema, os planetas orbitam o Sol e, por sua vez, o Sol orbita a Terra. Assim, em última instância, teríamos a Terra, e não o Sol, como centro de referência. (HARPER, 2002, p. 178). Não entraremos, porém, nos méritos desta questão, pois ela foge ao escopo desta Dissertação.

mas que, ao expor esses fenômenos, ele ignora estes “pequenos erros”, pois eles são “insignificantes”<sup>88</sup>.

#### *Visão Geral Sobre os Fenômenos*

Como alerta French, no tocante a esses seis fenômenos, há dois detalhes importantes para se observar: (a) Newton não menciona diretamente a primeira lei de Kepler entre eles e (b) não apresenta uma instância da terceira lei para a Lua. Esses dois pontos serão investigados mais adiante, a saber, quando formos analisar a Proposição III do livro III.

Após esse contato inicial com as Regras para Filosofas e os Fenômenos, podemos, finalmente, passar ao argumento para a gravitação universal.

### **2.4. O Argumento Propriamente Dito**

O corpo do argumento em si, estritamente falando, abarca somente as Proposições de I a VII do livro III do *Principia*; sua construção, no entanto, como já dissemos, depende de alguns pressupostos presentes nos livros I e II. Por esse motivo, ao longo da nossa análise das sete Proposições do livro terceiro, citaremos, também, esses pressupostos dos dois livros anteriores.

#### 2.4.1. INFERÊNCIAS DOS FENÔMENOS

##### 2.4.1.a. *As Luas de Júpiter*

*Proposição I.* Que as forças pelas quais os planetas circunjovianos [ou satélites de Júpiter] são continuamente afastados de um movimento retilíneo e mantidos em suas órbitas adequadas tendem até o centro de Júpiter e são inversamente proporcionais aos

---

<sup>88</sup> Cf. NEWTON. *Principia*, p. 470.

quadrados das distâncias dos lugares de ditos planetas àquele centro. (NEWTON. *Principia*, p. 471)

A Proposição I diz respeito aos satélites de Júpiter. Ela é composta de duas partes: a primeira enuncia que a força exercida por Júpiter sobre os seus satélites é centrípeta; a segunda afirma que tal força varia numa razão inversa aos quadrados das distâncias dos lugares desses satélites ao centro de Júpiter.

Segundo Newton, a primeira parte desta proposição é obtida por meio do Fenômeno I (mais precisamente, pela sua primeira parte, de acordo com a qual os satélites de Júpiter obedecem à lei de áreas) e das Proposições 2 ou 3<sup>89</sup> do Livro I (Cf. *Principia*, pp. 74 e 77, respectivamente), nas quais é demonstrado que se um corpo satisfaz a lei de áreas isso implica que a força que o mantém em sua órbita é dirigida para o centro com respeito ao qual ele varre áreas iguais em tempos iguais<sup>90</sup>. Neste ponto, cabe interromper a seqüência do argumento de Newton e considerar duas relevantes questões: (a) uma diz respeito à importante (e antiga conhecida dos comentadores de Newton) diferença entre as Proposições 2 e 3— a primeira aplica-se ao movimento de corpos em torno de um ponto (como centro) em movimento retilíneo uniforme<sup>91</sup>; a segunda, mais ampla, por assim dizer, considera um centro em movimento em geral (“movido de alguma forma”); (b) outra, como bem observa Steven French, é que deve haver alguma hipótese auxiliar “invocada aqui para conectar movimentos [no caso, movimentos em torno de Júpiter] e forças [forças centrípetas]” (FRENCH, 1989,

---

<sup>89</sup> Aqui, consideramos importante fazer uma pequena observação (de ordem técnica): todas as proposições e, também, corolários que aparecem nos três livros do *Principia*, apresentam numeração em algarismos romanos. Nós, porém, faremos, aqui neste Segundo Capítulo da Dissertação, algumas alterações quanto a isto, e as apresentaremos com numeração em arábicos, quando pertencerem aos livros I e/ou II; quando pertencentes ao livro III, a forma original será mantida, isto é, a sua numeração em romanos. Isso, segundo pensamos, irá evitar possíveis confusões por parte do leitor e, assim, facilitará a sua leitura do nosso texto.

<sup>90</sup> Steven French, mais uma vez, apresenta um estilo bastante direto e diz: “se a Segunda Lei de Kepler é satisfeita, então [,] uma força centrípeta deve estar agindo” (FRENCH, 1989, p. 38).

<sup>91</sup> Para sermos mais precisos, devemos dizer que a Proposição 2 considera um centro em repouso ou em movimento retilíneo uniforme.

p. 38). Segundo French, isto é evidentemente fornecido pela Segunda Lei do Movimento, a qual afirma ser a mudança de movimento proporcional à força motora imprimida ao corpo, e produzida na direção da linha reta na qual aquela força é impressa (*Cf. Principia*, p. 41).

Voltemos ao argumento. Até o presente momento, Newton demonstrou que a lei de áreas implica em forças centrípetas; fica, assim, estabelecida a primeira parte da Proposição I do livro III. No entanto, resta ainda o ponto referente à sua segunda parte, onde se fala da magnitude de tais forças. Esta parte é estabelecida por meio do Fenômeno I (mais precisamente, por meio da sua segunda parte, segundo a qual os satélites de Júpiter obedecem à lei harmônica) e do Corolário 6 da Proposição 4, Livro I (*Cf. Principia*, p. 80). Por este corolário, se a lei harmônica é satisfeita, então, as forças centrípetas variam inversamente aos quadrados das distâncias. Há, aqui, uma importante observação a ser feita: na Proposição 4 do livro I e, por extensão, também no seu sexto corolário, Newton analisa corpos com movimentos circulares. Assim, ao utilizar tal corolário para determinar a segunda parte da Proposição II, ele estaria pressupondo que os satélites de Júpiter descrevem órbitas circulares. Dito de outra forma, Newton utiliza dados idealizados (pois as órbitas dos corpos do sistema solar são elípticas). Isso, como veremos mais adiante, vai se transformar num ponto suscetível a críticas por parte dos comentadores.

Por fim, Newton acrescenta que tudo o que foi estabelecido para os satélites de Júpiter pode também, por meio do Fenômeno II, ser afirmado com relação aos satélites de Saturno: “Isto se aplica igualmente, pelo Fenômeno II, aos planetas que giram ao redor de Saturno” (*Principia*, p. 471).

#### 2.4.1.b. *Os Planetas Primários*

*Proposição II.* Que as forças pelas quais os planetas primários são continuamente afastados do movimento retilíneo e mantidos em suas órbitas adequadas tendem até o Sol e são inversamente proporcionais aos quadrados das distâncias dos lugares de ditos planetas ao centro do Sol. (*Principia*, p. 471)

A Proposição II afirma algo similar ao que foi dito na proposição anterior e, assim como ela, também apresenta duas partes<sup>92</sup>. No entanto, aplica-se ao Sol e os cinco planetas primários<sup>93</sup>: (primeira parte) a força que o Sol exerce sobre esses planetas é centrípeta e (segunda parte) varia inversamente aos quadrados das distâncias dos lugares de tais planetas ao centro do Sol.

A sua primeira parte Newton estabelece por meio do Fenômeno V (que, como visto anteriormente, é uma instância da lei de áreas para esses cinco planetas) e da Proposição 2 do Livro I (analisada acima); a segunda parte ele obtém a partir do Fenômeno IV (segundo o qual os cinco planetas primários obedecem à lei harmônica) e do Corolário 6 acima citado. Além disso, Newton afirma que esta segunda parte da Proposição II é demonstrada “com grande exatidão” pelo fato de que os pontos do afélio estão em repouso<sup>94</sup>.

Essas duas primeiras proposições do livro terceiro do *Principia* envolvem dois problemas importantíssimos e há muito conhecidos: (a) o primeiro diz respeito a Newton ter usado somente a Proposição 2<sup>95</sup> do livro I ao estabelecer a direção centrípeta das forças para os planetas primários (*Cf.* Proposição II do livro III); isso implicaria que o movimento do Sol é inercial. O problema é saber se Newton tinha argumentos para

---

<sup>92</sup> Além disso, como veremos a seguir, essas duas partes constituintes da Proposição II são obtidas utilizando-se uma estratégia idêntica àquela empregada para se chegar a Proposição I.

<sup>93</sup> Mercúrio, Vênus, Marte, Júpiter e Saturno, que, pelo Fenômeno III, “giram em suas diversas órbitas ao redor do Sol” (*Principia*, p. 468).

<sup>94</sup> *Cf.* *Principia*, p. 472. Entretanto, tal questão foge ao escopo desta Dissertação e, portanto, não iremos aqui analisá-la.

sustentar tal suposição; (b) a outra questão está relacionada ao fato de que, ao utilizar o Corolário 6 da Proposição 4, Livro I, para estabelecer que as forças centrípetas (das Proposições I e II do livro III) variam inversamente com o quadrado das distâncias, Newton estaria pressupondo órbitas circulares. A questão apresenta dois pontos importantes: (b1) nota-se a ausência de uma instância da primeira lei de Kepler entre os fenômenos, a qual descreve os movimentos verdadeiros dos planetas, a saber, órbitas elípticas, e que (b2), em seu lugar, Newton faz uso de dados idealizados, empregando órbitas circulares.

Quanto ao primeiro problema (a), Clark Glymour defende que a Proposição XIV do Livro III e seus dois corolários (*Cf. Principia*, p. 489), que versam sobre a natureza fixa dos afélios e nodos das órbitas dos planetas, poderiam ser evocados como argumentos “convincentes e poderosos” a favor do movimento inercial do Sol<sup>96</sup>. De nossa parte, a exemplo do que faz French neste ponto, não entraremos nos detalhes desta questão. Ela nos afastaria do nosso objetivo principal: analisar as *estratégias* que Newton utiliza no seu argumento para a lei de gravitação universal.

Consideremos agora o segundo problema (b). Quanto ao seu primeiro ponto (b1), ao que tudo indica, parece que Newton não inclui entre os fenômenos uma instância da primeira lei de Kepler porque, na época em que o *Principia* foi escrito, esta lei não era tão bem estabelecida como as outras duas<sup>97</sup>. Assim sendo, ele preferiu (b2) lançar mão de dados idealizados, empregando órbitas circulares (órbitas falsas) em detrimento das elípticas (as órbitas verdadeiras). Contudo, Newton procura manter a correspondência dos resultados obtidos<sup>98</sup> (a partir desses dados falsos) com a nossa “realidade” utilizando um argumento de correção, que tem esta forma condicional: *se a*

---

<sup>95</sup> Proposição que, como visto acima, diferentemente da Proposição 3 (referente a um centro em movimento em geral) do Livro I, aplica-se a um centro em movimento retilíneo uniforme.

<sup>96</sup> *Cf.* GLYMOUR, 1980, p. 213.

<sup>97</sup> Para maiores detalhes a este respeito, *Cf.* FRENCH, p. 39.

conclusão não fosse verdadeira, *então*, haveria certa conseqüência; mas, tal conseqüência não é de fato observada. Assim, se as forças centrípetas variassem numa proporção minimamente diferente do inverso do quadrado das distâncias, ocorreria um movimento considerável das apsides; mas, tal movimento não é de fato observado. Esse argumento serve, portanto, para legitimar todo o processo de raciocínio imediatamente anterior a ele<sup>99</sup>.

### *Forma Geral dos Argumentos para as Proposições I e II*

Considerando-se, finalmente, a forma geral dos argumentos apresentados nas Proposições I e II, tem-se que: instâncias da lei de gravitação universal (forças centrípetas e inversamente quadráticas), referentes aos corpos do sistema solar, são deduzidas de dados observacionais (os Fenômenos I, II, IV e V) idealizados (órbitas circulares). Ao final dessa etapa, é apresentado um argumento corretivo (da forma *se... então*), a fim de que a correspondência com a “realidade” (as órbitas dos planetas são, na verdade, elipses) seja mantida.

Após ter demonstrado que os satélites de Júpiter e Saturno, e os planetas em geral, estão sujeitos a forças centrípetas e inversamente quadráticas, Newton irá, por meio de uma análise do movimento da Lua, identificar essas forças com a força de gravidade. Isso será feito na Proposição III.

---

<sup>98</sup> A saber, que as forças centrípetas variam inversamente com o quadrado das distâncias.

<sup>99</sup> Uma interpretação similar a esta pode ser encontrada em: FRENCH, 1989, p. 39; Glymour e Hesse, por sua vez, apontam para uma outra possibilidade: apesar de, num primeiro momento, Newton estabelecer seus resultados admitindo órbitas circulares, posteriormente (na Proposição XIII do Livro III [Cf. *Principia*, p. 487]), ele demonstra sua ligação com as elípticas (Cf. GLYMOUR, 1980, p. 208, e HESSE, 1961, p. 144).

## 2.4.2. A UNIFICAÇÃO DAS FORÇAS

### 2.4.2.a. A Lua

*Proposição III.* Que a força pela qual a Lua é mantida em sua órbita tende até a Terra e é inversamente proporcional ao quadrado da distância de seu lugar ao centro da Terra. (*Principia*, p. 472)

Newton afirma que a primeira parte (sobre a força centrípeta na Lua) desta proposição decorre do Fenômeno VI (pelo qual a Lua obedece à lei de áreas) e das Proposições 2 ou 3 do Livro I acima citadas (elas dizem que, se a lei de áreas é satisfeita, então, uma força centrípeta deve estar agindo). Como se pode ver, para estabelecer esta primeira parte da proposição, o autor utiliza a mesma estratégia que havia empregado para obter as primeiras partes das Proposições I e II. Porém, por não haver entre os fenômenos uma instância da lei harmônica para o caso da Lua<sup>100</sup>, a estratégia para se obter a segunda parte (a variação inversamente quadrática da força centrípeta) da Proposição III terá que ser diferente daquela utilizada nas duas proposições anteriores. Assim, o argumento será baseado no “movimento muito lento” (*Principia*, p. 472) do apogeu da Lua, apenas 3 graus e 3 minutos por revolução. Acompanhemos, então, o raciocínio de Newton:

Pelo Corolário 1 da Proposição 45, Livro I (*Cf. Principia*, p. 189), esse movimento do apogeu implica que força centrípeta na Lua varia inversamente a  $2 \frac{4}{243}$  potência da sua distância ao centro da Terra, valor este que, como Newton salienta, é  $59 \frac{4}{3}$  vezes mais próximo do quadrado do que do cubo de dita distância. Na seqüência, ele afirma que tal movimento pode ser ignorado, porque é devido à ação do Sol. Neste ponto, outro corolário é invocado (desta vez, o Corolário 2 da Proposição 45, Livro I [*Cf. Principia*, p. 189]) para mostrar que a força decorrente dessa ação do Sol sobre a Lua é  $178 \frac{24}{40}$  vezes menor que a força centrípeta que a retém em sua órbita e que, se

---

aquela for ignorada, então, esta variará como se requer, isto é, inversamente ao quadrado da distância do lugar da Lua ao centro da Terra. Newton acrescenta, ainda, que isto será mais bem compreendido quando esta força for comparada com a força da gravidade, o que ele fará na proposição seguinte (Proposição IV, do Livro III).

### *Forma Geral do Argumento para a Proposição III*

Tem-se, portanto, na Proposição III, um argumento da seguinte forma: do movimento observado do apogeu lunar ( $3^{\circ}$  e  $3''$  por revolução) Newton deduz (utilizando o Corolário 1 da Proposição 45, livro I) que a força que o causaria deve variar inversamente a  $2 \frac{2}{243}$  potência, o que é apenas “um pouco maior que o quadrado inverso” (*Principia*, p. 472). Em seguida, esta diferença é explicada por um “argumento corretivo” (para tanto, outro corolário é utilizado: o Corolário 2 da Proposição 45, livro I). Este mostra que, se a força realmente variar com o quadrado inverso da distância, então, pressupondo-se a que a discrepância observada é devido à ação do Sol (o que funciona como uma hipótese auxiliar), o movimento de  $3^{\circ}$  e  $3''$  pode ser explicado. É importante observar que, neste ponto, Newton apela para um dado ainda não estabelecido, pois o que ele assume aqui como pressuposto, a saber, que o Sol exerce influência sobre a Lua, só será demonstrado na Proposição XXV do livro III (o que, obviamente, depende da lei de gravitação universal [*Cf. Principia*, p. 509]). Assim, por esta análise da Proposição III do livro terceiro, é interessante notar que, nesta parte do argumento, Newton está se apoiando na lei de gravitação universal antes mesmo de ela ter sido estabelecida.

---

<sup>100</sup> O que já havíamos anunciado por ocasião nossa discussão dos seis Fenômenos.

#### 2.4.2.b. *Gravitação em direção à Terra*

*Proposição IV.* Que a Lua gravita até a Terra e é continuamente afastada de um movimento retilíneo e mantida em sua órbita pela força da gravidade. (*Principia*, p. 473)

Newton começa a demonstração desta proposição citando alguns dados, provenientes de observações astronômicas, com base nos quais ele assume uma distância média da Lua à Terra e, além disso, chega ao período da Lua e a medida da circunferência da Terra. Em seguida, todos esses valores são cruzados com a Proposição 36 do livro I (*Cf. Principia*, p. 164), a qual permite que se determine o tempo de queda de um corpo abandonado de um determinado lugar. Assim, mediante cálculos baseados nesta proposição, Newton conclui que, se a Lua fosse descer até a Terra com o impulso de sua força centrípeta, ela cairia 15 pés, 1 polegada e  $1 \frac{4}{9}$  linha em 1 segundo<sup>101</sup>. Na seqüência, ele apresenta dados obtidos por Huygens em experimentos realizados com pêndulos e, a partir desses dados, conclui que a força da gravidade faz um corpo situado na superfície da Terra cair 15 pés, 1 polegada e  $1 \frac{7}{9}$  linha em um segundo. Isso o leva assumir o valor da força centrípeta na Lua (isto é, “a força pela qual a Lua é mantida em sua órbita”) como sendo “igual” ao valor da força da gravidade na superfície da Terra (“a força de gravidade que observamos aqui nos corpos pesados”)<sup>102</sup>. O autor faz, então, um apelo explícito às suas duas primeiras Regras para Filosofar e, assim, infere que a força que retém a Lua em sua órbita é a gravidade terrestre: “Consequentemente (pelas Regras I e II), a força pela qual a Lua é mantida em sua órbita é precisamente a mesma força que comumente chamamos gravidade” (*Principia*, p. 474).

Para validar a inferência acima realizada, ele apresenta novamente, a exemplo do que havia feito antes, um argumento corretivo, que tem forma condicional: se a força

---

<sup>101</sup> Segundo o autor, o mesmo resultado poderia ser obtido utilizando-se o Corolário 9 da Proposição 4, livro I (*Cf. Principia*, p. 81).

<sup>102</sup> *Cf. Principia*, p. 474.

centrípeta não fosse a mesma força de gravidade, então, a velocidade de queda dos corpos seria o dobro do valor observado, pois estes estariam sujeitos ao impulso combinado das duas forças, mas isto não é de fato observado (“contradiz completamente a experiência”)<sup>103</sup>. Resta, portanto, concluir que as duas forças são uma única e mesma força: a gravidade.

O valor médio da distância Lua-Terra que Newton usa para realizar os cálculos acima é de 60 semi-diâmetros da Terra, ainda que, ao apresentar os dados astronômicos no início da proposição, considere 60  $\frac{1}{2}$  semi-diâmetros o valor mais exato<sup>104</sup>. Ao final desses seus cálculos, porém, ele afirma ter-se baseado na “hipótese de que a Terra está imóvel” (*Principia*, p. 474); mas, se tanto esta como a Lua forem consideradas como se movendo em torno do Sol e, simultaneamente, em torno de seu centro comum de gravidade, então, a distância entre elas (isto é, do lugar da Lua ao centro da Terra) será de 60  $\frac{1}{2}$  semi-diâmetros da Terra. Segundo ele, isto pode ser determinado mediante cálculos dados na Proposição 60 do livro I (*Cf. Principia*, p. 212).

Um dos pontos que mais chamam a atenção dos comentadores, no argumento para a Proposição IV, é o uso que Newton faz das Regras I e II. Como observa French, elas são usadas para se “passar da igualdade em magnitude à igualdade no sentido ontológico, de ser a mesma *coisa*, a mesma força”<sup>105</sup>. Uma consequência direta deste processo é que, ao identificar a força centrípeta que mantém a Lua em sua órbita com a gravidade terrestre, Newton transforma a noção de gravidade terrestre, fazendo-a, a

---

<sup>103</sup> *Cf. Principia*, p. 475.

<sup>104</sup> Uma discussão detalhada sobre este ponto pode ser encontrada em BALL, 1972, pp. 15-7.

<sup>105</sup> De um ponto de vista mais recente “talvez pareça que Newton está superjustificando seu argumento, e que a igualdade em magnitude já seria suficiente para mostrar que as forças são as mesmas”. No entanto, essa não era a visão de Newton e seus contemporâneos. (FRENCH, 1989, p. 43)

partir de então, variar inversamente com o quadrado das distâncias ao centro da Terra<sup>106</sup>.

#### *Forma Geral do Argumento para a Proposição IV*

Tomando em consideração, agora, a forma geral do argumento para esta quarta proposição, tem-se que: apoiado em dados (a distância média Lua-Terra como sendo 60 semi-diâmetros da Terra) e uma pressuposição (que a Terra está em repouso) idealizados, Newton demonstra, com o auxílio de duas hipóteses auxiliares (a Proposição 36 do livro I e o Corolário 9 da Proposição 4, também do livro primeiro), a igualdade (idealizada<sup>107</sup>) das forças centrípeta e gravitacional. Ele invoca, então, as Regras para Filosofar do Raciocínio (mais precisamente, as Regras I e II) para passar desta igualdade de magnitude à identidade ontológica (a força centrípeta é a força gravitacional). Ao final do processo, a pressuposição idealizada é então “corrigida” de modo que corresponda à realidade (considera-se a Terra [e a Lua] como se movendo, ao mesmo tempo, em torno do Sol e do seu centro [comum] de gravidade). Isto confere aos dados observacionais um valor mais exato (a distância Lua-Terra é de 60 ½ semi-diâmetros da Terra). No entanto, esta última parte do argumento pressupõe a própria lei de gravitação universal, que ainda não foi estabelecida. Como se isso não bastasse, “nenhuma demonstração é dada, de fato, de que esse dado mais exato levaria ao mesmo resultado” (FRENCH, 1989, p. 44).

---

<sup>106</sup> Cf. HARPER, 2002, p. 183, onde, além de considerações sobre este procedimento de Newton, encontramos, ainda, indicações das críticas que isso despertou nos opositores da teoria da gravitação.

<sup>107</sup> Pois há de fato uma diferença, ainda que pequena, entre as forças, como podemos ver acima, no início da discussão sobre a proposição.

### 2.4.3. GENERALIZAÇÃO POR INDUÇÃO

#### 2.4.3.a. A Segunda Unificação

*Proposição V.* Que os planetas circunjunvianos gravitam até Júpiter, os que circundam Saturno até Saturno, os que circundam o Sol até o Sol, sendo afastados do movimento retilíneo e mantidos em órbitas curvilíneas pelas forças de sua gravidade. (*Principia*, p. 475).

Esta quinta proposição é uma generalização do resultado anterior, obtido na Proposição IV, segundo a qual a Lua gravita até a Terra e a força centrípeta que a mantém em sua órbita é a gravidade. Assim, a Proposição V enuncia que as luas de Júpiter gravitam para Júpiter, os satélites de Saturno para Saturno e os planetas para o Sol, e identifica as forças centrípetas que mantêm tais corpos em suas respectivas órbitas com as forças de sua gravidade. Esta generalização é, portanto, uma segunda unificação<sup>108</sup>: todos esses fenômenos orbitais são devidos a forças gravitacionais.

O argumento para a proposição é que os fenômenos orbitais nela citados apresentam o “mesmo aspecto” que a revolução da Lua em torno da Terra e, portanto, pela Regra II (a qual diz que se deve atribuir, tanto quanto seja possível, aos mesmos efeitos as mesmas causas) devem também obedecer a “mesma espécie” de causas (que a Proposição IV mostrou ser a força da gravidade). Mas o que exatamente Newton entende por “mesmo aspecto” ao comparar ditos fenômenos com a revolução da Lua ao redor da Terra? Isso fica claro na seqüência do texto:

[Tem-se] demonstrado que as forças de que dependem ditas revoluções tendem até o centro de Júpiter, Saturno e o Sol [assim como a força que mantém a Lua em sua órbita tende para o centro da Terra], e que ditas forças, ao afastar-se de Júpiter, Saturno e o Sol, decrescem na mesma proporção e obedecendo a mesma lei que a força da gravidade [no caso da Lua] ao afastar-se da Terra [isto é, numa razão inversa quadrática]. (*Principia*, p. 476)

---

<sup>108</sup> A primeira, como visto na proposição anterior, foi a identificação da força centrípeta que mantém a Lua em sua órbita com a gravidade terrestre.

Logo em seguida, no primeiro corolário (Corolário I) da Proposição V, aparece a conclusão do argumento: “Existe, conseqüentemente, uma força de gravidade que tende até todos os planetas” (*Principia*, p. 476). Soma-se a isto a seguinte consideração: “pois é *indubitável* que Vênus, Mercúrio e os demais são corpos da mesma espécie que Júpiter e Saturno” (*Principia*, p. 476. [grifo nosso]). Segundo Steven French, “rigorosamente falando” esta seria uma falsa suposição, pois Vênus e Mercúrio não possuem satélites. Assim, poderia parecer-nos, ao menos num primeiro momento, que, neste ponto, é requerida ainda outra regra de inferência para legitimar a suposição. Contudo, como o próprio French adverte, não se pode esquecer de que para a astronomia da época de Newton, “possuir satélites era considerada uma propriedade accidental dos planetas, os quais teriam, essencialmente, a mesma forma” (FRENCH, 1989, p. 44).

Ainda no Corolário I, Newton faz uso da Terceira Lei do Movimento para ampliar ainda mais a sua conclusão, estabelecendo que os satélites também exercem forças gravitacionais em seus planetas, os planetas no Sol, etc. Cito: “E posto que toda atração (pela Lei III) é mútua, Júpiter gravitará, conseqüentemente, até todos os seus satélites, Saturno até todos os seus, a Terra até a Lua e o Sol até os planetas primários” (*Principia*, p. 476).

No Corolário II, por sua vez, o autor enuncia que “[a] força da gravidade que tende até qualquer planeta é *inversamente proporcional ao quadrado da distância* dos lugares ao centro de dito planeta” (*Principia*, p. 476. [grifos nossos]). Neste ponto, a identificação da força da gravidade com a força centrípeta (o que ficou estabelecido na proposição IV) permite e legitima a sua atitude de inferir que essa força varia numa razão inversa quadrática.

Finalmente, o Corolário III afirma (com base nos dois corolários anteriores) que “todos os planetas gravitam uns até os outros” e que isso “perturba sensivelmente” as suas órbitas e nosso mar<sup>109</sup>. Contudo, como Glymour nota, “nenhuma instância foi dada de um planeta exercendo força gravitacional em outro; se nós formos rigorosos, Newton teria oferecido, no máximo, instâncias parciais” (GLYMOUR, 1980, p. 219)<sup>110</sup>. Assim, nesta parte do argumento, estaria faltando algo que permita esse passo indutivo.

Isso conclui a primeira etapa da “dedução” de Newton como um todo. Ele alega ter demonstrado que todos os corpos do sistema solar gravitam uns em direção aos outros com uma força que varia com o quadrado da distância. A segunda parte da “dedução”, onde será demonstrado que tal força é proporcional às massas dos corpos, começa com a Proposição VI e culmina na Proposição VII.

#### *Forma Geral do Argumento para a Proposição V*

Analisando, agora, a forma geral da Proposição V, observa-se que: o resultado obtido na Proposição IV (que a força responsável por manter a Lua em sua órbita é a força da gravidade) é aqui generalizado (com o auxílio da Regra II e a Terceira Lei do Movimento) para todos os planetas (eles são mantidos em suas órbitas pelas forças de sua gravidade). Contudo, alguns comentadores apresentam alguma reserva no que diz respeito a algumas pressuposições que Newton assume (Vênus, Mercúrio e os demais corpos do sistema solar como sendo da mesma espécie que Júpiter) e a um “salto indutivo” que ele realiza (*Cf.* as opiniões de Glymour e French sobre o Corolário III).

---

<sup>109</sup> *Cf.* NEWTON. *Principia*, p. 476.

#### 2.4.3.b. *Peso Proporcional à Massa*

*Proposição VI.* Que todos os corpos gravitam até todos os planetas, e que os pesos dos corpos até qualquer planeta, a distâncias iguais do centro do planeta, são proporcionais às quantidades de matéria que respectivamente contêm. (*Principia*, p. 477)

A sexta proposição enuncia que todos os corpos gravitam em direção a todos os planetas, sendo que o peso, ou força gravitacional, de qualquer corpo em direção a um planeta é proporcional à quantidade de matéria que o corpo contém.

Newton dará início ao argumento para a proposição tratando da gravitação em direção à Terra. Com base em seus experimentos com pêndulos constituídos de diferentes tipos de materiais, ele conclui que “Corpos pesados de toda índole [...] descem até a Terra, *desde alturas iguais*, em tempos iguais” (*Principia*, p. 477). Tem-se, portanto, que a aceleração dos corpos em direção à Terra é independente de suas massas. Em seguida, apoiando-se no que foi estabelecido na Proposição V, que a natureza da gravidade para os planetas é a mesma que para a Terra, ele sustenta que esta mesma conclusão seria obtida caso corpos terrestres fossem levados até a órbita da Lua e, uma vez lá, “privados com a Lua de todo movimento” (*Principia*, p. 477), fossem liberados e caíssem com ela até a Terra. No entanto, quando vai generalizar esses resultados para os satélites de Júpiter, Saturno e os planetas em geral, a estratégia utilizada terá de ser um pouco diferente. Vejamos:

Newton começa tratando dos satélites de Júpiter e, para tanto, apela para a lei harmônica: uma vez que esses satélites obedecem a tal lei, suas acelerações em direção a Júpiter devem variar com o inverso do quadrado de suas distâncias até o centro do referido planeta. Isso significa que tais acelerações são iguais a distâncias iguais. Portanto, a exemplo do que ocorre na Terra com os corpos pesados, a aceleração desses satélites até Júpiter também independe de suas massas. Na sequência, para melhor

---

<sup>110</sup> Uma opinião semelhante pode ser encontrada em FRENCH. A estrutura do argumento de Newton para

estabelecer a sua conclusão, Newton oferece ainda um argumento de suporte, o qual tem uma forma condicional: se a atração do Sol sobre os satélites de Júpiter fosse diferente, a distâncias iguais, da atração do Sol sobre Júpiter, então, as órbitas desses satélites apresentariam uma excentricidade “muito sensível”, o que não é o caso, pois “as órbitas dos satélites são concêntricas a Júpiter” (*Principia*, p. 478). Isso mostra que as acelerações de Júpiter e seus satélites até o Sol são iguais entre si e, portanto, que elas independem de suas massas. Neste argumento de suporte, são utilizados, como hipóteses auxiliares, os Corolários 2 e 3 da Proposição 65, Livro I (*Cf. Principia*, p. 218), os quais tratam dos efeitos de perturbações no movimento dos corpos, baseando-se, para isto, em uma lei do inverso do quadrado das distâncias. Um argumento semelhante ao acima exposto será, então, aplicado aos planetas que orbitam o Sol: se eles caíssem em direção ao Sol, a partir de distâncias iguais, exibiriam acelerações iguais. Isso, mais uma vez, permite a conclusão de que tais acelerações independem das massas desses planetas.

O fechamento do argumento para a Proposição VI se dá seguinte maneira: com uma aplicação simples da Segunda Lei do Movimento, a qual funciona aqui como uma outra hipótese auxiliar, Newton chega à conclusão de que “as forças que aceleram igualmente corpos desiguais [...] terão que ser como suas diversas quantidades de matéria” (*Principia*, p. 478). Em outras palavras, as forças gravitacionais que agem sobre os planetas e seus satélites têm que ser proporcionais às suas respectivas massas.

Retomando, agora, a seqüência do raciocínio referente a esta proposição, vê-se que: Newton parte de experimentos realizados na Terra e chega, finalmente, a uma conclusão que diz respeito a *todos os planetas* e seus satélites; contudo, ele ainda não estabeleceu seu resultado para *todos os corpos*. Isto não será feito no corpo principal da

---

a lei da gravitação universal, *Cadernos de História e Filosofia da Ciência*, 1989, p. 45.

proposição, mas somente no Corolário II que a sucede, momento em que Newton fará uso da sua Terceira Regra do Raciocínio: “Todos os corpos situados em torno da Terra, sem exceção, gravitam até a Terra, e os pesos de todos eles são, a distâncias iguais ao centro da Terra, como as quantidades de matéria que respectivamente contêm”. Neste ponto, ele invoca a Regra III para realizar uma indução e, assim, estender o seu resultado para todos os corpos: “Esta é a qualidade de todos os corpos acessíveis a nossos experimentos e, conseqüentemente (pela Regra III), pode afirma-se de todo corpo” (*Principia*, p. 479), estabelecendo, desta forma, uma conclusão para *todos os corpos*, conforme enunciava a Proposição VI– “[...] que os pesos dos corpos até qualquer planeta, a distâncias iguais do centro do planeta, são proporcionais às quantidades de matéria que respectivamente contêm” (*Principia*, p. 477).

#### *Forma Geral do Argumento para a Proposição VI*

Levando em consideração a forma geral da Proposição VI, tem-se o seguinte: partindo de experimentos realizados na Terra apenas (os experimentos com pêndulos), Newton opera uma indução (utilizando a Regra III) e, assim, conclui que os pesos de todos os corpos são proporcionais as suas massas. Como nota French, “rigorosamente falando [...], isto [a indução feita pelo uso da Regra III] é tudo [...] de que Newton realmente precisa [para estabelecer seu resultado]”. Contudo, ele parece ter julgado necessário lançar mão de um argumento de suporte (da forma se... então) quando tratou de Júpiter e seus satélites, ocasião em que utiliza, ainda, duas hipóteses auxiliares (os Corolários 1 e 2 da Proposição 65, Livro I).

#### 2.4.4. GRAVITAÇÃO EM DIREÇÃO À TERRA

##### 2.4.4.a. O Ponto Alto da “Dedução”

*Proposição VII.* Que o poder de gravidade pertence a todo corpo em proporção à quantidade de matéria que cada um contém. (*Principia*, p. 480).

Surge, finalmente, a Proposição VII. Ela enuncia que existe uma força de gravidade atuando em todos os corpos e que tal força é proporcional às suas massas.

Newton abre o argumento para a proposição afirmando ter já estabelecido anteriormente que todos os planetas gravitam mutuamente um em direção ao outro (*Cf.* Corolário III da Proposição V, livro III) e, também, que a força de gravidade em direção a cada um deles, considerada isoladamente, obedece à lei do inverso do quadrado da distância (*Cf.* Corolário II da Proposição V, também do terceiro livro). Disso, ele conclui que a força gravitacional em todos os planetas é proporcional às suas massas. Para tanto utiliza a Proposição 69 do livro I (e seus corolários [*Cf. Principia*, p. 236-7]), segundo a qual dado um sistema de vários corpos A, B, C, D, etc., se um deles, digamos A, atrai os demais, B, C, D, etc., com uma força acelerativa inversamente quadrática, e um outro corpo, B, por exemplo, faz o mesmo, então, com base em um argumento similar ao oferecido na Proposição VI (envolvendo forças iguais a distâncias iguais e a Segunda Lei do Movimento), tem-se que a razão das forças entre A e B será a razão de suas massas. Este resultado é, então, estendido aos demais corpos do sistema pelos Corolários 1, 2 e 3 da mesma proposição 69.

Prosseguindo com seu argumento para a sétima proposição, Newton diz que, além do acima exposto, dado que todas as partes de qualquer planeta A gravitam em direção a qualquer outro planeta B, sendo a razão da força de gravidade do todo para aquela parte igual à razão de suas massas, e dado, ainda, que (pela Terceira Lei do Movimento) a cada ação corresponda uma reação, então, o planeta B gravitará em direção a todas as partes do planeta A, e a razão entre a atração gravitacional em direção

a qualquer parte e a atração em direção ao todo será igual à razão entre as massas das partes e a massa do todo. Com isso Newton pretende ter estabelecido a Proposição VII. Contudo, atendo-se apenas ao corpo principal da proposição, vê-se que ela não diz nada sobre a força variar com o inverso do quadrado da distância. Tal referência só irá aparecer no seu segundo corolário<sup>111</sup>, o Corolário II, pelo qual a força gravitacional entre partículas “iguais” (subentende-se iguais em massa) de um corpo é inversamente proporcional ao quadrado da distância entre elas. Resultado este que, por sua vez, é estabelecido por meio de um outro corolário, o Corolário 3 da Proposição 74, livro I (Cf. *Principia*, p. 244). Este afirma que se um corpúsculo situado no exterior de uma esfera homogênea é por ela atraído com uma força que varia com o inverso do quadrado da distância em direção ao centro da mesma, e se a esfera é constituída de partículas atrativas, então, a força de cada partícula do corpúsculo diminuirá com o inverso do quadrado de sua distância a cada partícula da esfera.

Ao chegarmos, ao final da “dedução”, não podemos deixar de notar algo muito importante: Newton de fato não estabeleceu que a força gravitacional de *todos os corpos* (universalmente) é proporcional às suas massas; seu resultado abrange apenas uma classe (particular) de corpos: *os planetas e suas partes*. Para passar, então, desta instância à universalidade da proposição seria necessário utilizar a Terceira Regra do Raciocínio. Porém, isto não é feito explicitamente no corpo do texto. O curioso é que por ocasião da sua apresentação das Regras, mais precisamente, no texto que acompanha a Regra III, Newton, como já dissemos, apresenta-nos uma visão antecipada

---

<sup>111</sup> Quanto ao Corolário I, vemos que nele Newton procura enfatizar que a força de gravidade de um corpo como um todo deve surgir das forças de gravidade de suas partes componentes e, além disso, busca solucionar o problema de que, de acordo com esta lei, os corpos que nos cercam também gravitam uns até os outros, ainda que nossos sentidos não percebam nenhuma atração entre eles. No entanto, não entraremos nos detalhes referentes a este corolário, pois ele tem pouca importância no tocante ao objeto principal desta nossa análise.

de como esta regra poderia ser utilizada para induzir a forma final da lei de gravitação universal. Segue, abaixo, o trecho onde isto é feito:

[...] [constata-se] universalmente por experimentos e observações astronômicas que todos os corpos situados em torno da Terra gravitam até ela, e isto em proporção à quantidade de matéria por eles contida; que do mesmo modo a Lua, com respeito a sua quantidade de matéria, gravita até a Terra e que, por outra parte, nosso mar gravita até a Lua, como todos os planetas uns com respeito aos outros, e que os cometas gravitam até o Sol; *devemos* [portanto] *como consequência desta regra admitir universalmente que todos os corpos sem exceção são dotados de um princípio de gravitação mútua.* (*Principia*, p. 463 [grifos nossos])

Assim, causa grande estranheza o fato de Newton ter indicado como utilizar a Regra III para estabelecer a lei de gravitação universal antes mesmo do início da “dedução”, mas, não tê-la aplicado na parte do argumento onde ela é de fato requerida. Frente a isso, uma possível solução seria dizer que a Regra III está implicitamente presente, mas, como nota Steven French, “atribuições implícitas não tomam parte em raciocínios formais, a menos que possam ser reveladas explicitamente; há [portanto] uma lacuna formal aqui” (FRENCH, 1989, p. 49). É claro que este problema pode ser contornado evocando-se a referida Regra em uma reconstrução simples do argumento<sup>112</sup>, mas isso não muda o fato de que, no texto original do *Principia*, ela não aparece explicitamente; e isso não pode ser deixado de lado no momento de se analisar a forma geral do argumento para a Proposição VII.

## **2.5. Considerações Finais do Segundo Capítulo**

Após analisarmos as Proposições de I a VII do livro III, as quais constituem o corpo do argumento para a lei de gravitação universal, podemos, finalmente, entender o que Newton pretende ao afirmar, no Escólio Geral, que seu princípio de gravitação— o qual opera “segundo a quantidade de matéria *sólida* [massa], e cuja ação se estende por

---

<sup>112</sup> Como o fazem, geralmente, os comentadores.

todos os lados [...], decrescendo sempre na razão duplicada das distâncias” (*Principia*, 1972, v.2, p. 764)– foi “*deduzido* a partir dos fenômenos”<sup>113</sup> (*Ibidem* [grifo nosso]). Dita “dedução” combina uma mistura complicada de várias estratégias; em determinados pontos do argumento, Newton utiliza, ainda, algumas “hipóteses” auxiliares e argumentos corretivos (de tipo condicional) planejados para operar conjuntamente com dados observacionais idealizados, regularizando o seu uso.

Assim, por meio dessa dedução a partir dos fenômenos, Newton postula a gravidade enquanto um poder de agir dos corpos uns sobre os outros.

---

<sup>113</sup> Esta mesma pretensão aparece, também, em textos (“não oficiais”) do autor. Nessa direção, podemos citar, como exemplo, um outro trecho, desta vez retirado de uma carta de Newton a Oldenburg: “Você sabe que o método apropriado para a investigação das coisas é *deduzi-las das experiências*. E eu lhe disse que a Teoria que propus foi estabelecida por mim, não inferindo que é assim porque não é de outro modo, mas *derivando-a da Experiência*, concluindo positiva e diretamente” (*Apud* NEWTON. *The correspondence of Isaac Newton*, 1959-1977, v.1, p. 209 [os grifos são nossos]; *Cf.*, também, pp. 96-7).

## Capítulo III: O Problema de Newton

### 3. A Matéria Inerte versus a Atividade na Natureza

Conforme apresentado no Capítulo I desta Dissertação, para que a matéria possa ser entendida enquanto essencialmente inerte dentro da dinâmica do *Principia*, é preciso lidar com a questão nada trivial da atribuição que Newton faz a ela da *vis insita* (ou *vis inertiae*). Nesse sentido, vimos que a matéria pode ser considerada um princípio passivo do movimento na medida estrita em que todas as propriedades dessa sua *vis* derivam, em última instância, de algum tipo de passividade corporal.

Entretanto, há uma outra questão ainda mais séria a ser tratada: a postulação de uma atração gravitacional entre os corpos. Vimos, no Capítulo II, que Newton procura explicar o sistema do mundo apoiado no princípio de que os corpos se atraem mutuamente. Mas, se este é o caso, como pode a matéria ser dita passiva? Dito de outro modo: a gravidade, enquanto um poder dos corpos de agir uns sobre os outros, não seria uma propriedade essencial da matéria? Neste terceiro capítulo, pretendemos mostrar que alguns dos contemporâneos de Newton (especialmente os adeptos da física cartesiana) interpretam que o modo pelo qual o autor do *Principia* estabelece o seu princípio de gravitação universal forneceria uma resposta afirmativa a esta pergunta. Assim, esses cartesianos entendem que Newton defende a gravidade como sendo uma propriedade essencial da matéria. Veremos que este é justamente o motivo que os leva a avaliar a teoria da gravitação universal newtoniana como possuindo um caráter arbitrário e absurdo e, portanto, que não poderia ser aceita enquanto uma explicação física. Frente a isso, Newton irá negar que a gravidade seja essencial à matéria, desenvolvendo argumentos que procuram afastar as críticas dos cartesianos e, desta forma, manter a aceitabilidade de sua teoria.

### 3.1. *As Críticas dos Cartesianos à Teoria de Newton*

Embora a teoria de Newton gozasse de grande sucesso explanatório e preditivo no tocante aos fenômenos físicos, ela já nasce (em 1687, data de publicação da primeira edição do *Principia*) envolta em uma série de polêmicas que questionam a sua sustentabilidade e a sua validade. Nesse sentido, podemos citar a crítica recorrente dos cartesianos de que o princípio de gravitação universal seria uma hipótese arbitrária e absurda, como um dos pontos fundamentais dessas polêmicas. Pretendemos mostrar que tal crítica tem suas origens nas divergências metodológicas existentes entre Newton e os partidários do método das hipóteses oriundo da física de Descartes. De início, cabe observar que os principais fenômenos que Newton julgava haver explicado por meio do seu princípio de gravitação universal eram explicados, na física cartesiana— na época, a principal rival da teoria newtoniana—, pelos vórtices celeste e terrestre.

A versão da teoria de Descartes que iremos aqui considerar é aquela que ele apresenta no seu *Principia Philosophiae* (1644)<sup>114</sup>. Nesta obra, mais precisamente na Terceira Parte (“Sobre o mundo sensível”), ele expõe a sua teoria sobre o sistema do mundo, baseando-se na hipótese de que os espaços celeste e terrestre são plenos de “matéria inicial”, uma matéria fluída invisível, cujo movimento explicaria o movimento dos corpos celestes e dos objetos terrestres nela imersos. Edwin Burtt resume essa teoria da seguinte maneira:

Essa matéria inicial, forçada a uma certa quantidade de movimentos por ação divina, cai em uma série de redemoinhos ou vórtices, nos quais os objetos visíveis, como os planetas e os objetos terrestres, são arrastados ou impelidos em direção a certos pontos centrais pelas leis do movimento do redemoinho. (BURTT, 2003, p. 112)

---

<sup>114</sup> Esta versão é, sem dúvida, a mais significativa, por ser virtualmente aquela que Newton tem em mente ao fazer seus pronunciamentos mais importantes no sentido de defender a sua teoria das críticas dos cartesianos (Cf. BARRA, 1995, p. 229).

Assim, essa matéria em movimento circular ao redor do Sol seria a causa dos deslocamentos circulares aparentes que os planetas nela mergulhados realizam em torno dele. O mesmo tipo de matéria em movimento seria, igualmente, a causa da gravidade que atua nos corpos terrestres, por formar um vórtice (ou redemoinho) em torno da Terra e, desse modo, consigo arrastar os corpos em direção ao seu centro. Teríamos, portanto, uma teoria capaz de explicar o sistema físico da terra, planetas, cometas, sol e estrelas fixas, baseada na hipótese da “matéria inicial” em movimento.

Mas, quais seriam as justificativas epistemológicas dos que advogam este método hipotético presente na física de Descartes? Afinal, postular uma matéria fluida invisível, muito sutil e rarefeita, que preenche todos os espaços, parece ser, ao menos num primeiro momento, empregar uma hipótese muito pouco evidente<sup>115</sup>. De fato, não há uma evidência empírica que comprove a veracidade de tal hipótese. Todavia, isso não seria um problema do ponto de vista da teoria cartesiana, dado que Descartes em nenhum momento expressa qualquer pretensão a respeito da verdade desta e de outras hipóteses de que faz uso. Pelo contrário, ainda que possam ser reconhecidas como falsas, ele vê o seu uso como plenamente justificável, desde que as deduções feitas a partir dessas hipóteses se ponham de acordo com a experiência. Elas teriam, assim, certa utilidade para os fins da ciência. Nesse sentido, afirma Descartes:

Ainda que julguemos essas hipóteses como sendo falsas, acreditarei que terei feito o bastante se tudo aquilo que for deduzido delas estiver de acordo com as experiências: pois assim percebemos nelas tanta utilidade para a vida quanto na reflexão (*cogitatione*) da própria verdade. (*Principia Philosophiae*, 1982b, p. 98)

E ele vai ainda mais longe, assegurando que esse recurso a hipóteses que podem estar bastante distantes da verdade é, no fundo, um procedimento necessário nas explicações físicas, pois, segundo o autor, a possibilidade de se conhecer “a verdadeira

natureza deste mundo sensível” nos é vedada (Cf. *Principes de la Philosophie*, 1989, p. 122). Quanto a isso, Descartes é bastante claro:

Por aquilo que foi afirmado antes, está assegurado (*constat*) que todos os corpos do mundo são constituídos de uma única e mesma matéria, divisível em toda sorte de partes, que se encontra agora dividida em muitas partes que são movidas diversamente e têm um movimento de algum modo circular, e que sempre a mesma quantidade de movimento é conservada no universo. Mas, quais as magnitudes das partes dessa matéria, qual a velocidade em que são movidas e quais os círculos que descrevem, não podemos determinar apenas pela razão; porque essas coisas poderão ser determinadas de diferentes modos por Deus, e qual desses modos ele escolheu deverá ser ensinado pela experiência. Portanto, somos livres para supor (*assumere*) seja o que for a respeito daquelas coisas, contanto que aquilo que se segue do que supomos esteja de acordo com a experiência (*cum experientia consentiunt*). (*Idem*, p. 124)

Temos, portanto, de acordo com os padrões do método cartesiano, total liberdade para fazer suposições e inventar hipóteses, desde que aquilo que delas deduzimos esteja de acordo com a experiência, isto é, desde que elas sejam úteis para explicar os fenômenos.

Em última instância, o critério para autorizar essa postura “instrumentalista” de validação das explicações científicas era se questionar sobre a *inteligibilidade* das hipóteses empregadas e, por conseguinte, sobre a sua possibilidade de serem verdadeiras<sup>116</sup>. Nesse sentido, a teoria dos vórtices de Descartes, na medida em que atribuía à “matéria inicial” propriedades inteiramente compatíveis com as propriedades universais da substância material— quais sejam, mobilidade, divisibilidade e capacidade de transmitir movimento por meio de choques mecânicos—, seria plenamente inteligível e, portanto, totalmente aceitável enquanto uma explicação válida do sistema físico da

---

<sup>115</sup> Veremos adiante que o próprio Newton critica a hipótese cartesiana acusando-a de ser uma péssima explicação.

<sup>116</sup> Cohen nos ensina que, John Harris, no verbete “Hipótese” do seu *Lexicon Technicum* (1702), “insiste que uma hipótese deve sempre ‘ser possível’ e ‘deveria ser provável’. Daí, nenhuma hipótese deveria jamais considerar aquilo que é manifestamente absurdo” (1966, p. 37). Ainda nesse sentido, Laudan comenta que um dos critérios de Boyle para definir uma “boa hipótese” era que “[ela] não supusesse nada que fosse impossível ou absurdo” (1981, p. 43). Cabe ressaltar aqui que o “método das hipóteses” foi um procedimento que ganhou adesão quase que unânime na filosofia natural do século XVII. A este respeito Cf., novamente, LAUDAN, 1981.

terra, planetas, cometas, sol e estrelas fixas<sup>117</sup>. Assim, temos que, para os cartesianos, satisfazer o critério de inteligibilidade era condição *sine qua non* para que uma hipótese pudesse ser aceita na física.

Por outro lado, uma hipótese que não compartilhasse dessas propriedades universais acima citadas seria, para os cartesianos, uma hipótese ininteligível e, portanto, arbitrária e absurda; e conseqüentemente, pelos critérios desses cartesianos, uma tal hipótese não poderia ser aceita na física. Acontece que os adeptos da física de Descartes consideravam o princípio de gravitação universal, sobre o qual Newton sustentava toda a sua teoria explicativa do sistema do mundo, como sendo, justamente, uma hipótese ininteligível. Sendo assim, eles jamais poderiam aceitar a teoria da gravitação universal como uma explicação física válida dos fenômenos. Entre as várias versões dessa crítica dos cartesianos envolvendo o princípio de gravitação universal, consideraremos aqui aquela que apareceu numa resenha, no *Journal des Sçavans*, em 8 de agosto de 1688<sup>118</sup>, pois esta foi, muito provavelmente, a principal responsável pela resposta mais agressiva de Newton aos adeptos do método hipotético da física de Descartes<sup>119</sup>, resposta a qual analisaremos pormenorizadamente mais adiante. Passemos, então, às considerações sobre a obra de Newton presentes no jornal:

A obra do Monsieur Newton é a mecânica mais perfeita que se pode imaginar, não sendo possível fazer demonstrações mais precisas nem mais exatas do que aquelas que, nos dois primeiros livros, ele apresenta sobre a gravidade, a leveza, a elasticidade, a resistência dos corpos fluidos e sobre as forças atrativas e impulsivas que constituem o principal fundamento da Física. Mas é preciso admitir que não se pode considerar essas demonstrações senão como mecânicas, visto que o próprio autor reconhece, no final da 4ª e início da 5ª página, que não considerou seus princípios na Física, mas na simples Geometria. (Journal des Sçavans, *apud* KOYRÉ, 1968, p. 165)

---

<sup>117</sup> A esse respeito, Cf. BARRA, 1995, p. 239. Conforme veremos adiante, parece que o que esteve realmente em disputa entre Newton e os cartesianos era precisamente a inteligibilidade da gravitação universal.

<sup>118</sup> Possivelmente escrita por Pierre-Sylvian que, como conta Koyré, era “um cartesiano de estrita observância” (1968, p. 57).

<sup>119</sup> A este respeito Cf. BARRA, 1995, p. 235.

Segundo Eduardo Barra, Newton não teria nenhuma oposição a fazer ao que diz o trecho acima, pois este está em plena conformidade com aquilo que ele toma como sendo o objetivo dos dois primeiros livros do *Principia*, onde procura tratar seus objetos a partir de princípios “retirados das matemáticas” segundo o método da “mecânica racional”<sup>120</sup>. No entanto, as considerações que o autor da resenha acrescenta em seguida é que teriam levado Newton a tecer sua crítica mais severa ao método das hipóteses. Voltemos, portanto, ao texto do jornal:

Ele [Newton] admite a mesma coisa no começo do 3º livro, onde, entretanto, procura explicar o Sistema do Mundo. Mas isto apenas por meio de hipóteses que, em sua maior parte, são arbitrárias e que, por conseguinte, não podem servir de fundamento a não ser a um tratado de mecânica pura. Isto parece evidente pelo único exemplo do fluxo e do refluxo do mar. Ele fundamenta a explicação da desigualdade das marés no princípio de que *todos os planetas pesam reciprocamente uns sobre os outros* (...). Mas, como essa suposição é arbitrária, não tendo sido provada, a demonstração que depende dela é apenas mecânica.

Para fazer, então, uma obra mais perfeita do que seria possível, Monsieur Newton não nos ofereceu uma Física tão exata quanto a sua Mecânica. Ele a oferecerá quando houver substituído os movimentos que supôs pelos movimentos verdadeiros. (*Ibidem*)

Assim, está claro que para o autor da resenha (a) “[o] princípio de que *todos os planetas pesam* [ou gravitam] *uns sobre os outros*” (isto é, o próprio princípio de gravitação universal) seria uma hipótese. Além disso, são tomados também como hipóteses (b) “os movimentos que [Newton] supôs”, que, embora o resenhista não informe precisamente quais sejam, parecem ser as descrições dos movimentos planetários consoantes às leis de Kepler apresentadas por Newton no início do terceiro livro do *Principia*<sup>121</sup>, movimentos esses que funcionam (como vimos no Capítulo II desta Dissertação) como premissas do argumento de Newton para a lei de gravitação universal. Contudo, o que mais chama a atenção nesta segunda passagem da resenha

---

<sup>120</sup> *Idem* p. 234.

<sup>121</sup> Na primeira edição da obra, esses movimentos carregavam justamente o título de “Hipóteses”, mas na segunda e terceira edições, tiveram o seu título alterado para “Fenômenos”. Uma discussão mais detalhada sobre o porquê dessa mudança será realizada, logo abaixo, no item 3.3 (*O “Hypotheses Non Fingo” como resposta ao Problema da Causa da Gravidade*) deste terceiro capítulo da Dissertação.

não é o fato de que essas proposições (a) e (b) tenham sido chamadas de “hipóteses”, mas que sejam consideradas “hipóteses arbitrárias”<sup>122</sup>. É assim, portanto, que se configura a principal crítica dos cartesianos ao princípio fundamental da teoria newtoniana: uma vez que eles consideram o princípio de gravitação universal como uma hipótese arbitrária, sentem-se, imediatamente, autorizados a recusar essa teoria como uma explicação física válida.

A seguir, pretendemos mostrar que a base dessa crítica de vertente cartesiana deve-se justamente a algumas implicações do dito Problema de Newton.

### **3.2. O Problema de Newton como o Problema de se Explicar a Causa da Gravidade**

A identificação por parte dos cartesianos das proposições (a) e (b) acima a hipóteses não chega a ser propriamente uma crítica deles à teoria newtoniana. De fato, para os adeptos da física cartesiana, estes ou quaisquer outros princípios dos quais se possam derivar explicações físicas deveriam, inevitavelmente, ter um caráter hipotético, uma vez que esses partidários de Descartes defendem a impossibilidade do conhecimento da verdadeira natureza do mundo visível e, por conseguinte, a necessidade do recurso a hipóteses nas explicações físicas. Veremos adiante que, frente a isso, Newton irá procurar insistentemente afastar qualquer possibilidade de identificar o seu princípio de gravitação universal a uma hipótese. No entanto, no tocante aos movimentos planetários segundo as leis de Kepler, poderia parecer-nos, ao menos num primeiro momento, não haver desacordo inicial entre o autor do *Principia* e os cartesianos em entender tais movimentos como sendo como hipóteses, visto que, na

---

<sup>122</sup> Nessa direção, podemos citar, ainda, um outro trecho, desta vez retirado de uma carta de Huygens a Leibniz em 8 de novembro de 1690: “Não estou de modo algum satisfeito com aquilo que Mr. Newton oferece como sendo Causa das Marés, nem com todas as Teorias que ele construiu a partir do seu Princípio de atração, que me parece *absurdo*” (*Apud* NEWTON, 1959-1977, v.3, p.81-2, nota 8; grifo nosso).

primeira edição da obra, o próprio Newton dava aos enunciados desses movimentos o título de “Hipóteses”.

A crítica propriamente dita é o fato de que esses cartesianos consideraram essas proposições (a) e (b) como possuindo um caráter arbitrário, o que, como vimos anteriormente, implicaria que elas seriam ininteligíveis e, portanto, inaceitáveis na física. A acusação da arbitrariedade de (b), os “movimentos que [Newton] supôs”, fundamenta-se na quase generalizada omissão ou recusa das leis de Kepler<sup>123</sup> nos tratados astronômicos e de filosofia natural da segunda metade do séc. XVII<sup>124</sup>.

Por sua vez, a arbitrariedade da proposição (a), “[o] princípio de que todos os planetas pesam [ou gravitam] uns sobre os outros”, era devida em grande medida à impossibilidade de se explicar esse princípio de gravitação newtoniano pelas propriedades da substância material cartesiana (mobilidade, divisibilidade e capacidade de transmitir movimento por meio de colisões). Segundo pensamos, este parece ser o tipo de “prova” requerida pelo autor da resenha do *Journal des Sçavans* para que pudesse entender a “suposição” de Newton e, assim, aceitá-la enquanto uma boa explicação física<sup>125</sup>. Assim, a acusação da ininteligibilidade da gravitação universal passou a ser um lugar comum e o ponto fundamental nas investidas mais contundentes dos cartesianos contra a teoria da gravitação<sup>126</sup>. Pretendemos, daqui a diante, analisar

---

<sup>123</sup> Whiteside apresenta-nos as três “hipóteses” (ou leis) de Kepler como sendo as seguintes: (1<sup>a</sup>) os planetas movem-se em órbitas elípticas fixas em torno do Sol, localizado em um dos focos; (2<sup>a</sup>) os raios vetores que unem os planetas ao sol descrevem áreas proporcionais aos tempos nos quais eles percorrem arcos orbitais correspondentes; (3<sup>a</sup>) os quadrados dos tempos periódicos das trajetórias dos planetas são proporcionais aos cubos de suas ditas distâncias médias a partir do sol. Cf. WHITESIDE, 1964, pp. 120-1

<sup>124</sup> A este respeito, Cf. BARRA, 1995, p. 236. Para saber mais sobre a questão da aceitabilidade das leis de Kepler na filosofia natural do século XVII, Cf. FRENCH, 1989, p. 39 e WHITESIDE, 1964, pp. 121.

<sup>125</sup> Neste ponto, estamos, mais uma vez, apoiando a nossa interpretação naquela proposta por Barra (1995, p. 239).

<sup>126</sup> Nessa direção, podemos citar, ainda, um outro trecho, desta vez retirado de uma carta de Huygens a Leibniz em 8 de novembro de 1690: “Não estou de modo algum satisfeito com aquilo que Mr. Newton oferece como sendo Causa das Marés, nem com todas as Teorias que ele construiu a partir do seu Princípio de atração, que me parece *absurdo*” (*Apud* NEWTON, 1959-1977, v.3, p.81-2, nota 8; grifo nosso).

em detalhes como essa crítica decorre de algumas das questões intrincadas no Problema de Newton. Passemos, então, a tal análise.

Conforme dissemos, a questão mais difícil a ser enfrentada por Newton para sustentar a matéria como essencialmente inerte no *Principia*, conforme ele desejava, era a sua postulação da atração gravitacional entre os corpos. O autor afirma existir realmente esse poder de atração dos corpos pesados uns sobre os outros, entretanto, em nenhum momento, ele atribui à gravidade que diz atuar nesses corpos uma causa extrínseca a eles. Isto, de imediato, dá ensejo aos cartesianos para que passem a entender a força gravitacional de Newton como uma qualidade essencial e inerente à matéria, isto é, que entendam a matéria no *Principia* como sendo ativa por sua própria natureza. Mas suposta atividade está em flagrante oposição com as concepções dos cartesianos sobre o que poderia ser aceitável na física; apoiados em Descartes eles entendem que a matéria deve ser pura e simplesmente extensão e, portanto, redutível às seguintes propriedades essenciais: mobilidade, divisibilidade e capacidade de transmitir movimento por meio de choques mecânicos e inércia. Desta forma, os corpos não podem apresentar outras qualidades ditas essenciais e/ou inerentes<sup>127</sup> além dessas listadas por Descartes. Está claro, portanto, que, para os cartesianos, a matéria não pode ser essencialmente ativa, isto não seria algo inteligível dentro dos padrões da física cartesiana. Assim, a causa da gravidade que atua nos corpos deve lhes ser uma designação absolutamente extrínseca; pensar contrariamente, como eles julgavam que Newton tinha feito, implicaria um absurdo, e, para eles, princípios absurdos não podem ser aceitos na física. Por outro lado, a hipótese de Descartes da “matéria inicial”, enquanto uma causa material extrínseca aos corpos, seria, para esses cartesianos, plenamente inteligível e, por sua vez, perfeitamente aceitável como explicação física.

---

<sup>127</sup> Conforme vimos anteriormente, as características da “matéria inicial” explicam porque, para Descartes, sua hipótese seria provável e, portanto, inteligível.

Além disso, essa ausência de uma explicação, por parte de Newton, para a causa da gravidade faz, ainda, com que os cartesianos infiram uma outra consequência absurda da teoria do inglês: uma ação à distância entre os corpos. Tomar a matéria como sendo essencialmente atrativa, conforme fazem os cartesianos ao considerar a teoria newtoniana, sugere que nenhum outro intermediário é necessário para que a atração opere. Assim, mesmo que dois corpos estejam separados por um vácuo (isto é, um “meio” desprovido de qualquer matéria), eles podem agir um sobre o outro<sup>128</sup>. Mas, segundo os padrões epistemológicos adotados pelos cartesianos, a gravidade que atua nos corpos pesados (sejam eles planetas ou objetos terrestres) deve ser explicada por meio da *colisão* ou, se preferirmos, a *choques mecânicos* entre as partículas destes corpos e os corpúsculos invisíveis (as partículas da “matéria inicial”)<sup>129</sup>. É, portanto, justificável que, para os adeptos da física de Descartes, falar uma ação *sem mediação de qualquer natureza* (o que a falta de uma causa para a gravidade na teoria de Newton parecia implicar) envolva, indiscutivelmente, uma idéia ininteligível e, por isso, absurda, que se afigura, conseqüentemente, como inaceitável na física.

Após todas essas considerações, temos, finalmente, que a principal crítica dos cartesianos à teoria newtoniana consistia, em suma, na dificuldade de se atribuir uma causa à gravidade que atua nos corpos dentro da dinâmica do *Principia*. Assim, essa dificuldade passa a ser o principal problema a ser enfrentado por Newton para que possa consistentemente sustentar, frente a seus críticos, a matéria enquanto um princípio passivo do movimento na referida obra. Baseados nessas considerações, nós pensamos ter razões suficientes para concluir que: responder satisfatoriamente a crítica de que o princípio de gravitação universal seria uma hipótese absurda equivaleria a dar uma

---

<sup>128</sup> E, a propósito, Newton não precisa mesmo lidar com nenhum tipo de corpúsculo invisível preenchendo o espaço entre os corpos para estabelecer a sua teoria.

<sup>129</sup> Sobre essa questão dos corpos como sendo extensão, e as consequências que disse se segue, Cf. GARBBER, 1997, p. 120.

resposta aceitável ao Problema de Newton, e vice-versa. Mas será que Newton consegue realmente dar uma boa resposta aos partidários da física de Descartes? Isto é precisamente o que analisaremos a seguir.

### **3.3. O “*Hypotheses Non Fingo*” como resposta ao Problema da Causa da Gravidade**

As reações de Newton às críticas dos cartesianos são evidentes já na segunda edição do *Principia* (1713). Em primeiro lugar, ele muda o título dos enunciados referentes à descrição dos movimentos planetários segundo as leis de Kepler de “Hipóteses” para “Fenômenos”. Assim, ele procura explicitar textualmente a sua discordância em classificar esses movimentos como sendo “hipóteses”. Não se pode esquecer, também, a sua preocupação (presente no texto da obra já desde a sua primeira edição) em salientar que se chegou ao conhecimento desses movimentos por meio de “observações astronômicas”<sup>130</sup>. A nosso ver, essa mudança no título dos enunciados tem por finalidade justamente chamar a atenção dos leitores para este ponto e, assim, procurar convencê-los de que, por terem sido determinados mediante observações, tais movimentos não poderiam ser hipóteses (no sentido em que este termo adquiriu na metodologia cartesiana) e, muito menos, considerados arbitrários<sup>131</sup>. Como veremos, esses são pontos importantes na argumentação de Newton, pois eles lhe darão suporte à sua recusa em admitir que o princípio de gravitação universal seja uma suposição imaginativa ou conjectura.

Em segundo lugar, e justamente o ponto que mais nos interessa, veremos que Newton procura afastar qualquer possibilidade de que o seu princípio de gravitação

---

<sup>130</sup> Nesse sentido, ele apresenta-nos uma série de dados observacionais reunidos e anunciados por diversos astrônomos.

<sup>131</sup> Entretanto, não se pode ignorar, no tocante a estes “Fenômenos”, que Newton não menciona diretamente a primeira lei de Kepler (referente às órbitas elípticas) entre eles. Ao que tudo indica, parece que essa recusa em incluir explicitamente uma instância dessa lei na obra deve-se ao fato de que, na época

universal seja uma hipótese *arbitrária e/ou absurda*. Mas, para que possamos compreender a resposta de Newton aos cartesianos, será de extrema importância que tenhamos em mente, no decorrer de todo o restante deste Capítulo III da presente Dissertação, bem claros, dois pontos já analisados nos capítulos anteriores, quais sejam: (a) qual é a natureza do método indutivo para Newton e (b) o que precisamente ele quer dizer quando afirma que chegou ao seu princípio de gravitação universal por meio de uma indução a partir dos fenômenos. Discutimos o ponto (a), sobretudo, no item 1.2. (“*O Conceito de Matéria*”) do Capítulo I, quando investigamos o modo pelo qual Newton procura gerar a lista das qualidades universais da matéria a partir do princípio de indução exposto na Regra III; o ponto (b), por sua vez, foi por nós abordado ao longo de todo o Capítulo II, no qual examinamos o argumento para a gravitação universal. Em linhas gerais, veremos que a estratégia de Newton para argumentar contra os cartesianos será rejeitar que a gravidade no *Principia* possa ser entendida como uma propriedade essencial da matéria. Para tanto, ele terá de lidar, evidentemente, com o complicado problema referente à sua causa (e, por conseguinte, também com o seu derivado: o problema da ação à distância).

De início, cabe notar que Newton mostra-se desconfortável com a idéia de que possam imputar a ele a noção da gravidade como essencial à matéria. Isto, segundo o autor, não deveria ser feito, uma vez que ele próprio admite ainda não ter conhecimento acerca da causa da gravidade. Nesse sentido, ele escreve numa carta a Benteley (1693):

Você às vezes fala da gravidade como essencial e inerente à matéria. Eu lhe peço, não atribua essa noção a mim; pois a causa da gravidade é algo que eu não finjo saber e, portanto, que levaria mais tempo para ponderar a respeito. (1959-1977, v.3, p. 298)

---

em que o *Principia* foi escrito, ela não estava ainda tão bem estabelecida como Newton considerava que as outras duas estivessem. A este respeito Cf. FRENCH, 1989, p. 39.

Ainda nessa direção, podemos citar, também, parte de uma nota introdutória de Newton à segunda edição do *Opticks* (1717):

E para mostrar que eu não considero a gravidade como uma propriedade essencial dos corpos, eu acrescentei uma questão que trata da sua causa, preferindo propô-la em forma de pergunta, porque ainda não estou satisfeito quanto a isso por falta de experimentos. (*Opticks*, p. cxxiii)

Ao lermos esses dois trechos, vemos que uma das razões para que Newton não defenda a gravidade como sendo essencial à matéria é que isso poderia erradamente sugerir que ele conhece a causa dessa força, mas este, como ele mesmo faz questão de salientar em ambos os trechos, não é o caso. Em outras palavras, ele assume que a causa pela qual os corpos se aproximam uns dos outros, como se houvesse neles um poder de atração, ainda deveria ser procurada. Mas procurada onde? Fora da matéria, pois, Newton parecia estar convencido pelos seus críticos que, mesmo que se reconheça uma atração mútua entre os corpos, isto não deveria ser motivo para que ele pudesse postular a gravidade como essencial à matéria, sem a necessidade de nenhuma outra explicação última ou adicional em termos causais. E mesmo que tal postulação pudesse ser tomada por alguns como sugerindo que explicações em termos de intermediários hipotéticos como um éter ou algo do gênero seriam desnecessárias, isso ainda era algo que o próprio Newton parecia estar muito distante de poder aceitar<sup>132</sup>. Neste sentido, podemos citar um outro trecho daquela sua carta a Bentley (1693):

É inconcebível que a matéria bruta inanimada devesse, sem a mediação de alguma outra coisa que não fosse material, operar sobre e afetar outra matéria sem contato mútuo; como se a gravitação, no sentido de Epicuro, lhe fosse essencial e inerente. E esta é uma das razões porque eu desejo que você não atribua gravidade inata a mim. Que a gravidade devesse ser inata, inerente e essencial à matéria, de modo que um corpo possa agir sobre outro a distância através de um vácuo, sem a mediação de qualquer outra coisa pela ou através da qual suas ações ou forças possam ser transmitidas de um para o outro, é para mim um absurdo tão grande que acredito que nenhum homem com uma faculdade competente para pensar as questões filosóficas possa jamais incorrer. (1959-77, v. 3, pp. 253-4)

---

<sup>132</sup> Cf. MCMULLIN, 1978, p. 58.

Além disso, nesta passagem, Newton inter-relaciona as noções de gravidade essencial e ação à distância e conclui que, dado que a última é inaceitável, a primeira também deve ser rejeitada. Como vimos antes, tomar a matéria como essencialmente atrativa poderia sugerir que nenhum outro meio é requerido para que a atração opere, o que levou os cartesianos contemporâneos de Newton a supor que ele estava admitindo a possibilidade de a atração entre os corpos se dar mesmo através de um “meio” vazio. Entretanto, como podemos ver pelo trecho acima citado, o próprio Newton considera tal possibilidade como um grande e evidente absurdo. Assim, a sua relutância em atribuir a gravidade à matéria como uma propriedade essencial deriva em parte também dessa origem.

Uma vez cientes dos motivos pelos quais Newton nega ser a gravidade essencial à matéria, veremos que ele tenta justificá-los debatendo justamente o problema da causa e suas implicações (a ação à distância). Para tanto, a partir da segunda edição do *Principia*, Newton insere, ao final do terceiro e último livro da obra, um longo trecho intitulado “Escólio Geral”. Nesse Escólio, ele dá início a uma discussão metodológica sobre o princípio de gravitação universal, com o intuito de afastar qualquer possibilidade de que esse princípio possa ser considerado uma hipótese ininteligível e, portanto, arbitrária e/ou absurda (e, por isso, inaceitável na física). Passemos, então, a analisar tal texto:

Até aqui, expliquei os fenômenos dos céus e dos mares mediante a força da gravidade, mas ainda não atribuí uma causa à gravidade. Em todo caso, essa força origina-se de alguma causa que penetra até o centro do Sol e dos planetas, sem diminuição de poder [...]. (*Principia*, p. 764)

Mesmo numa primeira leitura do trecho acima, fica claro, de imediato, que Newton admite ainda não ter atribuído uma causa à gravidade. Como vimos antes, isso acabou se convertendo em um problema crucial para a sua teoria, gerando todas

aquelas críticas por parte dos cartesianos. Frente a isso, a estratégia de Newton para defender a aceitabilidade da sua teoria, mesmo sem apresentar uma explicação causal para a gravidade, será tentar esclarecer conceitualmente o que é a “força gravitacional”. Nesse sentido, ele argumenta que “essa força origina-se de alguma causa que penetra até o centro do Sol e dos planetas”. Ao afirmar que dita causa “penetra”, conforme nossa interpretação, o autor pretende logo de início identificá-la como sendo justamente extrínseca a esses corpos. Assim, ele procura explicitar que não admite a força gravitacional como sendo uma qualidade essencial e inerente à matéria, mas que, pelo contrário, essa força deveria possuir uma causa extrínseca à dita matéria. Entretanto, não podemos nos esquecer que, até o presente momento, Newton ainda não se pronunciou a respeito de qual seria esta causa última da gravidade, embora afirme que ela deve existir. Sendo assim, em última instância, o problema permanece.

Na seqüência do texto do Escólio, o autor acrescenta considerações sobre o modo de atuar da força gravitacional:

[Ela] age segundo a quantidade de matéria *sólida*, e cuja ação se estende por todos os lados a imensas distâncias, decrescendo sempre na razão duplicada das distâncias. (*Principia*, p. 764)

Ao ler essa passagem, notamos que, a fim de explicar o modo de operar da gravidade, Newton considera apenas a “quantidade de matéria sólida [ou massa]” dos corpos e as “distâncias” entre eles, mas em nenhum momento faz referência à necessidade de um meio material para que esta ação se dê por contato. Isso foi freqüentemente usado pelos cartesianos como um argumento adicional para tentar comprovar a outra séria implicação que eles extraíam do problema da causa dentro da teoria newtoniana: a idéia de que existiria uma ação à distância entre os corpos, implicação esta que, conforme já sabemos, permitia-os considerar a teoria de Newton como ininteligível e, a partir daí recusá-la como absurda. O Escólio continua:

Porém, ainda não pude deduzir a razão dessas propriedades da gravitação a partir dos fenômenos [...]. (*Principia*, p. 764)

Nesse trecho, mais uma vez, o autor reconhece a sua incapacidade de dizer positivamente qual é a causa da gravidade e, por conseguinte, o porquê dela operar do modo como opera (isto é, sugerindo que a atração pode ocorrer mesmo através do vazio). Embora o “ainda” possa sugerir que Newton acreditava poder alcançar essas explicações futuramente, é evidente que isso não pode ser considerado um bom argumento para lidar com o problema. Mas, se ele próprio reconhece ser ainda incapaz de resolver essas dificuldades, como espera, então, afastar a crítica por meio da qual os cartesianos rejeitam a sua teoria da gravitação, visto que essa crítica origina-se justamente no referido problema da causa? Uma possível resposta seria dizer que os sucessos explanatórios e preditivos da teoria da gravitação não justificariam abandoná-la, apesar dessas idéias, ditas absurdas, que ela encerra. Todavia, como bem notou Barra, “não se deve exagerar o peso desse critério”, pois ele não foi suficiente para convencer o autor da resenha no *Journal des Sçavans*, nem Huygens, nem Leibniz, “cuja importância no cenário da filosofia natural do séc. XVII não se pode questionar”<sup>133</sup>.

Haveria, então, alguma outra razão suficientemente forte e convincente que pudesse ser apontada por Newton para justificar a aceitabilidade da sua teoria perante os seus críticos? A nossa intenção, daqui em diante, é mostrar que sim, e esta razão estaria implícita no sentido do “*hypotheses non fingo*”, o famoso enunciado que aparece na seqüência do trecho acima analisado do Escólio. Retomemos esse trecho:

Porém, ainda não pude deduzir a razão dessas propriedades da gravitação a partir dos fenômenos e [nesse caso] *não invento hipóteses* [*hypotheses non fingo*]. (*Principia*, p. 764; grifo nosso)

---

<sup>133</sup> BARRA, p. 238.

O “*hypotheses non fingo*” apresenta-se, portanto, como um posicionamento assumido por Newton diante do problema de atribuir uma causa à gravidade e, conseqüentemente, também frente à questão envolvendo o seu modo de atuar. Nesse sentido, conforme esperamos ter estabelecido ao longo do item 3.2 (“*O Problema de Newton como o Problema de se Explicar a Causa da Gravidade*”) desta Dissertação, o “*hypotheses non fingo*” apresenta-se, na mesma medida, como uma tentativa do autor do *Principia* de responder ao problema que, ao longo da história, passou a ser designado por meio do seu nome.

Prosseguiremos, então, tentando estabelecer o possível sentido proposto por Newton ao seu famoso enunciado. Para tanto, continuaremos realizando uma análise da seqüência argumentativa do Escólio Geral. Como ajuda nessa tarefa, levaremos em consideração, também, as Regras para Filosofar e algumas passagens de outros textos do autor.

#### **3.4. Buscando um Sentido para o “*Hypotheses Non Fingo*”**

Parece-nos evidente que, se pretendemos determinar o sentido do “*hypotheses non fingo*” newtoniano, é necessário, primeiramente, entender o que precisamente Newton define como “hipótese” e, também, o porquê da sua atitude de recusa em lançar mão de hipóteses. Voltemos, com esse intuito, a analisar o Escólio Geral:

[*Hipótese* é] tudo aquilo que não é deduzido a partir dos fenômenos [...], e hipóteses, quer metafísicas, quer físicas, quer de qualidades ocultas, quer mecânicas, não têm lugar na *filosofia experimental*. Nessa filosofia, as proposições são deduzidas a partir dos fenômenos e tornadas gerais por indução. Assim, a impenetrabilidade, a mobilidade e a força impulsiva (*impetus*) dos corpos e as leis dos movimentos e da gravidade tornaram-se conhecidas. (*Principia*, p. 764)

No presente trecho, Newton nos oferece uma definição de hipótese bastante sucinta: *Hipótese* é “tudo que não é deduzido a partir dos fenômenos”. Inicialmente, por

ser uma definição negativa ela parece não gozar de uma precisão muito grande, visto que diz apenas o que uma hipótese não é, mas não o que ela seja exatamente. Além disso, como vimos no Capítulo II desta Dissertação, o próprio procedimento de “deduzir proposições a partir dos fenômenos” afigura-se bastante complexo. Mas, em última instância, se formos contextualizar esse trecho nos debates entre Newton e os cartesianos acerca da inteligibilidade da gravitação universal, seremos levados a pensar que Newton aqui entende “hipótese” no sentido que este termo tinha segundo a teoria de Descartes, qual seja: o de uma suposição imaginativa ou conjectura formulada *a priori* com o intuito de explicar os fenômenos físicos. Procedimento este que, segundo Newton, seria contrário ao método da filosofia experimental, o qual, em linhas gerais, partiria dos fenômenos, isto é, de uma base empírica, para formular suas proposições explicativas (conforme expusemos no Capítulo II). Parece-nos, assim, não haver desacordo entre Newton e os cartesianos a respeito do que ambos entendem por “hipótese”, mas sim no posicionamento que cada uma das partes adota quanto à legitimidade ou não do uso de hipóteses nas explicações físicas.

Como sabemos, os cartesianos defendem que, na física, devemos ter total liberdade para fazer suposições e inventar hipóteses, desde que aquilo que for deduzido a partir delas seja útil para explicar os fenômenos: “somos livres para supor (*assumere*) seja o que for a respeito daquelas coisas [ele se refere aqui à explicação do movimento dos corpos], contanto que aquilo que se segue do que supomos esteja de acordo com a experiência (*cum experientia consentiunt*)”<sup>134</sup>. Não por acaso, tal procedimento ficou conhecido pelo nome de “método das hipóteses de Descartes”.

Por outro lado, Newton nega que na física deva haver lugar para hipótese. De fato, quanto a este ponto, o método da filosofia experimental newtoniana parece não

---

<sup>134</sup> DESCARTES. *Principes de la Philosophie*, 1989, p. 124.

guardar nenhuma semelhança com o método hipotético cartesiano. Newton pretende ter chegado ao conhecimento das “leis do movimento e da gravidade” mediante dedução a partir dos fenômenos e indução<sup>135</sup>, e não por um processo *a priori* como o empregado na física cartesiana. Assim, uma vez que as proposições dessa filosofia experimental de Newton são tomadas por ele como tendo sido “deduzidas a partir dos fenômenos”, tais leis não seriam “hipóteses”, mas elas teriam sua *origem na experiência*. Esta é justamente a razão evocada pelo inglês para combater a tentativa dos cartesianos de identificar o seu princípio de gravitação universal como sendo uma hipótese.

Temos, portanto, que essa divergência de opinião entre Newton e os adeptos do método hipotético de Descartes, no que diz respeito à legitimidade ou não do uso de hipóteses na filosofia natural, é, por sua vez, fruto das divergências da metodologia que cada uma das sustenta e emprega no tocante a explicação dos fenômenos.

No entanto, resta ainda a crítica fundamental dos cartesianos: a de que tal princípio de gravitação universal newtoniano seria ininteligível, por conseguinte, arbitrário e absurdo e, portanto, que não poderia ser aceito na física. Como explicamos anteriormente, essa é uma crítica decorrente da dificuldade de se explicar a causa (e, por conseguinte, o modo de operar) da gravidade dentro da teoria de Newton. Dito de outro modo, tal crítica resulta da dificuldade de conciliar, no *Principia*, a matéria enquanto um princípio passivo do movimento (*Cf.* Capítulo I da nossa Dissertação) frente à evidente atividade na natureza representada pela força de gravitação universal que atua entre os corpos (*Cf.* Capítulo II). Como visto, o próprio Newton deu mostras suficientes de haver reconhecido o problema<sup>136</sup>:

---

<sup>135</sup> Conforme já dissemos, o Capítulo II desta Dissertação foi, justamente, uma análise do modo como Newton “deduz” o seu princípio (ou lei) de gravitação universal “a partir dos fenômenos”.

<sup>136</sup> Como bem lembra Eduardo Barra, “em grande parte, foi [a] rivalização com a teoria cartesiana que colocou este problema para a teoria newtoniana” (1995, p. 225).

Em todo caso, essa força origina-se de alguma causa. (*Principia*, p. 764)

O autor retoma essa mesma tese numa carta a Bentley, escrita em 25 de fevereiro de 1692/3, onde aparece atrelada ao problema de se explicar o modo de atuar da gravidade:

É inconcebível que a matéria bruta inanimada devesse (sem a mediação de alguma outra coisa que não fosse material) operar sobre e afetar outra matéria sem contato mútuo; como se a gravitação, no sentido de Epicuro, lhe fosse essencial e inerente. E esta é uma das razões porque eu desejo que você não atribua gravidade inata a mim. Que a gravidade devesse ser inata, inerente e essencial à matéria, de modo que um corpo possa agir sobre outro à distância através de um vácuo, sem a mediação de qualquer outra coisa pela ou através da qual suas ações ou forças possam ser transmitidas de um para o outro, é para mim um absurdo tão grande que acredito que nenhum homem com uma faculdade competente para pensar as questões filosóficas possa jamais incorrer. A gravidade deve ser causada por um agente que atua constantemente de acordo com certas leis [...]. (1959-77, v. 3, pp. 253-4)

Mas é somente no *Principia* que Newton irá apresentar as razões de sua incapacidade para resolver as dificuldades concernentes à explicação da causa e do modo de operar da gravidade:

[Ainda] não pude deduzir a razão dessas propriedades da gravidade a partir dos fenômenos e não invento hipóteses. (*Principia*, p. 764)

Dada a sua dificuldade em solucionar definitivamente o problema, Newton parece preferir suspender o juízo e não se pronunciar diretamente sobre ele, conforme podemos verificar numa outra passagem da já referida carta de 25 de fevereiro:

[Mas] se esse agente [que causa a gravidade] é material ou imaterial é uma questão que tenho deixado à consideração de meus leitores. (1959-77, v. 3, p. 254)

A essa altura, não podemos deixar de perceber que a incapacidade de Newton em resolver o problema da causa da gravidade e as implicações do mesmo decorre justamente do fato de ele advogar o método da “filosofia experimental”; método o qual preconiza que as proposições sejam deduzidas a partir dos fenômenos e tornadas gerais

por indução. Esse procedimento, que é contrário ao da física cartesiana, aparece, novamente, tipificado na Questão 28 do *Opticks*, quando Newton defende que cabe ao investigador da natureza “argumentar a partir dos fenômenos sem inventar hipóteses” (1979, p. 39). Pois bem, este é exatamente o mesmo posicionamento que o autor expressa por meio do “*hypotheses non fingo*”. É, justamente, por professar esse método, que recusa o uso de suposições imaginativas *a priori* na filosofia natural, que Newton rejeita a física de Descartes e, por conseguinte, os critérios dos cartesianos para avaliarem a gravitação universal como ininteligível e, em vista disto, como uma idéia de caráter absurdo e arbitrário. Portanto, se é por uma razão metodológica que Newton não pode solucionar o problema da causa da gravidade e as suas conhecidas implicações, é, também, por esta mesma razão, que ele procura afastar a crítica capital dos cartesianos à sua teoria. Analisemos, agora, como ele procede nesta empreitada.

Em primeiro lugar, Newton não está disposto a aceitar os pressupostos empregados pelos cartesianos para concluir que ele esteja postulando a força gravitacional como uma qualidade essencial e inerente aos corpos. Assim, ele afirma:

A partir dos fenômenos conhecemos as propriedades das coisas e, a partir das propriedades, concluímos que as coisas existem e as chamamos substâncias; mas não temos quaisquer idéias das substâncias. Vemos apenas as figuras e as cores dos corpos, ouvimos apenas os sons, tocamos apenas as superfícies externas, cheiramos os odores e degustamos os sabores: as substâncias ou as essências mesmas não conhecemos por meio de nenhum sentido nem de nenhuma ação reflexiva e, por isso, não temos mais idéia delas do que um cego tem das cores. E, quando se diz que temos uma idéia de Deus ou uma idéia de corpo, nada deve ser entendido exceto que temos uma idéia das propriedades ou atributos de Deus ou uma idéia das propriedades pelas quais os corpos se distinguem de Deus ou uns dos outros. Por isso que em nenhum lugar discutimos sobre as idéias de substâncias abstraídas das propriedades, nem deduzimos nenhuma conclusão a partir delas. (NEWTON, *apud* HALL & HAL, 1962, p. 354)

Neste trecho, Newton está negando que seja possível um conhecimento *a priori* da substância dos corpos. Esse é o motivo pelo qual não estamos autorizados a extrair das idéias de substâncias, separadas das suas propriedades, nenhuma consequência que

sirva como “fundamento das realidades que devem ser explicadas na física”<sup>137</sup>. Mas os cartesianos empregam precisamente esse procedimento que Newton acaba de rejeitar: eles *definem* (e definir é um procedimento analítico e, portanto, *a priori*) os corpos como sendo essencialmente extensão e, a partir daí, levantam argumentos para concluir que a gravitação universal conforme postulada no *Principia* seria um princípio ininteligível e, portanto, absurdo, como há pouco explicamos. Newton, porém, por adotar essa postura (que chamamos anteriormente, no Capítulo I, de “ceticismo geral”) que assevera a nossa incapacidade de ter um conhecimento das essências mesmas das coisas, não poderia aceitar as bases dessa crítica dos cartesianos, uma vez que ela parte justamente da pretensão de que possuímos este tipo de “conhecimento”.

Outro ponto importante a ser considerado é que Descartes lança mão da hipótese da “matéria inicial” e, desse modo, explica a gravidade que atua nos corpos pesados (planetas e objetos terrestres) *mecanicamente*. Newton, diferentemente, não precisa admitir corpúsculos invisíveis para estabelecer sua teoria. Isto, somado àquela leitura dos cartesianos de que a gravidade seria essencial à matéria na teoria newtoniana, leva os mesmos a sugerir que o *Principia* postula a existência de uma ação à distância entre os planetas, outra conseqüência pela qual procuram rejeitar a teoria newtoniana. Porém, em última instância, Newton não se vê obrigado a explicar *mecanicamente* a gravidade, ao menos não nos mesmos termos que os cartesianos queriam. Em primeiro lugar, porque tal explicação ainda não foi deduzida a partir dos fenômenos. Em segundo lugar, por ele assumir (na Primeira Regra para Filosofar), como axioma metodológico, que “[não] devemos para as coisas naturais admitir mais causas do que as verdadeiras e *suficientes para explicar seus fenômenos*” (*Principia*, p. 550; grifo nosso); e a ação entre os planetas é, de fato, explicada no *Principia* sem o recurso a um meio mecânico.

---

<sup>137</sup> BARRA, 1995, p. 232.

Além disso, segundo nos adverte McMullin, não podemos nos esquecer de que o uso próprio que Newton faz do termo “mecânico” não é, de maneira nenhuma, um uso consistente. Algumas vezes Newton emprega tal termo no sentido estrito que ele tinha para os filósofos mecânicos (isto é, equivalente a “explicável em termos de ação por contato”), mas ocasionalmente “mecânico” poderia significar também nada mais do que “explicável em termos de forças”<sup>138</sup>. Neste sentido, podemos citar, por exemplo, uma passagem do Prefácio à primeira edição do *Principia* na qual Newton escreve: “Eu gostaria que pudéssemos derivar o resto dos fenômenos da Natureza dos princípios mecânicos pelo mesmo tipo de raciocínio, pois, por muitas razões, sou induzido a suspeitar de que todos eles possam depender de certas forças [...]” (*Principia*, p. xviii). Assim, não haveria problemas em qualificar a explicação da gravidade como “mecânica” empregando o segundo sentido em que o termo pode ser tomado, embora esse não fosse o sentido com o qual os contemporâneos de Newton estavam familiarizados.

Ademais, argumentando a partir dos fenômenos, isto é, a partir de dados observacionais, Newton procura convencer seus leitores de que a “matéria inicial” postulada por Descartes, ao invés de favorecer, atrapalharia o movimento dos corpos, sendo, portanto, uma péssima explicação; esta, sim, deveria ser rejeitada:

A hipótese dos vórtices se defronta com muitas dificuldades. [...] [As observações mostram que] os movimentos dos cometas [...] e dos planetas de modo algum podem explicar-se mediante [tal] hipótese [...]. (*Principia*, p. 759)

Essas são as palavras com as quais Newton inicia o Escólio Geral, apresentando de imediato a sua intenção de rechaçar a hipótese em que se baseia a teoria de Descartes. A mesma aspiração aparece explicitamente, também, num trecho da questão 28 do *Opticks*:

---

<sup>138</sup> A esse respeito, Cf. McMULLIN, 1978, p. 73.

[Um] fluido denso [...] serve somente para perturbar e retardar os movimentos [dos planetas e dos cometas] [...], então não existe nenhuma evidência de sua existência; e, portanto, deve ser rejeitado. (1979, p. 39)

Soma-se a isso a própria recusa por parte de Newton em empregar hipóteses na “filosofia experimental”, quer sejam essas hipóteses “metafísicas, quer físicas, quer de qualidades ocultas, quer mecânicas” (*Principia*, p. 764). Essa atitude é expressa precisamente por meio do “*hypotheses non fingo*” e pode, certamente, ser por meio dele justificada.

Por sua vez, na medida em que a partir dos fenômenos chegamos ao conhecimento das propriedades da gravidade, a ponto de podermos descrever o seu comportamento por uma lei universal, temos evidência suficiente para concluir que ela existe de fato:

E é suficiente que a gravidade exista, atue segundo as leis por nós expostas e seja capaz de sustentar todos os movimentos dos corpos celestes e do nosso mar. (*Principia*, p. 764)

Assim, pelo motivo de não considerar o seu princípio de gravitação universal como sendo uma “hipótese”, que estaria sujeita às críticas apriorísticas dos cartesianos, Newton pretende que a falibilidade de sua teoria esteja restrita apenas ao seu grau de corroboração empírica. Esse procedimento metodológico adotado pelo autor está implícito na Quarta Regra para Filosofar, presente no início do Livro III do *Principia*:

Na filosofia experimental, as proposições obtidas por indução a partir dos fenômenos, *não obstante hipóteses contrárias*, devem ser tidas como verdadeiras, ou exata ou muito aproximadamente, até que ocorram outros fenômenos, pelos quais se tornem ou mais exatas ou sujeitas a exceções. (*Principia*, p. 555; grifos nossos)

Essa regra, incluída na terceira edição da obra (1726), é sabidamente dirigida contra os cartesianos. Ela defende o método da “filosofia experimental” em detrimento do método das hipóteses. Isso fica ainda mais evidente ao nos depararmos com o

comentário que Newton acrescenta a tal regra: “Isto deve ser feito para que o argumento de indução não seja suprimido pelas hipóteses” (*Ibidem*).

Em posse de todas essas informações, podemos, finalmente, entender o que Newton pretende ao dizer “*hypotheses non fingo*”. O enunciado apresenta-se como um posicionamento metodológico do autor frente às críticas dos cartesianos ao seu princípio (ou lei) de gravitação universal. Por advogar o método da “filosofia experimental” – pelo qual “as proposições são deduzidas a partir dos fenômenos”–, Newton rejeita o método explicativo oriundo da física cartesiana– segundo o qual o recurso a hipóteses é necessário nas explicações físicas. Assim, ao dizer “não faço hipóteses”, Newton pretende tornar evidente que (i) o seu princípio de gravitação universal é uma proposição deduzida a partir dos fenômenos– o que pretende impedir que ele possa ser identificado a uma suposição imaginativa formulada *a priori*, como queriam os cartesianos– e que (ii) por ser um princípio derivado da experiência, deveria ter a sua falibilidade restrita apenas ao seu grau de corroboração empírica– não estando, portanto, sujeito às críticas apriorísticas dos cartesianos que o viam como uma proposição ininteligível e, desse modo, identificavam nele um caráter absurdo e arbitrário.

### **3.5. Considerações Finais do Terceiro Capítulo**

Em suma, a maneira pela qual Newton procura afastar as dificuldades intrincadas no problema de conciliar conceitualmente a inatividade essencial da matéria com a evidente atividade na natureza não é, propriamente, buscando uma resposta nos moldes cartesianos para tal problema. Isto equivaleria a encontrar uma causa explicável em termos de choques mecânicos para a gravidade, o que, Newton insiste, não pode ainda ser feito na sua filosofia experimental por razões de natureza metodológica. A estratégia do autor será, então, desenvolver uma argumentação pela qual pretende fazer

com que a legitimidade do princípio fundamental da sua teoria repouse, sobretudo, em seu “aspecto indutivo”. Assim, por não inventar hipóteses, Newton pode manter um resultado que poderia parecer *a priori* ininteligível, desde que, em seguida, consiga apresentar uma explicação razoável que o permita reivindicar a aceitação sem reservas desse resultado.

Nesse sentido, na medida em que a gravidade “deve ser causada por um agente que atua constantemente de acordo com certas leis” (1959-77, v. 3, pp. 253-4), a ponto de sua ação poder ser descrita com uma precisão matemática, e uma vez que por meio dela somos “[capazes] de sustentar todos os movimentos dos corpos celestes e do nosso mar” (*Principia*, p. 764), Newton considera ter evidências suficientes para concluir que a gravidade realmente existe: “E é suficiente que a gravidade exista [e] atue segundo as leis por nós expostas” (*Ibidem*), ainda que, por razões metodológicas (“*hypotheses non fingo*”), ele não possa, ao menos por enquanto, identificar positivamente qual seria a sua causa.

## Referências Bibliográficas

### I. Bibliografia Primária

#### I.a. Textos de Newton:

NEWTON, I. (1972 [1726]) *Isaac Newton's Philosophiae naturalis principia mathematica*. [Third edition (1726) with variant readings assembled by Alexandre Koyré, I. Bernard Cohen & Anne Whitmann]. Cambridge: Cambridge University Press, 1972. 2 vols.

NEWTON, I. (1999 [1726]) *The Principia: Mathematical Principles of Natural Philosophy*. [A new translation by I. Bernard Cohen, Anne Whitmann and Julia Budenz; preceded by "A Guide to Newton's Principia" by I. Bernard Cohen]. Berkeley: University of California Press.

NEWTON, I. (1964) *Opera quae exstant omnia*. Comentariis illustrabat Samuel Horsley. Friedrich Verlag (Günther-Holzboog): Stuttgart – Bad Cannstatt. 5 vols.

NEWTON, I. (1979b [1704]) *Opticks or A Treatise of the Reflection, Refrations, Inflections & Colours of Light*. New York: Dover.

NEWTON, I. (1959-1977) *The Correspondence of Isaac Newton*. [Ed. H. W. Turnbull *et alii*] Cambridge: Cambridge University Press, 7 vols.

HALL, A. R. & HALL, M. B. (1962) *Unpublished Scientific Papers of Isaac Newton*. Cambridge: Cambridge University Press.

NEWTON, I. (2004) *Isaac Newton: Philosophical Writings*. [Ed. Andrew Janiak]. Cambridge: Cambridge University Press.

#### I.b. Traduções comentadas:

NEWTON, I. (1934 [1687]) *Sir Isaac Newton's Mathematical Principles of Natural Philosophy and his System of the World*. [Translated into English by Andrew Motte in 1729. The translations revised, and supplied with an historical and explanatory appendix, by Florian Cajori]. Berkeley: University of California Press. 2 vols.

NEWTON, I. (1987 [1687]) *Principios Matemáticos de la Filosofía Natural*. [Introducción, traducción y notas de Eloy Rada Garcia]. Madrid: Alianza, 2 vols.

NEWTON, I. (1997 [1687]) *Principios Matemáticos de la Filosofía Natural*. [Estudio preliminar, traducción y notas Antonio Escohotado]. Madrid: Tecnos (Col. Clásicos del Pensamiento).

NEWTON, I. (1999 [1726]) *The Principia: Mathematical Principles of Natural Philosophy*. [Translated by I. B. Cohen and A. Whitman; with a guide by I. B. Cohen]. Berkeley: University of California Press.

NEWTON, I. (1979a) *Princípios Matemáticos; Óptica; O Peso e o Equilíbrio dos Flúidos*. [Trad. por Carlos Lopes de Matos, Pablo Rubén Mariconda e Luiz João Baraúna]. São Paulo: Abril Cultural (Col. Os Pensadores).

NEWTON, I. (1996 [1704]) *Óptica*. [Trad. por André K. Torres Assis]. São Paulo: EDUSP.

NEWTON, I. (2002 [1730]) *Óptica*. [Trad., Intro. e Notas por André K. Torres Assis]. São Paulo: EDUSP.

NEWTON, I. (2002 [1687]) *Principia: princípios matemáticos de filosofia natural*. [Trad. por Trieste Ricci *et ali*]. São Paulo: EDUSP, vol.1, 2ª ed.

NEWTON, I. (2008 [1934]) *Principia: Livro I*. [Trad. por Trieste Ricci *et ali*]. São Paulo: EDUSP.

NEWTON, I. (2008 [1934]) *Principia: O Sistema do Mundo - Livros II e III*. [Trad. por Trieste Ricci e Fábio Duarte Joly]. São Paulo: EDUSP.

NEWTON, I. (1974) *Newton's Philosophy of Nature: selections from his writings*. (Edited and arranged with notes by H. S. Thayer, Introduction by John Herman Randall, Jr.). New York: Hafner Press.

NEWTON, I. (2002 [1995]) *Newton: Textos, Antecedentes, Comentários*. [Trad. por Vera Riveiro] I. Bernard Cohen e Richard Westfall (orgs.). Rio de Janeiro: EDUERJ e Contraponto.

#### **I.c. Textos de Descartes:**

DESCARTES, R. (1982 [1644]). *Principia Philosophiae*. Paris: J. Vrin. (*Ouvres de Descartes, publiées par Ch. Adam et P. Tannery, tome VIII/1*).

DESCARTES, R. (1989 [1644]) *Principes de la Philosophie*. Paris: J. Vrin, 1989. (*Ouvres de Descartes, publiées par Ch. Adam et P. Tannery, tome IX/2*).

#### **I.d. Traduções:**

DESCARTES, R. (2005) *Princípios da Filosofia*. [Trad. por Heloísa da Graça Burati]. São Paulo: Rideel (Col. Biblioteca Clássica).

DESCARTES, R. (1989) *Princípios da Filosofia*. [Trad. por Alberto Ferreira]. Lisboa: Guimarães Editores.

DESCARTES, R. *Los Principios de la Filosofia*. (Trad. por Gregório Halperin). Buenos Aires: Editorial Losada, 1951.

## II. Bibliografia Secundária

ABRANTES, P. (1989) “Newton e a Física Francesa no século XIX”, *Cadernos de História e Filosofia da Ciência* (CLE - Unicamp), série 2, vol.1, n.1, pp. 5-31.

BARRA, E. S. de O. (1994) *Omnis Philosophiae Difficultas: o conceito de força na filosofia natural de Newton*, Dissertação de Mestrado, São Paulo. Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas/USP.

BARRA, E. S. de O. (1995) “Em que sentido Newton pode dizer ‘*Hypotheses non fingo*’?”, *Cadernos de História e Filosofia da Ciência* (CLE - Unicamp), série 3, vol.5, n.1-2, pp. 221-45.

BARRA, E. S. de O. (2000) *De Newton a Kant: a metafísica e o método da ciência da natureza*, Tese de Doutorado, São Paulo. Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas/USP.

BARRA, E. S. de O. (2002) “Milagre ou qualidade oculta? O problema do estatuto da gravitação universal na correspondência entre Leibniz e Clarke”, *Cadernos de História e Filosofia da Ciência* (CLE - Unicamp), série 3, vol.12, n.1-2, pp. 187-207.

BURTT, E. A. (2003 [1924]) *Methaphysical Foundations of Modern Science*. New York: Dover Publications.

*As Bases Metafísicas da Ciência Moderna*. [Trad. por José Viegas Filho e Orlando Araújo Henriques]. Brasília: Editora Universidade de Brasília (Col. Pensamento Científico).

COHEN, I. B. (1956) *Franklin and Newton: An Inquiry into Speculative Newtonian Experimental Science and Franklin's Work in Electricity as an Example Thereof*. Cambridge (Mass.): Harvard University Press.

COHEN, I. B. (1966) “Hypotheses in Newton's Philosophy”, *Physis*, vol.8, pp. 163-84.

COHEN, I. B. (1967) *O Nascimento de Uma Nova Física: De Copérnico a Newton*. [Trad. por Gilberto de Andrade e Silva, Lafayette de Moraes e Carlos Chaves]. São Paulo: Edart.

COHEN, I. B. (1980) *The Newtonian Revolution*. Cambridge: Cambridge University Press.

COHEN, I. B. (2008 [1985]) *The Birth of a New Physics*. New York: W. W. Norton & Company.

COHEN, I. B. (1970) Newton's Second Law and the Concept of Force in the Principia, in PALTER, R. (ed.) *The Annus Mirabilis of Isaac Newton 1666-1966*. Cambridge: The M.I.T. Press, pp. 143-185.

COHEN, I. B. (1970) “Newton's Third Law and Universal Gravity”, *J. Hist. Ideas*, vol. 48, n. 4, pp. 571-93.

ÉVORA, F. R. R. (2002) “Physis, kinesis, topos e kenon: um estudo da teoria aristotélica do movimento”, *Cadernos Espinosanos*, vol.8, pp. 52-74.

ÉVORA, F. R. R. (2005) “Natureza e Movimento: um estudo da física e da cosmologia aristotélicas”, *Cadernos de História e Filosofia da Ciência* (CLE - Unicamp), série 3, vol.5, n.1, pp. 127-70.

FRENCH, S. (1989) A estrutura do argumento de Newton para a lei da gravitação universal, *Cadernos de História e Filosofia da Ciência* (CLE - Unicamp), série 2, vol.1, n.1-2, pp. 33-52.

GLYMOUR, C. (1980) *Theory and Evidence*. Princeton, N. J.: Princeton University Press.

HARPER, W. (2002) Newton’s argument for universal gravitation, in COHEN, I. B. & SMITH, G. E. (ed.), *The Cambridge Companion to Newton*, Cambridge: Cambridge University Press, pp. 174-201.

HESSE, M. (1961) *Forces and Fields*. London: Nelson and Sons.

ITOKAZU, A. G. (2005) *O método da nova astronomia e a aplicação física do movimento da Lua*. Campinas: Mimeo.

JAMMER, M. (1961) *Concepts of Mass*. Cambridge (Mass.): Harvard University Press.

KOYRÉ, A. (1968) *Newtonian Studies*. Chicago: The University of Chicago Press.

LAUDAN, L. (1980) “Teorias do Método Científico de Platão a Mach”, *Cadernos de História e Filosofia da Ciência*, série 1, vol.1, supl.1, pp. 1-77.

LAUDAN, L. (1981) *Science and Hypothesis: Historical Essays on Scientific Methodology*. Dordrecht: D. Reidel.

LEIBNIZ, G. W. (1956) *The Leibniz-Clarke Correspondence*. Manchester: Manchester University Press.

LEIBNIZ, G. W. (1979 [1717]) *Correspondência com Clarke* [Trad. por Carlos Lopes de Mattos]. São Paulo: Abril Cultural (Coleção os Pensadores).

MANDELBAUM, M. (1964) *Phylosophy, Science and Sense-Perception*. Batimore: Johns Hopkins Press.

McGUIRE, J.E. (1967) “Transmutation and immutability: Newton’s doctrine of physical qualities”, *Ambix*, 14, pp. 69-95.

McGUIRE, J.E. (1968) “Force, active principles and Newton’s invisible realm”, *Ambix*, 15, pp. 154-208.

McGUIRE, J.E. (1970) "Atoms and the Analogy of Nature: Newton's Third Rule of Philosophizing", *Studies in History and Philosophy of Science*, 1, pp. 3-58.

McMULLIN, E. (1978) *Newton on Matter and Activity*. London: University of Notre Dame Press.

WESTFALL, R. S. (1971). *Force in Newton's Physics: The Science of Dynamics in the Seventeenth Century*. London: MacDonald.

WESTFALL, R. S. (2007 [1977]). *The Construction of Modern Science: Mechanisms and Mechanics*. New York: Cambridge University Press.